

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher
Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V.



KONGRESSBAND 2013 BERLIN

Vorträge zum Generalthema:
**Untersuchen, Bewerten, Beraten, Forschen:
125 Jahre VDLUFA im Dienste
von Landwirtschaft, Umwelt- und
Verbraucherschutz**

Der Kongress wurde durchgeführt in Zusammenarbeit mit dem

Institut für Ökologie – FG Bodenkunde
der Technischen Universität Berlin



Verband Deutscher Landwirtschaftlicher
Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V.



Kongressband 2013 Berlin

Vorträge zum Generalthema:

**Untersuchen, Bewerten, Beraten, Forschen:
125 Jahre VDLUFA im Dienste
von Landwirtschaft, Umwelt- und
Verbraucherschutz**

VDLUFA-Schriftenreihe Band 69/2014

VDLUFA-Verlag, Darmstadt

ISBN 978-3-941273-15-3

Gefördert durch:



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

©2014 by VDLUFA-Verlag, Darmstadt

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung vorbehalten.

Herausgeber:

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Obere Langgasse 40, D-67346 Speyer, Telefon: 06232 / 136121, Fax: 06232/136122, E-Mail: info@VDLUFA.de

Redaktionskomitee:

Prof. Dr. T. Ebertseder, J. Danier, Dr. B. Killermann, Dr. L. Nätscher, Dr. K. Severin, Prof. Dr. K.-H. Südekum, Dr. A. Trenkle, Prof. Dr. F. Wiesler

Endredaktion:

Dr. S. Klages, Obere Langgasse 40, D-67346 Speyer
Telefon: 06232 / 136121, Fax: 06232 / 136122, E-Mail: info@VDLUFA.de
Dr. S. Kirchhof, Stinkbüdelsberg 1, D-24363 Holtsee

Herstellerische Betreuung und Layout:

T. Dräger, Obere Langgasse 40, D-67346 Speyer
Telefon: 06232 / 136121, Fax: 06232 / 136122, E-Mail: info@VDLUFA.de

Die inhaltliche, orthographische und grammatikalische Verantwortung liegt bei den Autoren.

Druck: print media elz gmbh, Sandweg 61 - 65, D-65604 Elz

Inhalt

Grußworte

Eröffnung und Begrüßung F. Wiesler	1
Grußwort des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz C. Neumann	6
Grußwort des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten F. Mayer	11
Grußwort der Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen, Österreich (ALVA) G. Bedlan	15

Plenartagung

Die Ernährungssituation der Menschheit – Überlegungen zu einem brisanten Thema F.J. Radermacher	18
Untersuchen, Bewerten, Beraten, Forschen: 125 Jahre VDLUFA im Dienste von Landwirtschaft, Umwelt- und Verbraucherschutz – aus Sicht des VDLUFA H. Schenkel	28
Untersuchen, Bewerten, Beraten, Forschen: 125 Jahre VDLUFA im Dienste von Landwirtschaft, Umwelt- und Verbraucherschutz M. Lahrssen-Wiederholt	38
Globaler Überblick über die Ernährungssituation sowie den Umwelt- und Verbraucherschutz in den letzten 25 bzw. den nächsten 5 Jahren – aus Sicht der Grundlagenforschung H. E. Goldbach	43

Workshop

Anforderungen an die Arbeit des VDLUFA von Seiten der Politik und Verwaltung H. Stürmer	56
---	----

Ansprüche an die Arbeit des VDLUFA von Seiten der Forschung G. Flachowsky, S. Dänicke	63
Anforderungen an die Arbeit des VDLUFA von Seiten der Beratung J. Opperer	76

Pflanzliche Produktion

N-Mineraldüngeräquivalente und Humuswirkung von Gärprodukten im Feldversuch H. Schröter, W. Zorn	80
Humusreproduktionsleistung von Stalldung im Dauerfeldversuch M4 Groß Kreuz J. Zimmer, F. Ellmer, B. Kroschewski	89
Humusaufbau und Stickstoffumsatz im Boden J. Reinhold, R. Kluge	97
Eintrag von pflanzenbürtigem organischem Kohlenstoff in den Boden in Energieanbausystemen S. Höcker, H. Beßler, P. Mewes, K. Schweitzer, C. Engels	109
Humuswirkung pflanzlicher Kohlenstoffquellen P. Mewes, S. Höcker, M. Lobach, K. Schweitzer, C. Engels	116
Mangan-Status von Getreide – Einbindung des Mn-Schnelltesters NN-Easy55 in die Düngeberatung H. Pralle, A. Borchert, H.-W. Olfs	123
Verfügbarkeit von Mikronährstoffen im Ackerbau – Ergebnisse aus Rheinland-Pfalz F. Fritsch	136
Bioenergie vom Rieselfeld: Ansätze zur Etablierung von Energiepflanzen auf Schwermetallbelasteten Böden H. Beßler, A. Adam, F. Camp, Y. Guetta, N. John, C. Sobioch, C. Engels	143
Wirkungsweise und Quantifizierung des Nitrifikationsinhibitors 3,4-Dimethylpyrazolphosphat in Böden G. Benckiser, E. Christ, T. Herbert, A. Weiske, J. Blome, M. Hardt	152
Wirkung ammoniumstabilisierter N-Dünger im Vergleich zu ihren nicht stabilisierten Formen in unterschiedlicher Gabenteilung auf Kornertrag, Rohprotein-gehalt und N-Saldo von Winterweizen auf Löss-Schwarzerde L. Boese	167

Einfluss von N-Düngung, Nitrifikationshemmstoff und Abfuhr der Ernterückstände auf die N ₂ O-Freisetzung zweier gemüsebaulich genutzter Böden P. Seiz, R. Schulz, A. Heger, M. Armbruster, T. Müller, F. Wiesler, R. Ruser	174
Integriertes Stickstoff-Managementsystem als Maßnahme zur Verbesserung der N-Effizienz in der Pflanzenproduktion – dargestellt am Beispiel Gemüsebau M. Armbruster, A. Heger, N. Laun, F. Wiesler	182
Minimierung von Nitrat-Austrägen und Ammoniak-Emissionen mit Hilfe des Gülle-Strip-Till-Verfahrens in Maisfruchtfolgen N. Tauchnitz, J. Bischoff, M. Schrödter, F. Wiese, H. Rupp, R. Meissner	192
N-Ausnutzung von unbehandelten und anaerob behandelten organischen Düngemitteln in einem Gefäß- sowie im Betonkastenversuch (Modell mit unterschiedlichen Bewirtschaftungsweisen) D. Koch, H. Schaaf, J. Heyn, S. Georgii	200
Verringerung des NitratAuswaschungspotentials in Baden-Württemberg durch Ökologischen Landbau M. Finck, M. Reinsch, H. Hartwig	210
Ergebnisse eines vierjährigen Monitorings zum Ernährungszustand Thüringer Ackerkulturen W. Zorn, S. Wagner	218
Bewertung des pflanzenverfügbaren Phosphates im Boden – Präzisierung durch die Berücksichtigung des Gehaltes an oxalatlöslichem Eisen und Aluminium K. Schweitzer, M. Kulhánek, J. Balík	226
Langzeitbetrachtung der Düngekalkwirkung auf die Phosphatverfügbarkeit im Boden V. König, M. Kerschberger,	234
Pflanzenverfügbarkeit von Phosphaten aus Klärschlamm- und Tiermehlaschen nach Aufschluss in flüssiger Konverterschlacke M. Rex, P. Drissen, S. Bartsch, J. Breuer, J. Pischke	244
Phosphatlöslichkeiten und Phosphat-düngewirkung von Stoffen aus der Klärschlammaufbereitung – Betrachtung unterschiedlicher Aufbereitungsverfahren M. Severin, C. Ahl, M. Kücke, J.-M. Greef	254
Auswertung aktueller Versuche zur P- und K-Düngung auf dem Grünland nach der Bilanzmethode W. Zorn, H. Hochberg, D. Zopf, G. Kießling	263

Teilflächenspezifischen Grunddüngung – erste Ergebnisse und Erfahrungen aus der Praxis	
I. Borchardt, U. Obenauf, C. Lubkowitz, C. Kock	271
Die digitale Hofbodenkarte als Grundlage für die teilschlagspezifische Landwirtschaftung	
F. Lorenz	280
Einsatz von „Biokohle“ in der Landwirtschaft (Zwischenergebnisse eines BLE-Drittmittelprojektes)	
M. Mokry, T. Aichele, K. Michels, J. Breuer	289
Terra Preta – was ist dran? Eine Bestandsaufnahme	
R. Kluge, J. Reinhold	300
Hygienrisiken organischer Düngemittel bei deren landwirtschaftlichen Verwertung	
W. Philipp, R. Haumacher, L. E. Hölzle	308
Einflüsse auf den Strohertrag als wesentliche Größe für den aus dem landwirtschaftlichen Stoffkreislauf zur energetischen Verwertung entnehmbaren Kohlenstoff	
C. Weiser, W. Zorn	319
Energiepflanzenproduktion auf nordostdeutschen Diluvialstandorten – ausgewählte Ergebnisse des EVA-Fruchtfolgeprojektes	
G. Ebel, G. Barthelmes, M. Heiermann	327
Vom Massenfluss zur Ökobilanz – Quantifizierung des Umweltwirkungspotentials von verbessertem Weidemanagement	
M. Schüler, M. Ohm, H.M. Paulsen	335
Eignung von Methoden zur Ermittlung des Massenaufwuchses von Grünland am Beispiel eines ökologischen Milchviehbetriebes	
M. Ohm, J. Felix, M. Schüler, H.M. Paulsen, G. Rahmann	342
Agrarmeteorologische Charakterisierung des Bodenwasserhaushaltes am Standort Bernburg-Strenzfeld	
M. Schmidt	351
Die Anpassungsstrategie an den Klimawandel für Baden-Württemberg – die Vulnerabilitätsanalyse im Handlungsfeld Landwirtschaft	
H. Flaig	359
Stickstoffwirkung unterschiedlicher N-Düngerformen im Dauerversuch	
M. Grunert, E. Albert	368
Erträge, Nährstoffgehalte und Pflanzenbestände bayerischer Grünlandflächen	
M. Diepolder, S. Raschbacher, S. Heinz, G. Kuhn	376

Auswirkungen des Boden-pH-Wertes auf die Mangan-Versorgung von zwei Winterweizen- und Wintergerstensorten: Evaluierung mittels Pflanzenanalyse und Schnelltester NN-Easy 55	
A. Borchert, H. Pralle, H.-W. Olfs	384
Untersuchungen zum Uraneintrag in landwirtschaftliche Böden durch Phosphatdünger	
M. Leiterer, D. Goldmann, J.W. Einax, W. Zorn, H. Schröter, G. Kießling, R. Kirmse	392
Lysimeter Langzeitexperiment zur Untersuchung des Sickerhaltens von Perfluorierten Tensiden (PFT) und dem Übergang vom Boden in Pflanzen – Ergebnisse einer Pilotstudie	
T. Stahl, S. Falk, S. Georgii, H. Brunn, J. Heyn, D. Koch, A. Sandhäger, H. Schaaf	404
Qualitätssicherung Landbauliche Abfallverwertung (QLA): Rückblick auf 10 Jahre Qualitätssicherung in der Prozesskette und Vorschau auf neue Tätigkeitsfelder im Stoffstrommanagement von betriebsfremden organischen Düngemitteln	
H. Schaaf, A. Heck, C. Hendrichke	417
Wirkung verschiedener Biokohlen auf die Biomasseentwicklung und Reproduktionsrate von Regenwürmern (<i>Lumbricus terrestris</i>)	
A. Schmidtman, C. Engels	431
Optimierung des Aufnahmepotentials betriebsfremder organischer Düngemittel (Geflügelmiste, Gärreste) für landwirtschaftliche Betriebe unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Belange	
H. Schaaf, D. Koch, J. Heyn, S. Georgii	438
Nährstoff-Verluste bei der Lagerung von Gärrest-Feststoff	
F. Herbst, W. Gans	449
Kohlenstoffdynamik und mikrobielle Umsatzprozesse von sächsischen Ackerböden bei differenzierter Bodenbearbeitung	
F. Kirsten, O. Nitzsche, G. Machulla, J. Heinrich	455
Effect of drip irrigation and soil mulching on some soil properties, yield and quality of navel orange trees at North Delta	
S.M. Youssef, A.S. El-Henawy, M.R. Khalifa, S.A. Mashali, A. Rabie..	462
Die größten Irrtümer über Biogas – Ein Beitrag vom VDLUFA AK Biogas	
K. Gödeke, F. Hengelhaupt, M. Paterson, M. Bischoff	475
Die Anpassungsstrategie an den Klimawandel für Baden-Württemberg – die Anpassungsmaßnahmen im Handlungsfeld Landwirtschaft	
H. Flaig	484
Anbaueignung von Sorghum auf Standorten in Brandenburg	
M. Martin, G. Barthelmes	492

Verfahrensvergleich zur Ermittlung von Stroherträgen G. Ebel, G. Barthelmes, J. Zimmer	498
Einfluss der langjährigen differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf die Dynamik der organischen Bodensubstanz D. Pikula	501

Tierische Produktion

Schätzung der <i>in situ</i> -Abbauparameter des Rohproteins und UDP-Schätzung bei Leguminosen-Gras-Gemengen, Ackerbohnen, Körnerfuttererbsen und Blauen Lupinen H.-J. Alert, A. Titze, S. Kirchhof	505
Zum Futterwert von Ganzpflanzensilagen aus Hafer-Ackerbohnen-Gemengen für Wiederkäuer T. Baumgärtel, S. Oehme, H. Kluth	512
Einsatz einer Trocken-TMR in der Fütterung von Fresserkälbern T. Ettle, A. Obermaier	520
Phytasezusatz im Mischfutter K.-H. Grünwald, J. Danier, G. Steuer	528
Untersuchungen zur bedarfsgerechten Versorgung von Masthybridebern L. Hagemann, A. Berk, K. Büsing, H. Claus, A. Hardinghaus, K. Krüger, W. Matthes, S. Müller, C. Otten, M. Rademacher, G. Riewenherm, M. Weber, A. Zeyner	535
Ergotalkaloide in Thüringer Getreide bei unterschiedlichem Mutterkornbesatz E. Herzog, R.-P. Bähr, C. Fischer, F. Schöne	540
Beweidung von Fotovoltaikanlagen mit Schafen M. Jurkschat, L. Schadow	545
Bakteriologische Erregerüberwachung am Beispiel eines Brandenburgischen Milchviehbestandes I. Krehl, K. Münch	553
Rückstände von quaternären Ammonium-verbindungen in Futter- und Lebensmitteln unter der besonderen Berücksichtigung der Grenzwertproblematik H. Meiser, H. Knapp, S. Eiß, M. Ruhland, C. Schlicht, M. Felsner	558
Einsatz hoher Anteile von Pressschnitzelsilage in der Milchkuhfütterung C. Potthast, T. Jilg	563
Untersuchungen zur Milchleistung der Rasse „Rotes Steppenrind“ in der Altai Region, Russland N. Rudischina	571

β-Carotin- und Vitamin E-Gehalte in Maisprodukten G. Hagl, M. Moosmeyer, H. Spiekers, W. Windisch, I. Immig, F.J. Schwarz	575
Untersuchung zum Einfluss von Raps-, Lein- und Hanfkuchen auf Legeleistungsmerkmale der Henne, Eizusammensetzung und Fettsäuremuster im Eidotter I. Halle, F. Schöne	582
Untersuchung zum Einfluss von Rapsextraktionsschrot auf das Wachstum von Broilern I. Halle	587
Die Wirkung der Zulage einer Mischung aus ätherischen Ölen auf die Leistung von Milchkühen S. Dunkel, B. Zweifel, H. Schaeffer, K. Trauboth, M. Strube	592
Perfluoralkylsäuren (PFAAs) in der Nahrungskette: Boden – Futtermittel – Tier – Verarbeitungsprodukt J. Kowalczyk, H. Schafft, M. Lahrssen-Wiederholt	601
Veränderungen der Schimmelpilz- und Bakterienflora von Getreide und Stroh in den letzten Jahrzehnten G. Strauß	612
Untersuchungen zum Carry over von Eisen aus mit Eisen kontaminierter Grassilage in ausgewählte Körpergewebe von Ziegen sowie in Lebensmittel tierischen Ursprungs M. Spolders, A. Benkmann, A. Simon, O. Steinhöfel, B. Fröhlich, J. Zentek, H. Schafft, M. Lahrssen-Wiederholt	621
Kupfer, Selen und Jod im Mineral- und Mischfutter für Milchkühe – Konzentration und empfohlene Aufnahme F. Schöne, M. Leiterer	627
Mineralstoffgehalte in Fleckviehkühen: Ergebnisse aus Ganzkörperanalysen M. Steyer, T. Ettle, H. Spiekers, M. Schuster, S. Mikolajewski, M. Rodehutschord	636
Mast- und Schlachtleistung von 10 Monate alten Absetzern der Rasse Fleckvieh aus der Mutterkuhhaltung S. Steinberger, T. Ettle, H. Spiekers, M. Pickl, K. Böker, R. Prischenk ..	644
Vergleichende Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit einer ganzjährigen Freilandhaltung gegenüber einer Winter-Stallhaltung von Mastochsen verschiedener Rassen unter Berücksichtigung einer grünlandbasierten Fütterung P. Weindl, G. Bellof, E. Schmidt	652

Zum Einfluss von Rasse, Weidesystem und Konzentratbeifütterung auf die Mastleistung, den Schlachtkörperwert sowie die Fleischbeschaffenheit von Mastochsen	
M. Schmutz, P. Weindl, S. Carrasco, G. Bellof, E. Schmidt	662
Einfluss verschiedener Zufütterungsstrategien bei ganztägiger Kurzrasenbeweidung	
M. Pries, C. Berendonk, A. Verhoeven, C. Verhülsdonk	671
Flächen- bzw. Produktbezug in CO ₂ -Bilanzen tierhaltender Betriebe: Entweder/oder oder sowohl als auch?	
R. Lioy, T. Dusseldorf, J. Hans, A. Meier, R. Reding, S. Turmes	679
Entwicklung und Umsetzung eines Ökobilanzierungskonzeptes für landwirtschaftliche Betriebe in Österreich	
M. Herndl, T. Guggenberger, D.U. Baumgartner, M. Bystricky, G. Gaillard	688
Umweltverträgliche Protein- und Aminosäuren-versorgung von Geflügel und Schwein nach dem Konzept des Idealproteins	
C. Wecke, F. Liebert	695
Der Einsatz von Rapsextraktionsschrot in der Intensivmast von männlichen B.U.T. 6-Mastputen	
P. Plesch, S. Carrasco, B. Schade, G. Bellof	703
Feldstudie zur Praktikabilität der Jungebermast	
M. Freitag, U. Meierfrankenfeld, G. Freisfeld, B. Walgern, M. Ziron ...	713
Auswirkungen einer N-reduzierten Fütterung beim Schwein auf Mast- und Schlachtleistungen, Stallluftqualität und Gülleinhaltsstoffe	
W. Preißinger, H. Lindermayer, G. Propstmeier	720
Pflegewirksamkeit der Schafbeweidung in Heiden Brandenburgs	
M. Jurkschat, D. Lüttschwager, C. Ewald	728
Ein- oder zweiphasige Trockensteherfütterung	
B. Streuff, M. Pries, A. Menke, C. Hoffmanns, C. Verhülsdonk, K. Hünting, M. Hoedemaker	736
Einfluss von Klinoptilolith und dem Milchsäurebakterien-Präparat Kombioflor-F auf Futteraufnahme und Milchleistung sowie Nährstoffverdaulichkeit von Milchkühen	
L. Gruber, A. Patz, A. Schauer, J. Häusler, W. Somitsch, M. Frühwirth, B. Steiner, M. Urdl	744
Eiweißergänzung zu Grassilage mit Sojaextraktionsschrot oder Rapsextraktionsschrot	
T. Jilg, E. Stamer	753

Energiebestimmung von Grobfuttermitteln aus kleinkörnigen Leguminosen B. Losand, H.-J. Alert, Y. Arrigo, T. Ettle, H. Kluth, C. Koch, A. Menke, A. Priepke, M. Pries, F.-J. Romberg, O. Steinhöfel, J. Trautwein	761
Untersuchungen zur Proteolyse während der Silierung von Weidelgras und Luzerne bei Zusatz tanninhaltiger Pflanzenextrakte S. Roscher, O. Steinhöfel, H. Schafft, W. Richardt, B. Pieper	770

Saatgut

Keimfähigkeit, Triebkraft, Feldaufgang und Ertrag bei Sojabohnen (<i>Glycine max</i>) mit unterschiedlicher Saatgutqualität B. Voit, G. Salzeder, B. Killermann	779
Minimierung des Aussaatrisikos mit Hilfe des Radicle-Emergence-Tests (Keimwurzeltest) bei Mais im mitteldeutschen Trockengebiet U. Gierke	785
Unterscheidung von zwei- und mehrzeiligen Gerstensorten mit der Fluidigm-Technik B. Killermann, M. Diethelm, G. Schweizer, B. Voit	794
Infektionsfähigkeit von Steinbrand- (<i>Tilletia caries</i>) und Zwergsteinbrandsporen (<i>Tilletia controversa</i>) im Boden und Stallmist unter Berücksichtigung verschiedener Fruchtfolgen in Biobetrieben R. Bauer, B. Voit, B. Killermann, K.-J. Hülsbergen	799
Lagerungsverhalten von Saatgutproben von Öllein (<i>Linum usitatissimum</i>) betreff Keimfähigkeit und Saatgutgesundheit C. Belkner, M. Riedel	804

Analytik

Automatisierte Gelpermeationschromatographie (GPC) mit Inline-Festphasenextraktion (SPE) zur optimierten Probenvorbereitung von Lebensmittel- und Futtermittelproben (Automated GPC with Inline-SPE to improve Sample Cleanup) J. Netzer	810
Pesticide Analysis Using the AutoMate-Q40: An Automated Solution to QuEChERS Extractions T. Hartlein	815

ADF _{om} - und Rohfaseranalytik: Vergleich der Glasfildertigel-Technik mit der automatisierten FibreBag-Technologie (C. Gerhardt) U. Fettweis, J. Kühl	823
Methodenentwicklung einer Heißwasserextraktion für organische Böden C. Heller, M. Alt, K. Weiß	828
Analyse von quartären Ammoniumverbindungen (QAV) in Futtermitteln D. Martens, J. Andresen	834
Labordatenverarbeitung in derten Dimension! J. Flekna	839
Die Qualität von Faseranalysen und Untersuchungen im Umfeld von Biogasanlagen G. Henkelmann, K. Fischer-Kaiser	845
Methodendiskussion zur Bestimmung des Restgaspotenzials von Gärresten G. Reinhold, K. Gödeke, F. Hengelhaupt	854
Kalibrierung der CAT-Methode zur Bestimmung des verfügbaren Bors für Zuckerrüben in carbonathaltigen Böden B. Mindermann, T. Appel, W. Zorn	862
Entstehung maskierter Mykotoxine in fermentierten Pflanzenmaterialien: mikrobiologische, biochemische und analytische Aspekte G. Strauß	871
Optimierung von Silierversuchen durch Lagerung des Siliergutes und Einsatz von einem Hilfsgerät bei der Befüllung der Siliergläser A. Schuldt, R. Dinse	879
Abbauverhalten von Spinosad J. Santer, M. Kelderer	887
Autorenindex	891
Adressliste der korrespondierenden Autoren.....	895

Eröffnung und Begrüßung

F. Wiesler

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) e. V., Speyer

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich möchte Sie ganz herzlich auf dem diesjährigen Kongress des *Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten* in Berlin begrüßen. Es ist ein besonderer Kongress, weil er 125 Jahre nach Gründung des *Verbandes Landwirtschaftlicher Versuchsstationen im Deutschen Reiche* am 22. Januar 1888 in Weimar stattfindet. Bereits am 15. September 1888, also fast auf den Tag genau vor 125 Jahren, fand in Bonn auch die erste Verbandstagung statt, die damals von 22 Mitgliedern und 11 Gästen besucht wurde.

Lassen Sie mich einen kurzen Blick zurück in jene Epoche werfen, in der unser Verband gegründet wurde. Durch Änderungen in der Bodennutzung und Ausdehnung der Tierhaltung war es schon ab dem Ende des 18. Jahrhunderts gelungen, die Nahrungsmittelproduktion in Mitteleuropa erheblich zu steigern. Dennoch blieb der Nahrungsmittelspielraum im Verhältnis zur wachsenden und zunehmend in der Industrie tätigen Bevölkerung über einen langen Zeitraum sehr eng und anfällig. So gingen die 1840er Jahre als „hungriges Jahrzehnt“ in die Geschichte ein, 1847 litt ganz Mitteleuropa unter der letzten großen, nicht durch Kriege oder politische Umwälzungen bedingten Hungerkrise.

Dies war ein wesentlicher Anlass, die Ergebnisse der aufblühenden naturwissenschaftlichen Forschung, insbesondere die von Sprengel und Liebig entwickelte Mineralstofftheorie sowie die Erkenntnisse aus Tierernährung und Pflanzenzüchtung im landwirtschaftlichen Versuchswesen weiterzuentwickeln und in die Praxis einzuführen. Einen wesentlichen Beitrag dazu leisteten die ab 1852 überall in Deutschland gegründeten Landwirtschaftlichen Versuchsstationen. Produktionssteigerung und Ernährungssicherung blieben bis lange nach dem zweiten Weltkrieg, als Millionen von Flüchtlingen und Vertriebenen zusätzlich ernährt werden mussten, zentrale Aufgabe der Agrarforschung in Deutschland.

Ausgelöst durch die Diskussion um Überproduktion und die durch die Landwirtschaft verursachten Umweltprobleme erfolgte ab den 1970er Jahren mit der Entwicklung umweltschonender Produktionsverfahren dann eine neue Schwerpunktsetzung. Sie wurde erweitert durch das Bemühen um eine Verbesserung der ernährungsphysiologischen Qualität landwirtschaftlicher Produkte und schließlich, ausgelöst durch die BSE-Krise, eine starke Fokussierung auf den Verbraucherschutz ab der Jahrtausendwende.

Die Geschichte des *Verbandes der Deutschen Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten* und auch die Schwerpunktsetzung auf den Kongressen spiegelt diese Entwicklung eindrücklich wider. Sie führte dazu, dass wir uns mit unseren Tätigkeitsschwerpunkten *Untersuchen, Bewerten, Beraten und Forschen* heute in dem schwierigen Spannungsfeld zwischen landwirtschaftlicher Produktion, Umwelt- und Verbraucherschutz bewegen. Ganz neu ist das aber nicht. Schon auf dem ersten VDLUFA-Kongress in Berlin, es war im Jahre 1974, widmeten sich die Teilnehmer dem Generalthema „Nahrungssicherung und Nahrungsqualität“.

Ich möchte nun unsere Ehrengäste auf dem diesjährigen Kongress ganz herzlich willkommen heißen:

Für das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz begrüße ich Herrn Ministerialdirektor Clemens Neumann und mit ihm alle Mitarbeiter des Ministeriums und seiner nachgelagerten Behörden und Ressortforschungseinrichtungen. Sie sind seit vielen Jahren unser wichtigster Partner auf Bundesebene.

Die Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten haben ihre Verankerung in den Bundesländern. Für die Agrarministerkonferenz der Länder begrüße ich ganz herzlich Herrn Ministerialdirigenten Friedrich Mayer vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Mit ihm begrüße ich alle Vertreter der Landwirtschaftsministerien in den anderen Bundesländern, der Landwirtschaftskammern, der Landesanstalten und zahlreicher anderer Behörden der Länder.

Für die Technische Universität Berlin grüße ich deren Präsidenten, Herrn Professor Jörg Steinbach.

Stellvertretend für unsere ausländischen Gäste möchte ich den Präsidenten der Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel, Veterinär- und Agrarwesen, Herrn Universitätsdozenten Dr. Bedlan aus Wien, ganz herzlich willkommen heißen. Mit der ALVA verbindet uns eine über 100jährige Zusammenarbeit, die wir im letzten Jahr durch die gemeinsame Durchführung des Kongresses in Passau ausbauen konnten.

Nicht zuletzt heiße ich auch unsere Ehrenmitglieder, die Träger der verschiedenen Auszeichnungen des VDLUFA, die korrespondierenden Mitglieder und die zahlreichen ehrenamtlich Tätigen im VDLUFA ganz herzlich willkommen.

Unserem Jubiläum und unseren Tätigkeitsschwerpunkten Rechnung tragend, wollen wir uns auf dem diesjährigen Kongress dem Generalthema

„Untersuchen, Bewerten, Beraten, Forschen: 125 Jahre VDLUFA im Dienste von Landwirtschaft, Umwelt- und Verbraucherschutz“

widmen.

Dem Vorstand ist sehr daran gelegen, dass wir die anschließende Plenartagung und den morgen Vormittag stattfindenden Workshop nicht nur für einen Rückblick nutzen, sondern auch als Ansporn und Orientierung für die Bewältigung der zukünftigen Herausforderungen an die Arbeit des VDLUFA sehen.

Als Referenten der Plenartagung grüße ich ganz herzlich Herrn Professor Dr. Dr. Franz-Josef Radermacher von der Universität Ulm, Herrn Professor Dr. Hans Schenkel von der Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie der Universität Hohenheim, Frau Dr. Lahrssen-Wiederholt vom Bundesinstitut für Risikobewertung hier in Berlin sowie Herrn Professor Dr. Heiner Goldbach von der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn.

Sie werden die Rolle des VDLUFA im Spannungsfeld Ernährungssicherung, Verbraucher- und Umweltschutz in Vergangenheit und Zukunft in einem Impulsreferat und aus der Sicht ihrer Institutionen beleuchten.

Ebenso wie die Referenten des heutigen Nachmittags begrüße ich Herrn Ministerialrat Dr. Hermann Stürmer vom Bundesministerium für Ernährung- Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Herrn Präsidenten Jakob Opperer von der

Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und Herrn Professor Gerhard Flachowsky, ehemaliger Leiter des Instituts für Tierernährung des Friedrich-Löffler-Instituts, sie werden das Generalthema morgen auf dem Workshop vertiefen.

Mit ihnen grüße ich alle Referenten und Referentinnen, die mit ihren Vorträgen und Postern in den öffentlichen Sitzungen und dem Workshop Analytik neueste Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung präsentieren und so unverzichtbar zum Erfolg dieses Kongresses beitragen.

Für die Durchführung des Kongresses haben wir vielfältige Unterstützung erfahren, wofür ich mich an dieser Stelle ganz herzlich bedanke, an erster Stelle beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, das uns finanziell maßgeblich unterstützt und auch die Schirmherrschaft für den Kongress übernommen hat.

Die Durchführung des VDLUFA-Kongresses wäre undenkbar ohne Unterstützung vor Ort. Für diese Unterstützung bedanke ich mich bei der Technischen Universität Berlin, insbesondere Herrn Prof. Dr. Martin Kaupenjohann, Leiter des Fachgebiets Bodenkunde am Institut für Ökologie, das auch Mitveranstalter dieses Kongresses ist.

An dieser Stelle möchte ich auch auf die Agrarökologische Exkursion am Freitag hinweisen, die in die Region im Südwesten von Berlin führen wird, wo die Teilnehmer einen Eindruck der charakteristischen Standortvielfalt der eiszeitlich geprägten Landschaften des Norddeutschen Tieflands gewinnen werden. Mein herzlicher Dank gilt Frau Dr. Kathlin Schweitzer von der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin. Sie hat die Vorbereitung der Exkursion maßgeblich unterstützt.

Bedanken möchte ich mich schließlich bei allen Firmen, die durch ihre Teilnahme an der Fachausstellung zur Attraktivität und zur Finanzierung des Kongresses beitragen - und so das Bundeslandwirtschaftsministerium und den VDLUFA finanziell entlasten. Bitte nehmen Sie die Gelegenheit wahr, sich durch den Besuch der Stände über das breite Leistungsangebot der Aussteller zu informieren.

Herr Ministerialdirektor Clemens Neumann für Bundesministerium für Ernäh-

zung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Herr Ministerialdirigent Friedrich Mayer für die Agrarministerkonferenz der Bundesländer, Herr Professor Dr. Jörg Steinbach für die TU Berlin und Herr Univ.-Doz. Dr. Bedlan, für ALVA, haben sich freundlicherweise bereit erklärt den Kongress mit einem Grußwort zu eröffnen.

Grußwort des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

C. Neumann

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz,
Berlin

Sehr geehrter Herr Präsident Wiesler, sehr geehrter Herr Präsident Steinbach,
meine sehr geehrten Damen und Herren,

zu Ihrem Kongress überbringe ich Ihnen die herzlichen Grüße des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und gratuliere Ihnen zum 125 jährigen Jubiläum der Gründung des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten.

Frau Bundesministerin Ilse Aigner hat die Schirmherrschaft auch über Ihren diesjährigen Kongress gerne übernommen – sie hat mich gebeten, Ihnen ihre herzlichsten Grüße zu übermitteln.

Im BMELV wird die vielfältige Arbeit des VDLUFA und seiner Mitglieder für die Land- und Ernährungswirtschaft sowie den Verbraucherschutz sehr geschätzt. Deshalb unterstützt das Ministerium auch diesen Kongress mit einer Zuwendung. Einen zusätzlichen Scheck bringe ich dieses Jahr nicht mit. Nachdem wir im vergangenen Jahr die Unterstützung für Ihre ISTA Arbeit wieder aufgenommen haben, werden wir das Geld diesmal einfach überweisen.

Ihre Fachveranstaltung ist immer eine gute Gelegenheit, aktuelle Forschungsergebnisse vorzustellen, im Rahmen des Generalthemas zu beleuchten und auf hohem Niveau zu diskutieren. Für die Vertreter der Ministerien und anderer Behörden ist sie stets willkommener Anlass zum fachlichen Austausch mit der landwirtschaftlichen Forschung und Beratung.

Meine sehr geehrten Damen und Herren,
der Verband der Deutschen Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), der vor 125 Jahren in Weimar als Verband land-

wirtschaftlicher Versuchsstationen im Deutschen Reiche gegründet wurde, kann auf eine eindrucksvolle Entwicklung zurückblicken. Ein besonders prägendes Ereignis war die deutsche Wiedervereinigung. Die neugegründeten ostdeutschen Institutionen traten zeitnah dem VDLUFA bei und wurden sehr positiv aufgenommen. Sie haben die Arbeit des Verbandes sehr bereichert und mit ihrer fachlichen Kompetenz unmittelbar wesentlich zur Methodenentwicklung und zur Erstellung von Standpunkten beigetragen. Der VDLUFA hat davon sehr stark profitiert.

Seit Beginn der Gründung des Verbandes bis in die 1960iger Jahre waren Produktionssteigerung und Ernährungssicherung zentrale Aufgabe der Agrarforschung in Deutschland. Ausgelöst durch die Diskussion um Überproduktion und die durch die Landwirtschaft verursachten Umweltprobleme erfolgte mit der Entwicklung umweltschonender Produktionsverfahren in den 1970er und 1980er Jahren dann eine neue Schwerpunktsetzung. Sie wurde erweitert durch das Bemühen um eine Verbesserung der ernährungsphysiologischen Qualität landwirtschaftlicher Produkte ab den 1990er Jahren und schließlich die Fokussierung auf den Verbraucherschutz ab der Jahrtausendwende. Der VDLUFA hat die Herausforderungen der jeweiligen Zeit aufgenommen und sich positiv damit auseinandergesetzt.

Das Spannungsfeld zwischen landwirtschaftlicher Produktion und Umweltschutz hat die fachliche Arbeit im VDLUFA in den letzten 25 Jahren wesentlich mitgeprägt. Dies spiegelt sich in den Schwerpunktthemen der Kongresse genauso wie in zahlreichen Standpunkten und Positionspapieren des VDLUFA wider, in denen u. a. den Fragen nachgegangen wurde,

- was ordnungsgemäße bzw. nachhaltige Landwirtschaft ausmacht,
- welche Umweltwirkungen von der Landbewirtschaftung ausgehen,
- mit welchen Parametern die Umweltverträglichkeit bzw. die Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion bewertet werden kann oder
- wie die Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb erfolgen kann.

Weitere wichtige Themen in diesem Zusammenhang waren das Nährstoffrecycling durch die landwirtschaftliche Verwertung von Abfall- und Reststoffen, die Produktion nachwachsender Rohstoffe und jüngst Vorschläge zur Novellierung der Düngeverordnung.

Die durch die BSE-Krise hervorgerufene Fokussierung auf den Verbraucherschutz hatte Auswirkungen auf die Arbeit des VDLUFA. Fachlich spiegelte sich

die Thematik Futter- und Lebensmittelsicherheit in der Schwerpunktsetzung auf verschiedenen VDLUFA-Kongressen wider, genauso wie in verschiedenen Standpunkten und Positionspapieren des Verbandes.

Die zunehmende Bedeutung der gemeinsamen Gesetzgebung in der Europäischen Union bewirkte, dass der VDLUFA sich auch international öffnen musste. Von immer größerer Bedeutung wird das Engagement des VDLUFA in den Ausschüssen (Spiegelgremien) „Düngemittel „ und „Futtermittel“ des DIN sowie in den entsprechenden CEN- und ISO-Gremien. In diesem Zusammenhang ist auch die Mitarbeit in den Ausschüssen der ISTA zu nennen.

Aus den dargestellten Entwicklungen auf den Gebieten Landwirtschaft, Umwelt- und Verbraucherschutz, sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene, sowie aus den Veränderungen im Bereich der Agrarforschung und des landwirtschaftlichen Untersuchungswesens ergeben sich zahlreiche Herausforderungen für die künftige Arbeit des VDLUFA. Sie werden das unter dem diesjährigen Generalthema „Untersuchen, Bewerten, Beraten, Forschen: 125 Jahre VDLUFA im Dienste von Landwirtschaft, Umwelt- und Verbraucherschutz“ in den Arbeitsgruppe und im Plenum sicher ausführlich diskutieren.

Neben den reinen Fachthemen geht es dabei auch um Grundsatzfragen wie:

- Die Erfordernisse zum Erhalt der Kernkompetenz im Bereich der Methodenentwicklung und der Qualitätssicherung.
- Die Rolle des VDLUFA in der angewandten Agrarforschung.
- Die Voraussetzungen für die Stärkung des ehrenamtlichen Engagements im VDLUFA.
- Die Stärkung der Rolle als Gesprächspartner für Politik und Verwaltung.
- Die Möglichkeiten der internationalen Vernetzung.

Ich bin überzeugt, dass es zu sehr interessanten Diskussionen kommen wird, zumal Sie wieder hochkarätige Referentinnen und Referenten gewinnen konnten. Ich bin gespannt auf die Ergebnisse Ihrer Arbeit – vieles davon wird in die Arbeit der Ministerien des Bundes und der Länder einfließen.

Lassen Sie mich noch zwei besondere Themen nennen, bei denen das BMELV besonders von der Expertise des Verbandes profitieren kann. Dies sind zum einen die künftigen Herausforderungen an die Tierernährung.

Hier geht es schwerpunktmäßig um

1. Sicherung der globalen Ernährung mit tierischen Erzeugnissen bei begrenzten Ressourcen
 - Grundlagen zur effektiven Nutzung von Futterressourcen durch wissenschaftliche Forschung im Bereich der Tierernährung und insbesondere durch Transfer in die Praxis durch die Beratung
 - Fortentwicklung der Methoden zur Futterbewertung und ihre Anwendung als Grundlage einer effektiven Nutzung von Futtermitteln.
2. Verbesserung der Fütterung mit einer positiven Bilanz zwischen Leistung, Tiergesundheit und Wohlbefinden
 - Mitwirkung bei der Entwicklung messbarer Kriterien zur Bewertung der Wirkungen der Tierernährung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Nutztiere,
 - Entwicklung von Methoden zur Quantifizierung solcher Kriterien.
3. Erzeugung sicherer und qualitativ hochwertiger Lebensmittel tierischer Herkunft in Einklang mit den Anforderungen an Ökologie und Ökonomie
 - Entwicklung und Umsetzung von Fütterungssystemen, die die hervorragenden Ergebnisse bei der Leistungs- und Qualitätsentwicklung mit den ökologischen Anforderungen an eine moderne, ressourcenschonende Tierernährung verbinden
 - Entwicklung von Maßstäben und Bewertungsverfahren für eine ökologisch ausgerichtete Tierernährung.

Bei allen zukunftsorientierten Fragestellungen dürfen die wichtigen Aufgaben der „täglichen“ Arbeit der Untersuchungsanstalten und Laboratorien insbesondere im Rahmen der amtlichen Futtermittelkontrolle nicht vernachlässigt werden. Denn eine funktionierende Kontrolle ist ein wichtiger Garant für die Sicherheit von Futtermitteln und Lebensmitteln. Die Ereignisse der letzten Jahre haben gezeigt, wie wichtig es ist, dass die Untersuchungsergebnisse zeitnah vorliegen und verlässlich sind.

Ein zweiter wichtiger Schwerpunkt aus Sicht des BMELV ist die weitere Verbesserung der Umweltverträglichkeit der Düngung.

Hier haben Sie sich bereits aktiv eingebracht bei der Düngeverordnung. Trotzdem werden wir in den nächsten Monaten noch besonders auf Ihre Expertise, auf Ihre Mitarbeit angewiesen sein.

Ich möchte mein Grußwort nicht beenden ohne an dieser Stelle ein ganz herzliches Dankeschön zu sagen an alle die uns heute schon in vielen Bereichen helfen und in der Vergangenheit geholfen haben!

Ich bin fest davon überzeugt, dass es dem VDLUFA gelingt, seine Position im landwirtschaftlichen Untersuchungswesen und in der angewandten landwirtschaftlichen Forschung in Deutschland zu erhalten und zu verbessern und sich gleichzeitig international stärker zu vernetzen. Damit wird er ein wichtiger Partner auf dem Gebiet „Untersuchen, Bewerten, Beraten, Forschen“ sein.

Ich wünsche ich Ihnen, sehr geehrter Herr Präsident, meine Damen und Herren, einen erfolgreichen Kongress mit vielen fruchtbaren Diskussionen.

Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit.

Grußwort des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

F. Mayer

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten,
München

Sehr geehrter Herr Vorsitzender Prof. Dr. Wiesler, verehrte Mitglieder des Vorstandes, Verantwortliche der unterschiedlichsten Forschungs- und Untersuchungseinrichtungen in Deutschland, verehrter Kollege Clemens Neumann, verehrte Festgäste!

Wenn ein Münchner in die Hauptstadt Berlin eingeladen wird, dann muss es schon einen besonderen Anlass hierfür geben. Und in der Tat: 125 Jahre Verband der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) ist ein solcher Anlass. Ich darf Ihnen die besten Grüße unseres Staatsministers Helmut Brunner übermitteln. Ich gratuliere zu diesem Jubiläum und wünsche Ihnen im Namen aller Bundesländer für die Veranstaltung, aber auch weit darüber hinaus alles erdenklich Gute.

Bayern hat für 2013 (in schwierigen Zeiten) den Vorsitz in der Agrarministerkonferenz. Erlauben Sie mir einige wenige Anmerkungen zum letzten Treffen, das am 30.08.2013 in Würzburg stattfand.

„Die Agrarminister einigten sich auf eine Sonderkonferenz“ – das war noch die wohlmeinendste Schlagzeile dafür, dass man in der Ausrichtung der Agrarpolitik und dem richtigen Weg der künftigen Umsetzung der Gemeinsamen Agrarpolitik in Deutschland noch weit auseinander liegt. Somit konnte trotz ernsthaftester Bemühungen des Bundes aber auch des Vorsitzlandes Bayern vor den Wahlen keine entscheidende Einigung erzielt werden. Die Bereitschaft zur Kompromissfindung war noch zu gering. Eine Sonderkonferenz im November in München – möglichst schnell nach der Bundestagswahl – muss jetzt den gordischen Knoten (Sockelförderung, Kappung, Umverteilung zwischen den Säulen) durchschlagen. Wir sind sehr zuversichtlich, dass eine Einigung gelingen kann, ja gelingen muss. Alle werden sich zusammenraufen müssen, weil der Zeitdruck einfach zu groß ist.

Mich persönlich erinnert das Verfahren an Tarifverhandlungen: Man weiß in etwa was rauskommen muss, aber es sind noch nicht alle Treffen der Tarifpar-

teilen absolviert. Deutschland braucht wieder verlässliche Bedingungen für die nächste Finanzperiode, die von 2014 bis 2020 reicht, und je nach Ergebnis der Bundestagswahl kann das sehr schnell gehen.

Die Finanzierungsfragen berühren Sie natürlich nur mittelbar. Aber es gab viele weitere Themen mit direktem Bezug zu ihrer Arbeit. Sei es Einschränkungen bei der Anwendung von glyphosathaltigen Pflanzenschutzmitteln (*Siccation*), um neue Eiweißstrategien auf Bundes- und Europaebene, die verbesserte Umsetzung der Nitratrichtlinie (zwar zurückgestellt, wird aber kommen) oder um Bildung und Beratung. Immer geht es um Untersuchung, Bewertung und Forschung und Beratung. Ihr Motto zieht sich wie ein roter Faden durch die Arbeit der Agrarminister. Für zukünftige Arbeit ist also hinreichend gesorgt.

Meine sehr geehrten Damen und Herren, zurzeit ist eine enorme Aufbruchsstimmung im gesamten Sektor der Land- und Ernährungswirtschaft zu spüren. Das kann man an der Investitionsbereitschaft ablesen. Grund und Boden werden immer gefragter, bei vielen Produkten geht die Preisentwicklung in die richtige Richtung (Bayern: 40 Cent bei Milch erreicht). Der ganze Sektor steht im Focus der Öffentlichkeit. Viele neue Forschungsfragen werden aufgeworfen. Dabei ist die nachhaltige und ressourceneffiziente Nutzung unserer knappen Güter sicherlich die wichtigste Herausforderung für die Zukunft. Ressourceneffizient – mit weniger Input noch mehr erzeugen. Das ist ohne Zweifel eine enorme Herausforderung, bei der die Politik in hohem Maße auf ihre Erkenntnisse und Vorschläge angewiesen ist.

Und es sind nicht nur produktionstechnische, sondern auch gesellschaftliche Fragestellungen, auf die wir Antworten suchen:

- Wie können wir unsere Nutztiere artgerecht und doch wirtschaftlich halten?
- Mit welchen Strategien begegnen wir dem Klimawandel? (IPCC-Bericht wird in diesen Tagen vorgelegt, BY: moving fields)
- Wie können wir die Bodenfruchtbarkeit auf Dauer erhalten? (Erosion, Bodenverdichtung)
- Wie können wir Lebensmittel mit weniger Pflanzenschutzmittel und Antibiotika produzieren, die für alle bezahlbar sind?
- Wie können wir einen vernünftigen Nährstoffausgleich zwischen Viehhaltungsregionen und Ackerbauregionen organisieren?

Um diese Fragen zu beantworten, brauchen wir vor allem wissenschaftliche Daten und Ergebnisse. Wissensbasierte Entscheidungen sind auch für den Hoheitsvollzug notwendig, der nicht dazu führen sollte, dass hinter jedem Bauer ein Kontrolleur steht, der uns aber zeigt, wie weit wir in der Umsetzung der guten fachliche Praxis sind. Vieles ist besser geworden, wir sind auf dem richtigen Weg, aber wir dürfen auch nicht alles schönreden.

Und wir brauchen Innovationen. Die Landwirtschaft entwickelt aus sich heraus aufgrund ihrer Vielfältigkeit und der teilweise geringen finanziellen Mittel zu wenig Innovationskraft. Durch das Zusammenwirken der Akteure aus Forschung, Lehre, Politik und Wirtschaft können zwingend notwendige innovative Prozesse angeschoben bzw. beschleunigt werden (EU-Strategie: *Horizon 2020*).

Meine sehr geehrten Damen und Herren, auf meinem Fußmarsch vom Münchner Hauptbahnhof zur Arbeit in die Ludwigstraße werde ich täglich an das Wirken des großen Begründers der Agrarwissenschaften, Justus von Liebig, erinnert. Seine prachtvolle Statue (aus Carrera-Marmor) steht am Wittelsbacher Platz im Herzen von München.

Was würde dieser so überaus begnadete Wissenschaftler in heutiger Zeit denken, forschen und lehren? Welche Botschaft würde er uns heute mitgeben wollen?

Lassen sie mich dieses Gedankenspiel einmal weiterverfolgen:

- Er würde uns zurufen: Arbeitet zusammen. Denn er hätte schnell erkannt, dass einer allein die Themen und Herausforderungen unserer heutigen Zeit kaum mehr bewältigen kann. Wenn wir nur den Klimawandel betrachten, so haben wir es hier mit einer Thematik zu tun, die in ihrer Komplexität und Verästelungen in viele wissenschaftliche Disziplinen hinein reicht. Von der Bodenkunde über die Tierhaltung bis in den Pflanzenschutz und Baubereich. Transdisziplinär arbeiten heißt auch, alle Nebenwirkungen einer Maßnahme beachten (wie Beipackzettel eines Medikaments)
- Justus von Liebig würde sich sicherlich über die vielen Einrichtungen freuen, die seit seiner Zeit begründet wurden; aber in seiner sorgfältigen Analyse auch sehen, dass die föderale Struktur in Deutschland bei allen Vorteilen und der notwendigen Vielfalt auch Schwächen hat. Schwächen darin, dass alle alles machen wollen und am Schluss die personellen und finanziellen Res-

sourcen nicht mehr für alle reichen. Er würde uns deshalb auffordern: Konzentriert euch und vermeidet Doppelarbeit. Und wo einer ausscheidet oder der Nachwuchs fehlt, sorgt dafür, dass über Ländergrenzen hinweg die notwendigen Forschungsbereiche sichergestellt werden. Die Länder bemühen sich um eine solche Zusammenarbeit, und wir haben jetzt einige Projekte mit Länderübergreifendem Charakter beispielhaft auf den Weg gebracht (Maiswurzelbohrer, Soja).

- Und ich bin überzeugt, Justus von Liebig wäre noch ein weiterer Gedanke sehr wichtig: Angewandte Forschung hat keinen Selbstzweck. Sie dient immer dem Menschen. So wie sein Gesetz vom Minimum damals die Produktivität der Böden und die Ernährungslage verbessert hat. Eine der Hauptaufgabe ist es deshalb, die Forschungsergebnisse schnell und praxistauglich an den Mann zu bringen. Der Wissenstransfer muss deshalb mindestens genauso wichtig gesehen werden wie die Forschung selbst.

Meine sehr geehrten Damen und Herren, vielleicht hätte Justus von Liebig noch viel mehr Wünsche und Gedanken. Ich will an dieser Stelle aber mit der Spekulation enden. Sie haben längst erkannt: In vielen Fragen kann ihr Zusammenschluss, aber vor allem auch die Deutsche Forschungsallianz (DAFA) die notwendigen Antworten geben. Deshalb wünsche ich Ihnen für die Zukunft weiterhin viel Erfolg. Und Ihrer Jubiläumsveranstaltung wünsche ich einen guten Verlauf. Ihnen allen gute Gespräche im Plenum und am Rande der Veranstaltungen. Pflegen sie ihre Netzwerke untereinander.

Zitat Helmut Brunner: „Bei unseren Agrarstrukturen müssen wir in der Agrarforschung immer einen Schritt schneller sein als die anderen“. Das gilt nicht nur für Bayern sondern für große Teile Deutschlands. Eine starke staatliche Agrarforschung ist für die Wettbewerbsstärkung der bäuerlichen Landwirtschaft unerlässlich.

Wir zählen auf Sie.

Grußwort der Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen, Österreich (ALVA)

G. Bedlan

Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen, Wien

Sehr geehrter Herr Präsident Wiesler!

Sehr geehrte Ehrengäste!

Sehr geehrte Damen und Herren!

Der VDLUFA feiert heuer sein 125-jähriges Bestehen mit dem Generalthema „Untersuchen, Bewerten, Beraten, Forschen“.

Seine Wurzeln hat der Verband aber schon in früheren Ereignissen.

Nämlich...

Anregungen zu Zentren von Versuchsanstellungen führten zur Gründung der ersten landwirtschaftlichen Versuchsanstalt in Möckern bei Leipzig im Jahre 1851.

Die Versuche sollten umfassen:

1. Pflanzenernährung, Bodenbearbeitung, Wachstumsstörungen, Schädlingsbekämpfung
2. Zusammensetzung der Futtermittel und deren Verwertung
3. Einführung und Prüfung neuer Pflanzen
4. Maschinenprüfungen
5. Meteorologische Beobachtungen
6. Ermittlung betriebswirtschaftlicher Daten

Das Forschungsprogramm der Versuchsanstalten erfuhr bald eine Erweiterung durch die immer notwendiger gewordenen Kontrollfunktionen für den Handel mit Dünge- und Futtermitteln. Es kam nämlich in der Anfangszeit sowohl durch Unwissenheit als auch durch Betrügereien teilweise zu erheblichen Nachteilen für die Landwirte. Zusätzlich bestanden auch Wünsche bezüglich Untersuchun-

gen seitens der Landwirte für ihre selbst erzeugten Produkte, wie Futter, Saatgut und Nahrungsmittel, aber auch zur Bodenfruchtbarkeit.

Die Arbeit der Versuchsstationen war auf die Bedürfnisse ihrer jeweiligen Region ausgerichtet, es erwies sich jedoch bald als zweckmäßig sich zu koordinieren und zusammenzuarbeiten.

Die Leiter der Stationen trafen sich nun auf den Wanderversammlungen deutscher Agrikulturchemiker, Physiker und Vorstände von Versuchsstationen. Diskutiert wurden Fragen des Versuchswesens und die Harmonisierung der teilweise noch sehr in den Anfängen steckenden analytischen Methoden. Immer deutlicher wurde die Notwendigkeit zur Beschlussfassung einheitlicher Methoden.

1887 regte der Vertreter des deutschen Landwirtschaftsrates, Dr. Müller, die Gründung eines eigenen Verbandes der Versuchsstationen an.

Am 22. Jänner 1888 fand dann im „Hotel zum Elephanten“ in Weimar die konstituierende Versammlung des „Verbandes landwirtschaftlicher Versuchsstationen im Deutschen Reiche“ statt.

Die Geschichte des VDLUFA ist aber auch eng mit der heutigen Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel, Veterinär- und Agrarwesen, der ALVA in Österreich verbunden.

Es wurde bereits 1911/1912 vom Vorläuferverband der ALVA beschlossen, mit dem deutschen Verband eine wechselseitige Anerkennung der Verbandsanstalten als Nachkontroll- und Schiedsstellen herbeizuführen.

In der Folge entwickelte sich eine intensive Zusammenarbeit und ein Austausch von Versuchsergebnissen.

Mitglieder beider Verbände nehmen regelmäßig an Fachgruppentagungen und Kongressen vice versa teil und so hat sich im Laufe der Zeit ein recht freundschaftliches Verhältnis zwischen ALVA und VDLUFA gebildet.

125 Jahre Untersuchen, Bewerten, Beraten und Forschen im Dienste von Landwirtschaft, der Umwelt und im Verbraucherschutz haben den VDLUFA zu einem unentbehrlichen und erfolgreichen Verband werden lassen.

Lieber Herr Wiesler, ich darf dem VDLUFA persönlich und im Namen des gesamten Vorstandes der ALVA zum 125-jährigen Bestehen gratulieren und für die Zukunft weiterhin so erfolgreiches Wirken wünschen.

Die Ernährungssituation der Menschheit – Überlegungen zu einem brisanten Thema¹

F.J. Radermacher

Forschungsinstitut für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung/n
(FAW/n), Ulm

1. Einführung

Die Auseinandersetzung mit Knappheiten im Ernährungsbereich ist für die Menschheit eine nie endende historische Erfahrung ebenso wie die Erkrankungsrisiken bei der Aufnahme von Wasser oder dem Verzehr von Nahrungsmitteln. In einem Prozess, der mit etwa 20 Millionen Menschen etwa 8000 v. Chr., vor der Erfindung von Ackerbau und Viehzucht begann, sind wir heute in eine Welt mit 7 Milliarden Menschen gewechselt. Immer war Knappheit von Nahrung ein dominantes Thema, immer waren Innovationen technischer und organisatorischer Art der Hebel zu einer Veränderung der Situation. Die Fortschritte sind insbesondere in der Endphase dieses Prozesses mit den gigantischen Innovation in den letzten zweihundert Jahren unglaublich und gigantisch. Aus einer Weltbevölkerung von 20 Millionen Menschen wurden dabei bis 1965 3 Milliarden, heute 7 Milliarden, bald 10 Milliarden Menschen.

Über den gesamten Entwicklungsprozess zeigt sich allerdings immer wieder eine „Janusköpfigkeit“ des technischen Fortschritts. Im Sinne eines Bumerang-Effekts verschwinden nämlich die grundsätzlichen Probleme der humanen Gegebenheiten nicht. Immer mehr Erfolge ziehen immer mehr Probleme nach sich. Wir substituieren biologische Faktoren seit 200 Jahren durch fossile Rohstoffe. In diesem Sinne „essen wir Öl“. Und die Probleme mit der Übernutzung des Waldes in Europa in der Zeit vor Hans Carl von Carlowitz wurden letztlich auch nur beherrscht durch den Übergang zu Kohlenutzung.

In einer globalisierten Landwirtschaft produzieren wir heute Nahrungsmittel für 13 Milliarden Menschen. Etwa die Hälfte davon geht an Tiere, ein anderer Teil in

¹ Der Text basiert teilweise auf den Publikationen „Führungsverantwortung im 21. Jahrhundert – die ökosoziale Perspektive. In: Meier, Uto – Sill, Bernhard (Hrsg.): Führung. Macht. Sinn. Ethos und Ethik für Entscheider in Wirtschaft, Gesellschaft und Kirche, S. 160-169, Verlag Friedrich Pustet, Regensburg, 2010“ und „Wie können wir Food, Filet und Fuel versöhnen? Forum Nachhaltig Wirtschaften 03/2013, S. 18-20“.

erneuerbare Energie, während die Ärmsten auf diesem Globus weiter hungern. Relativ gesehen nimmt ihr Anteil ab, aber absolut wächst ihre Zahl. Ist das Fortschritt? Wir haben eine Überflusgesellschaft im Norden. Viele Menschen leiden an Übergewicht und immer wieder sind wir mit Lebensmittelskandalen konfrontiert, was aber der dauernden Zunahme der Lebenserwartung wegen der Fortschritte in der Medizin nicht im Wege steht. Zwischen Produzenten und Verbraucherschützern erleben wir dabei ein Rennen wie zwischen „Hase und Igel“. In den ärmeren Teilen der Welt hält sich wie dargestellt der Hunger hartnäckig, aber auch das steht einem rasanten Wachstum der dortigen Bevölkerung, insbesondere auch in Afrika, nicht entgegen.

Was heißt das in der Summe bezüglich dessen, was wir als Menschen an Zukunftsfähigkeit erreichen können? Und was bedeutet es für unsere Zukunft? Ist eine zukunftsfähige Ernährungssituation für 10 Milliarden Menschen im Jahre 2050 denkbar und welche Rolle werden neue Technologien, neue Energien, bessere Regulierung und wirkungsvoller Verbraucherschutz auf diesem Weg in die Zukunft haben?

2. Zur globalen Situation

Die Welt sieht sich spätestens seit der Weltkonferenz von Rio 1992 vor der Herausforderung, eine nachhaltige Entwicklung bewusst zu gestalten. Das bedeutet insbesondere eine große Designaufgabe bezüglich der Wirtschaft, nämlich die Gestaltung eines nachhaltigkeitskonformen Wachstums bei gleichzeitiger Herbeiführung eines (welt-)sozialen Ausgleichs und den Erhalt der ökologischen Systeme. Tatsächlich ist dies wohl nur möglich, wenn die Wechselwirkung zwischen den Staaten sich in Richtung einer Weltinnenpolitik bewegt, eine Forderung, die auf C.F. von Weizsäcker zurückgeht. In diesem Rahmen können Forderungen eines Weltethos und des interkulturellen Humanismus lebenspraktisch realisiert werden. Ferner wird durch adäquate Regelsetzung auch bewirkt, dass es sich ökonomisch nicht lohnt, gegen vernünftige Regeln und gegen Interessen anderer systematisch zu operieren.

Die Chancen zur Erreichung dieses Ziels vom Charakter einer Balance sind aber alles andere als gut. Wie im Folgenden beschrieben wird, ist das (nur) eine von drei prinzipiellen Zukunftsperspektiven für die Menschheit. Die anderen sind ein Kollaps oder eine Ressourcendiktatur/Brasilianisierung, wahrschein-

lich verbunden mit Terror und Bürgerkrieg. Der vorliegende Text beschreibt die drei Optionen und entwickelt eine Doppelstrategie, wie man am besten mit dieser Situation umgeht. Mit einem Global Marshall Plan wird zugleich ein konkretes Programm vorgestellt, wie Balance – in einer weltweiten Perspektive – vielleicht noch rechtzeitig gesichert werden kann.

2.1 Wo liegen die Probleme?

Viele unserer Probleme resultieren aus dem eingetretenen Verlust des Primats der Politik, weil die politischen Kernstrukturen nach wie vor national oder, in einem gewissen Umfang, kontinental, aber nicht global sind (Trilemma der modernen Welt). Die erfolgenden Entwicklungen beinhalten zwar gewisse Chancen für Entwicklung, laufen aber gleichzeitig wegen fehlender internationaler Standards und durchsetzbarer Regulierungsvereinbarungen und der daraus resultierenden Fehlorientierung des Weltmarktes dem Ziel einer nachhaltigen Entwicklung entgegen. Die Entwicklungen erfolgen teilweise zu Lasten des sozialen Ausgleichs, der Balance zwischen den Kulturen und der globalen ökologischen Stabilität. Wo liegen dabei die ganz großen Herausforderungen?

2.2 Die Umwelt- und Ressourcenfrage

Immer stärker erweisen sich im Kontext der Globalisierung der stetig wachsende Zugriff auf Ressourcen und die Erzeugung immer größerer Umweltbelastungen als zentrale Problembereiche. Ohne Ressourcen kein Reichtum! Und Kollaps bei übermäßigem Zugriff. Wer kann, wer darf auf Ressourcen in welchem Umfang zugreifen? Das kann eine Frage von Krieg und Frieden werden. Das rasche Wachsen der Weltbevölkerung verschärft die Situation signifikant und in sehr kurzen Zeiträumen. Die Menschheit bewegt sich in Richtung auf 10 Milliarden Menschen. Hinzu kommt das Hineinwachsen von Hunderten Millionen weiterer Menschen in ressourcenintensive Lebensstile.

Es könnte deshalb in den nächsten Jahrzehnten trotz massiver Steigerung der Nahrungsmittelproduktion eng werden hinsichtlich der Ernährung der Weltbevölkerung. Dasselbe gilt für die Versorgung mit preiswerter Energie. Hier drohen erhebliche Problemlagen und Konflikte. Im Bereich der CO₂-Emissionen bewegen wir uns wahrscheinlich heute schon auf eine Klimakatastrophe zu. Mit Blick auf den aktuellen Bestseller »Kollaps: Warum Gesellschaften überleben

oder untergehen« von Jared Diamond, der aufzeigt, welche Konstellationen in einer historischen Perspektive zum Zusammenbruch ganzer Gesellschaften geführt haben, deuten sich erhebliche Verwerfungen an. Der Ressourcendruck verschärft sich von mehreren Seiten und die (welt-)politische Situation ist nicht günstig, um mit diesem Thema adäquat umzugehen. Hinzu kommt, dass große Teile der Eliten – weltweit – eine Bewältigung dieser Herausforderungen bisher nicht als ihre zentrale Aufgabe ansehen.

2.3 Der Bumerang-Effekt

Die Frage der Limitation des Verbrauchs nicht erneuerbarer Ressourcen und der Begrenzung der Umweltbelastungen in einer globalen Perspektive tritt vor dem beschriebenen Hintergrund in das Zentrum aller Versuche zur Erreichung zukunftsfähiger Lösungen, denn der technische Fortschritt alleine, so sehr er die Umweltbelastungen pro produzierter Einheit zu senken vermag (Dematerialisierung, Erhöhung der Ökoeffizienz), führt aufgrund des so genannten Bumerangeffekts in der Summe zu eher mehr als zu geringeren Gesamtbelastungen der ökologischen Systeme. Mit jeder Frage nach Begrenzung, etwa der CO₂-Emissionen, stellt sich aber sofort die weltweite und bis heute unbeantwortete Verteilungsproblematik in voller Schärfe.

2.4 Welche Zukünfte sind möglich?

Richtet man den Blick auf das weltweite Geschehen und berücksichtigt die nächsten 50 Jahre, so resultieren aus der beschriebenen Gesamtkonstellation, d. h. den Risiken bezüglich Umwelt und Ressourcen einerseits und den Risiken bezüglich sozialer und kultureller Balance andererseits, drei mögliche Zukünfte im Sinne von Attraktoren, die im weiteren kurz diskutiert werden und von denen zwei extrem bedrohlich und nicht mit Nachhaltigkeit vereinbar sind. Die drei Fälle ergeben sich aus der Frage, ob die beiden großen weltethischen Postulate: (1) Schutz der Umwelt und Begrenzung des Ressourcenverbrauchs und (2) Beachtung der Würde aller Menschen (eingeschränktes weltweites Demokratieprinzip) erreicht werden. Gelingt (1) nicht, machen wir also weiter wie bisher, kommt der Kollaps. Gelingt (1), ist die Frage „wie?“. Durch Machteinsatz zu Gunsten weniger, zu Lasten vieler – dann finden wir uns in einer Ressourcendiktatur und dazu korrespondierend in der Brasilianisierung wieder. Nur im Fall von Konsens erreicht die Welt potenziell einen Zustand mit großer Perspektive, nämlich eine weltweite Ökosoziale Marktwirtschaft als Ordnungsrahmen der Weltökonomie

(ökosozial statt marktradikal). Für diesen Ordnungsrahmen gilt in einer weltweiten Perspektive die Gleichung:

Marktwirtschaft + nachhaltige Entwicklung = Ökosoziale Marktwirtschaft

3. Wie können wir Food, Filet und Fuel versöhnen?

Dank unglaublicher Fortschritte in Technik und globaler Koordinierung müsste es heute auf der Welt keinen Hunger mehr geben. Die Nahrungsmittelproduktion würde ausreichen, um 13 Milliarden Menschen (vegetarisch) zu ernähren. Trotzdem regiert Hunger in armen Ländern. Zur Überwindung des Hungers wäre es erforderlich, eine ausreichende Kaufkraft für alle Menschen zu sichern. Dass die Überwindung des Hungers möglich ist, wissen wir aus Mitteleuropa. Beck beschreibt in „Unterfinning“, wie prekär die Ernährungssituation in Mitteleuropa noch im 17. Jahrhundert war. Wiesler, Breitschuh, Südekum und Ebertseder beschreiben dasselbe in ihrem Text und weisen auf die 1840er Jahre als „hungriges Jahrzehnt“ hin. Wissenschaft und Forschung, und in Deutschland die ab 1852 eingerichtete landwirtschaftlicher Versuchsstationen, die im Übrigen 1888 zur Gründung der VDLUFA führten, haben wesentlich dazu beigetragen, diese prekäre Lage endlich zu überwinden.

3.1 Mangel im Überfluss

Nahrungsmittelsicherheit für alle Menschen, bei Beachtung der ethischen Anforderungen an die Nahrungsmittelproduktion in unterschiedlichen Kulturkreisen, ist aus moralischer Sicht ein Muss. Den Menschen ist dabei die Sicherheit der Nahrung ein wichtiges Anliegen. Regelmäßige Lebensmittelkandale, etwa die BSE-Krise in Mitteleuropa, verunsichern die Menschen und haben die Bedeutung des Verbraucherschutzes ständig erhöht. Das Thema hat einen großen politischen und praktischen Stellenwert. Dies gilt in allen Ländern, sobald der Wohlstand zunimmt, und deutet sich mittlerweile auch in China an.

Hunger hängt mit der Menge und Art der Lebensmittelproduktion zusammen und gründet in der Regel darin, dass nicht alle Menschen über ausreichend Kaufkraft verfügen, um sich mit Nahrung versorgen zu können. Vom Volumen her reicht die heutige Nahrungsmittelproduktion, wie bereits erwähnt, aus, um 13 Milliarden Menschen mit einer vegetarischen Diät zu ernähren, so dass niemand Hun-

ger leiden müsste. Tatsächlich werden aber viele Menschen nicht satt, weil etwa die Hälfte der erzeugten Nahrung in die Fütterung von Tieren oder in die Produktion von Biokraftstoffen fließt. Der reiche Teil der Weltbevölkerung fordert für sich die Verfügbarkeit von Fleischproduktion und Bioenergie ein – zu Lasten der Ärmsten. Zugegebenermaßen hat der reiche Teil der Welt extrem leistungsfähige landwirtschaftliche Produktionssysteme, z. B. große Traktoren und Erntemaschinen, potente Saatsorten, Kunstdünger und Kühlketten geschaffen, ohne die es den heutigen Umfang an verfügbaren Nahrungsmitteln gar nicht geben würde. Auch finanziert er dieses hohe Niveau der Produktion. Unter heutigen Weltmarktbedingungen ist gegen diese Status quo-Bedingungen nur schwer anzukommen. Deshalb erweist es sich als hartnäckig schwierig, den Hunger in der Welt zu überwinden.

3.2 Kaufkraft für alle schaffen

Die meisten Menschen, die heute hungern, sind Familien in der Subsistenzlandwirtschaft. Was sie ihren meist viel zu kleinen Flächen abringen können, ist zum Leben zu wenig und zum Sterben zu viel. Unter aktuellen Globalisierungsbedingungen drohen sie, selbst diese Basis zu verlieren. Über ausreichend Kaufkraft verfügen sie ohnehin nicht. Da geht es ihnen nicht anders als den übrigen Ärmsten, die keine Subsistenzlandwirte sind und trotzdem hungern.

Um Hunger und Not auf der Welt zu überwinden, ist die Sicherstellung einer ausreichenden Kaufkraft für alle Menschen, ggf. in Ergänzung zur eigenen Nahrungsmittelproduktion in der Subsistenzlandwirtschaft, eine Schlüsselfrage. Letzteres betrifft heute hunderte Millionen Menschen. Wer den Agrarsektor produktiver machen und damit die Zahl der Subsistenzbauern deutlich verringern will, müsste zugleich die Frage beantworten, wo man alternative Arbeitsplätze schaffen oder auf anderem Weg ausreichend Kaufkraft für die Betroffenen, von Hunger bedrohten Teile der Weltbevölkerung zur Verfügung stellen will. Wissens- und Technologietransfer sind dabei wichtige Instrumente, aber wer soll sie bezahlen und wie entstehen so neue Arbeitsplätze, gerade auch für die Menschen in armen Ländern? Hunderte von Millionen Menschen brauchen heute Jobs. Selbst in einem hochentwickelten Land wie Deutschland entwickelt sich zunehmend ein Niedriglohnssektor.

Die soziale Seite der Veränderungen im Kontext der Globalisierung ist insofern zentral. Es geht um Eigentumsrechte der Ärmsten und Schutz der Subsistenz-

landwirtschaft gegen „Land-Grabbing“, insoweit dieses keine Kompensation der Betroffenen auf der Kaufkraftseite schafft. Damit gemeint ist der Aufkauf riesiger Landflächen durch ausländische Firmen oder Staaten zu Lasten der Menschen, die dort auf kleinen Parzellen Landwirtschaft betreiben.

Das Vollbeschäftigungsgesetz Indiens auf dem Land macht den indischen Staat zum größten Arbeitgeber der Welt. Es zeigt, wie man Kaufkraft für alle über Arbeit sichert, auch wenn das indische System nach wie vor viele Lücken und Mängel hat. Bei den neuen Arbeitsplätzen des Vollbeschäftigungsgesetzes geht es etwa um Wegebau oder auch um Aufforstung. Die Kaufkraft ist in derartigen Programmen so zu dimensionieren, dass die finanziellen Mittel ausreichen, um sich über den Markt mit ausreichend Nahrung versorgen zu können, sofern man nicht ohnehin selbst Nahrungsproduzent ist. Dann ist sichergestellt, dass niemand verhungert.

3.3 Fleischkonsum muss teurer werden

Um eine nachhaltige Entwicklung zu erreichen, sollten biologische Ressourcen erst dann für den Fleischkonsum und die Bioenergie genutzt werden, wenn niemand mehr hungert. Dies ist durch Finanzierungsmechanismen (wie Sozialhilfe für alle) sicherzustellen. Dies ist eine Aufgabe der Staaten (siehe Vollbeschäftigungsgesetz in Indien), aber im Rahmen erforderlicher Querfinanzierungsmaßnahmen auch eine Aufgabe der reichen Welt. Es ist zu erwarten, dass der weltweite Fleischkonsum ansteigen wird, weil die Globalisierung die Mittelklasse vergrößert. Dabei wird der Durchschnittskonsum an Fleisch in der Mittelklasse pro Kopf sinken und das Gesamtvolumen wird nicht mehr stark zunehmen. Denn die Ressourcen der Welt reichen nicht, um so viele Menschen auf dem heutigen Niveau der Industrieländer mit Fleisch zu versorgen. Wird Fleisch knapp, steigen die Preise, was dringend nötig ist. In der Folge wird der pro Kopf Fleischkonsum in den reichen Ländern zurückgehen. Eine interessante alternative Option könnte eine synthetische Form von Fleisch darstellen. Dies würde auch viele Tier-ethische Dilemmata lösen. Hieran wird intensiv geforscht. Es ist aber heute nicht absehbar, welches Potential in einem solchen Weg angelegt ist.

3.4 Rinder müssen keine Klimakiller sein

Mit Blick auf Zukunftsfähigkeit und die Lösung der Klimafrage sollten sich Rinder wieder stärker von Gras ernähren und weiden. Das schließt die Nutzung

von Kraftfutter nicht aus, sofern es sich dabei um Nebenerzeugnisse aus der Lebensmittelerzeugung handelt. Wählt man diesen Weg, so ist die Ernährung von Menschen über Rindfleisch und Milch eine wertvolle additive Nahrungskomponente zu pflanzlicher Ernährung. Rinder, die auf Weiden grasen, sorgen für mehr Humus und somit für massiven CO₂-Entzug aus der Atmosphäre. Passiert das Weiden im richtigen Rhythmus, ist eine ständige Steigerung der Humusbildung im Boden möglich. Dieser Effekt kann von der Klimabilanz her betrachtet die Methanproduktion der Rinder sogar überkompensieren. Rinder sind dann „keine Klimakiller“ mehr, sie wirken klimaneutral oder sogar klimapositiv.

3.5 Ein Weltaufforstungsprogramm soll CO₂ binden

Wie sollte es mit der Bioenergie weiter gehen? Wenn Nachhaltigkeit das Ziel ist, ist der heutige Weg der Bioenergieproduktion über Naturprodukte in Konkurrenz zu (vegetarischer) Nahrung und Fleischkonsum nicht akzeptabel. Zum Glück gibt es eine leistungsfähige Alternative zur Produktion von Bioenergie aus Pflanzen. Zurzeit diskutiert man auf UN-Ebene ein weltweites Aufforstungsprogramm auf 500 bis 1000 Millionen Hektar bis 2050. Untersuchungen des World Resources Institute zeigen, dass entsprechende Flächen vorhanden sind. Anders ist das Zwei-Grad Ziel im Klimabereich wohl kaum noch zu halten. Die durch das Weltaufforstungsprogramm gebundene zusätzliche Biomasse ergibt ein Volumen an erneuerbarer Energie, die alle absehbaren Wünsche im Biobereich abdecken kann. Die Aufforstung von Wäldern in dieser Größenordnung entzieht der Atmosphäre CO₂ und zwar im Umfang von 150 und 200 Milliarden Tonnen bis 2050. Über das Aufforsten von Wäldern in ökonomisch schwachen Ländern würde CO₂ biologisch produktiv. Dies würde insbesondere in sich entwickelnden Ländern den wirtschaftlichen Wohlstand und Partnerschaften für Klimaschutz fördern.

4. Zusammenfassung

Es gibt eine Chance für eine zufriedenstellende Ernährungssituation für zukünftig 10 Milliarden Menschen in Verbindung mit einer nachhaltigen Entwicklung. Hierzu ist das Dreieck „Food, Filet, Fuel“ in eine nachhaltige Struktur umzuwandeln. Dafür müssen wir die erforderliche Kaufkraft für alle sichern, Rinder wieder stärker in die Weidewirtschaft zurückführen und ein Welt-

aufforstungs- und Landschaftsrestaurierungsprogramm auf 500 bis 1000 Millionen Hektar entfalten. Hinzu kommen müssen dramatische Fortschritte im Bereich der klima- und umweltfreundlichen (preiswerten) Energieerzeugung – das zentrale Ressourcenthema. Das ist auch ein Thema der Lenkung von Innovations- und Investitionspotenzialen. Dafür bedarf es unter anderem der Bereitschaft der Regierungen der Staaten zu einer besseren Global Governance, etwa in Form einer weltweiten Ökosozialen Marktwirtschaft und eines Global Marshall Plans. Eine bessere Global Governance war auch das wichtigste Thema des Rio+20-Gipfels 2012 und ist der absehbar zentrale Engpass für eine bessere Zukunft.

5. Literaturangaben

- Beck, R., 2004: Unterfinning. Ländliche Welt vor Anbruch der Moderne. C.H. Beck.
- Gore, A., 2013: The Future – Six Drivers of Global Change. Random House.
- Griffiths, B., Tan, K., 2012: Unternehmen Armutsbekämpfung: Die Bedeutung von Social Venture Capital. Edition Wortschatz.
- Hölscher, L., Radermacher, F.J. (Hrsg.), 2012: Klimaneutralität – Hessen geht voran. Springer Vieweg / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Ibel, A., 2011: Die Kuh ist kein Klimakiller!, Metropolis Verlag.
- Küng, H., 2010: Anständig wirtschaften – Warum Ökonomie Moral braucht. Piper.
- Mersch, P., 2012: Systemische Evolutionstheorie. Eine systemtheoretische Verallgemeinerung der Darwinschen Evolutionstheorie. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Radermacher, F.J., 2013: Die Ressourcen der Erde setzen uns Grenzen – vom sächsischen Bergmann Hans Carl von Carlowitz 1713 bis zum neuen Report an den Club of Rome 2052. In: Die Erfindung der Nachhaltigkeit – Leben, Werk und Wirkung des Hans Carl von Carlowitz. Sächsische Hans-Carl-von-Carlowitz-Gesellschaft e. V (Hrsg.), 141-155, oekom Verlag.
- Radermacher, F.J., 2013: Wie können wir Food, Filet und Fuel versöhnen? Forum Nachhaltig Wirtschaften 03/2013, 18-20.
- Radermacher, F.J., 2013: Klimapolitik nach Doha – Hindernisse in Lösungen verwandeln. *GAIA* 22/2, 87-92.

- Radermacher, F.J., Beyers, B., 2007: Welt mit Zukunft – Überleben im 21. Jahrhundert. Murmann Verlag, Hamburg 2007, Neuauflage 2011.
- Randers, J., Bus, A., Held, U., Leipprand, A., 2012: 2052. Der neue Bericht an den Club of Rome: Eine globale Prognose für die nächsten 40 Jahre. oekom Verlag.
- Soros, G., 2010: Der Blick geht nach vorn. FinanzBuch Verlag, München.
- Stiglitz, J., 2012: Der Preis der Ungleichheit: Wie die Spaltung der Gesellschaft unsere Zukunft bedroht. Siedler Verlag.
- von Weizsäcker, E.U., 2012: Faktor Fünf: Die Formel für nachhaltiges Wachstum. Knaur Verlag.
- Wiesler, F., Breitschuh, G., Südekum, K.-H., Ebertseder, T.: 2013: Untersuchen, Bewerten, Beraten, Forschen: 125 Jahre VDLUFA im Dienste von Landwirtschaft, Umwelt- und Verbraucherschutz. VDLUFA-Mitteilungen 01/2013.
- Wijkman, A., Rockström, J., 2013: Bankrupting Nature: Denying Our Planetary Boundaries. Routledge.
- Winter, H., Rommel, T., 1999: Adam Smith für Anfänger. Der Wohlstand der Nationen. dtv, (4. Auflage 2010).
- World Resources Institute, 2010: Global Map of Forest Landscape Restoration Opportunities. Online at: <http://www.wri.org/map/global-map-forest-landscape-restoration-opportunities>. Washington DC. www.wri.org/.
- Yunus, M., 2008: Die Armut besiegen. Das Programm des Friedensnobelpreisträgers. Hanser.

Weitere Informationen unter:

www.faw-neu-ulm.de, www.globalmarshallplan.org, www.nachdenkseiten.de

Unter den beiden erstgenannten Adressen können regelmäßige Informationen über das FAW/n sowie der Newsletter der Global Marshall Plan Initiative kostenfrei abonniert werden.

Untersuchen, Bewerten, Beraten, Forschen: 125 Jahre VDLUFA im Dienste von Landwirtschaft, Umwelt- und Verbraucherschutz – aus Sicht des VDLUFA

H. Schenkel

Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie, Stuttgart

Einführung in die Historie

Blickt man zurück in die Gründungsphase der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalten, wozu im Rahmen dieses Kongresses Anlass besteht, so sind es mehrere Gegebenheiten die zur Gründung geführt haben. Eine Ursache wird in der marginalen Lebensmittelversorgung eines Großteils der Bevölkerung gesehen. Mögen es die schlechten Ernten in der zu Ende gehenden kleinen Eiszeit, die zunehmende Bevölkerung am Beginn der Industrialisierung oder die überkommene Art der Flächenbewirtschaftung sein. So gibt es Berichte, dass die mittlere Energieaufnahme der Bevölkerung Preußens im Jahre 1831 auf einem Niveau lag, wie sie den heutigen Entwicklungs- und Schwellenländern (z. B. Honduras, Sudan oder Indien) entspricht (Bass, 1991 ; Huff, 2010).

Eine andere wichtige Entwicklung in diesem Zeitraum war die Entwicklung der Agrikulturchemie, die unter anderem mit den Arbeiten von Sprengel, von Liebig, von Wolff und anderen verbunden sind. Dies wurde von Landwirtschaftlichen Vereinen und ähnlichen Organisationen aufgegriffen und führte zur Gründung landwirtschaftlicher Versuchsstationen in den einzelnen Ländern (Hasselhoff, 1951; VDLUFA, 2013a).

Ziel dieser Versuchsstationen war es zunächst, die naturwissenschaftlichen Grundlagen zu erforschen, die der landwirtschaftlichen Produktion zugrunde liegen und diese Erkenntnisse in der landwirtschaftliche Produktion umzusetzen. Dies kommt beispielsweise im Statut der landwirtschaftlichen Versuchsstation Leipzig Möckern, die am Anfang dieser Gründungswelle stand, zum Ausdruck. Dort heißt es unter anderem:

Wird eine Anstalt begründet, welche es sich zur Aufgabe stellt, durch naturwissenschaftliche Untersuchungen in engster Verbindung mit praktischen Versuchen verschiedener Art zur Erweiterung der Kennt-

nis des Betriebes der Landwirtschaft und der mit solcher in Verbindung stehenden Gewerbe beizutragen und das auf diese Weise als nützlich erkannte zu verbreiten (Kühn, 1877).

Man war sich in der Runde der verantwortlichen Leiter der Versuchsanstalten rasch einig, dass es außerordentlich wichtig war, zunächst ein einheitliches Methodenkompendium zu schaffen, um vergleichbare Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen zu erhalten. Die Intensität mit der man diese Aufgabe anging, kommt deutlich im Vorwort zum Ausdruck, das Emil Wolff, der Gründungsdirektor von Möckern, in seiner *Anleitung zur chemischen Untersuchung landwirtschaftlich-wichtiger Stoffe* vorausstellte (Wolff, 1867):

Ein frischer wissenschaftlicher Geist durchdringt gegenwärtig das landwirtschaftliche Versuchswesen nach allen Richtungen hin; die landwirtschaftlich-chemischen Versuchsstationen sind in neuerer Zeit in immer grösserer Anzahl entstanden und haben bereits eine Menge der gediegensten Arbeiten geliefert. Die Analyse von Bodenarten, Futtermitteln und Düngestoffen lässt sich jetzt nach hinreichend zuverlässigen Methoden ausführen, überall wird mit Erfolg die äußerste Schärfe der Bestimmungen angestrebt und hierbei keinerlei Aufwand und Mühe gescheut... Dies darf uns jedoch nicht davon abhalten die Analysen immer weiter auszudehnen und noch vollständiger durchzuführen, sowie unter Beihülfe von Vegetations- und Fütterungsversuchen die Methoden immer sicherer zu begründen.“

Hier kommt klar zum Ausdruck, dass nicht nur die analytische Qualität sondern auch die Verbindung mit den experimentellen Studien im Fokus stand. Im Rahmen der Diskussion, ob man neben den Untersuchungen im Rahmen der landwirtschaftlichen Forschung auch Kontrolluntersuchungen an landwirtschaftlichen Produktionsmitteln oder gar für private Auftraggeber durchführen wollte, kam es aus der regelmäßigen Wanderversammlung der Sektion für landwirtschaftliches Versuchswesen der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte 1888 zur Gründung des Verbandes landwirtschaftlicher Versuchsstationen (NN, 1887, 1888).

Untersuchen

Die Bedeutung der Entwicklung und Anwendung einheitlicher Untersuchungsmethoden auch im Rahmen von Kontrolluntersuchungen kommt in Statuten des neugegründeten Verbandes deutlich zum Ausdruck:

§ 2 der Statuten des Verbandes landwirtschaftlicher Versuchs-Stationen im Deutschen Reich

Zweck des Verbandes ist die gemeinsame Förderung der Angelegenheiten und Aufgaben der Versuchs-Stationen auf wissenschaftlichen und praktischem Gebiete, insbesondere auch die Vereinbarung eines thunlichst einheitlichen Vorgehens in der Untersuchung, beziehungsweise der Kontrolle der Düngemittel, Futtermittel, Saatwaren und sonstigen landwirtschaftlich wichtigen Gegenstände (NN, 1888b).

Diese Ziele gelten auch heute noch für den VDLUFA, wie eine Blick in die gültige Satzung zeigt (VDLUFA, 2010). Dort heißt es im § 2 (1 b und c):

Aufgaben und Zweck des VDLUFA: Entwicklung und einheitliche Anwendung geeigneter und standardisierter Untersuchungsmethoden. Erbringung eines Beitrages zur Qualitätssicherung im Untersuchungswesen.

Dies wird auch im Leitbild und Leistungskatalog des VDLUFA wieder aufgegriffen (VDLUFA, 2013b). Bereits im Jahre 2001 haben die analytisch tätigen Fachgruppen hierzu auch ein Standpunktpapier verfasst (VDLUFA, 2001).

Heute deckt der VDLUFA ein weites Methodenfeld ab, was durch die Methodenbücher und die umfangreichen Maßnahmen zur Qualitätssicherung dokumentiert wird (s. Homepage des VDLUFA – Methodenbücher). Die reicht von Schnell- oder Übersichtsverfahren (Screeningverfahren) über semiquantitativen Methoden zu hochkomplexen quantitativen Verfahren, die häufig zu Multimethoden ausgebaut sind und sich aus mehreren Modulen zusammensetzen und häufig auf massenspektroskopischen Nachweisverfahren aufbauen.

Eine große Bedeutung kam bereits in den Anfängen des Verbandes sogenannten Konventionsmethoden zu, bei denen die genaue Einhaltung der Abläufe besonders zu beachten sind, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten (Abb. 1). Wie das Beispiel der Weender Analyse im Futtermittelbereich zeigt, haben sich viele dieser Verfahren bis heute als Standardverfahren erhalten.

Abb. 1: Zur Entwicklung von Konventionsmethoden

**Ackererde und Bodenarten
Chemische Analyse**

Über die für die wissenschaftliche Beurteilung des Bodens so wichtigen Löslichkeitsverhältnisse der Pflanzennährstoffe im Boden kann man hauptsächlich nur auf die Weise sich Aufklärung verschaffen, dass man denselben successive der Einwirkung mehr oder weniger kräftiger Lösungsmittel unterwirft und diese Behandlung stets **nach ganz bestimmten feststehenden Regeln** vornimmt.

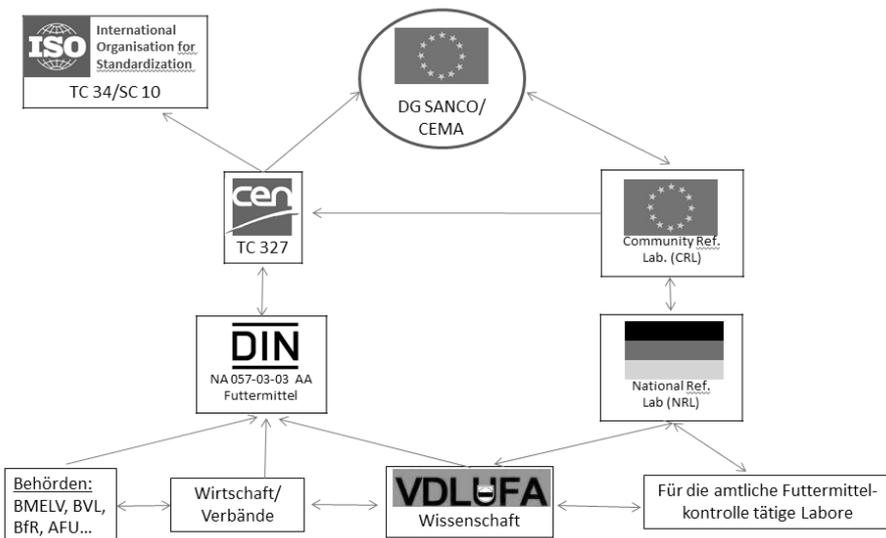
Grün- und Rauhfutter

Das in Weende übliche Verfahren muss in Zukunft bei allen ausführlichen Analysen ähnlicher Futtermittel **genau befolgt werden**, was umso wünschenswerther ist, als nur in diesem Falle die Resultate der von verschiedenen Chemikern ausgeführten Untersuchungen unter sich **vollkommen vergleichbar** sind.

Emil Wolff: Anleitung zur Chemischen Untersuchung landwirtschaftlich-wichtiger Stoff, Stuttgart, 1867

Heute ist das Untersuchungswesen und insbesondere die Methodenentwicklung stark in die internationale Normierung eingebunden, wie die Abbildung 2 zeigt.

Abb. 2: Internationale Einbindung der Methodenentwicklung (Brand, 2011)



Nach wie vor zählt die Methodenentwicklung und die zugehörige analytische Qualitätssicherung zu den Kernkompetenzen des Verbandes. Im Hinblick auf Kontrollfunktionen (Futtermittelkontrolle, Düngemittelverkehrskontrolle), zeigt sich eine sehr starke Betonung der Normierung von Methoden. Dies zeigen klar die Mandate der EU Kommission an das CEN. Hier stellt sich die Frage eines Paradigmenwechsels in dem Sinne, dass keine Freiräume bleiben für analytische Fragestellungen die sich aus der wissenschaftlichen Forschung oder der landwirtschaftlichen Beratung heraus ergeben.

Es ist hier an die Anfänge des Verbandes zu erinnern, als die Fragen nach den naturwissenschaftlichen Grundlagen der Landwirtschaftlichen Produktion Anlass für die Methodenentwicklung war. So stellt sich die Frage, ob zukünftig nicht auch Fragen zur Bodenfruchtbarkeit, der Futterbewertung, des Stoffverhaltens in der Nahrungskette mit in den Kontext der Methodenentwicklung eingebunden werden können.

Bewerten und Beraten

Geht man zurück zum Generalthema des Kongresses so stellt sich die Frage: Für was steht der VDLUFA, wie und wo tritt er in Erscheinung ?

Haben wir uns im vorausgegangenen Abschnitt im Wesentlichen mit der Bedeutung der Analytik, der Methodenentwicklung und der Qualitätskontrolle befasst, so stellt sich die Frage des Wofür. Auch unsere Gründerväter hat diese Frage bewegt.

F. Nobbe formulierte es bei der X. Hauptversammlung des Verbandes landwirtschaftlicher Versuchstationen 1897 (Nobbe, 1897) wie folgt:

Hat sonach auch das verflossene Geschäftsjahr wiederum eine wesentliche Förderung der analytischen Methoden herbeigeführt, so dürften wir die Zeit als nahe bevorstehend betrachten, wo diese technischen Arbeiten des Verbandes als in der Hauptsache abgeschlossen zu betrachten sind, und wir den zweiten Teil des Verbandsprogramms, das bei dessen Gründung als Ideal vorschwebte, nämlich der wissenschaftlichen Erforschung der Grundlagen des Landwirtschaftsbetriebes zur Steigerung der Rentabilität, uns ausgebreiteter werden widmen zu dürfen...

E-Wolff (1867) weist im Vorwort seines Analytischen Methodenbuches ebenfalls darauf hin, die enge Verknüpfung zwischen der Analytik und den experimentellen Untersuchungen herzustellen. Er schreibt:

Dies darf uns jedoch nicht abhalten, auf dem jetzt betretenen Wege vorzugehen, die Analysen immer breiter auszudehnen und noch vollständiger durchzuführen, sowie unter Behülfe von Vegetationsversuchen die Methoden immer sicherer zu begründen.

Heute besteht die Gefahr, dass diese Einheit auseinander bricht: Hier die Untersuchungsanstalten, die nur in wenigen Fällen eigene experimentelle Untersuchungen durchführen können sondern sich zu analytischen Dienstleistern entwickeln und dort die Forschung, meist in der Landesforschung und den Fachhochschulen und die grundlagenorientierte universitäre Forschung. Es ist deshalb außerordentlich wichtig diese Mitglieder verstärkt in die Diskussion einzubinden.

Eine sehr wesentliche Einrichtung waren und sind die Standpunktpapiere des Verbandes. Diese sollten dringend wieder stärker als Sprachrohr des Verbandes genutzt werden, zumal kurzfristig eine Wiederbelebung eines wissenschaftlichen Publikationsorgans nicht möglich erscheint und die Verbandmitteilungen eher der internen Information dienen.

Hier sind in naher Zukunft aus den Fachgruppen I und II zum Beispiel einige Überlegungen angedacht bzw. in der konkreten Entwicklung:

- Humusbilanzierung,
- Nachhaltige Nährstoffhaushalte,
- Georeferenzierte Bodenprobenahme auf landwirtschaftlichen Flächen für eine teilflächenspezifische Düngung mit Grundnährstoffen,
- Anforderungen an Bodenuntersuchungsmethoden zur Düngebedarfsermittlung.

Eine weitere Anregung, um entsprechende Netzwerke zu pflegen, ist die Idee, in Ergänzung zu den spezifischen Arbeits- und Projektgruppen in den Fachgruppen Foren oder runde Tische einzuberufen, um den Wissenstand zu konkreten Problembereichen zusammenzutragen und zu hinterfragen, in wieweit sich konkrete Ansätze für die Fachgruppenarbeit oder die Zusammenarbeit mit anderen Gruppen ergibt

Beispielwären:

- die Biomasseproduktion und -verwertung
- die Futtermittelbewertung (inkl. der Analytik und Bewertung sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe)
- Prozesskontrolle landwirtschaftlicher Produktion

Auch andere Aktionskreise wie die DAFA haben Mitglieder des VDLUFA in Ihre Fachforen mit einbezogen.

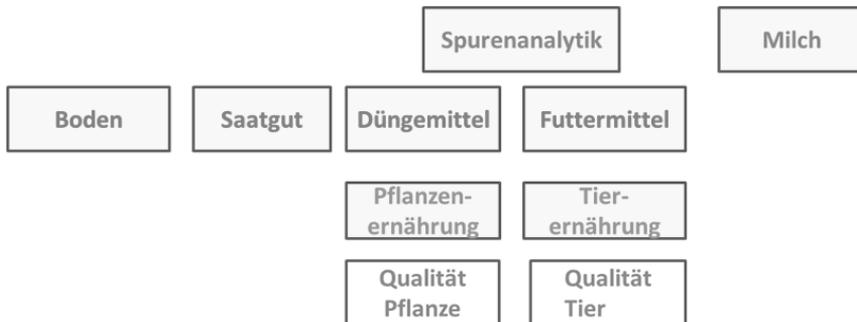
Forschung

Wie bereits ausgeführt, sind die Untersuchungsanstalten heute weitgehend nicht mehr in der Lage eigene experimentelle Forschung zu betreiben, sondern hier darauf angewiesen intensiv mit den Fachinstituten, die u. a. in den Fachgruppen Pflanzenernährung und Tierernährung agieren, zusammenzuarbeiten um zum Beispiel eine abgestimmte Methodenentwicklung zu betreiben. Dies sollte aber nur die Grundlage bilden, um sich intensiv mit grundlegenden Fragen der Agrarwissenschaften auseinanderzusetzen. Beispielhaft sei hier aus der Denkschrift der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG 2005) zitiert:

Neue Herausforderungen für die Agrarwissenschaft vor dem Hintergrund gesellschaftlichen und technischen Wandels sind: Ernährungssicherung, Nahrungsmittelsicherheit, veränderte Anforderungen der Gesellschaft an die Qualität der Nahrungsmittel wie an die Bewirtschaftung der Agrarlandschaften. Die Agrarwissenschaft muss sich verstärkt neuen Forschungsfeldern zuwenden, weil sich sowohl ihre Inhalte als auch ihre methodischen Entwicklungen... in den letzten Jahren verändert haben. Dazu gehören die Bereiche Umweltwirkungen, Nachhaltigkeit, Qualitätssicherung, Agrarlandschaftsforschung und globale Nahrungssicherung.

In der nachfolgenden Abbildung zeigt die Strukturierung der Fachgruppen, dass der Verband sehr gute Voraussetzung mit sich bringt, sich dieser Herausforderung zu stellen.

Abb. 3: Strukturierung der Fachgruppen des VDLUFA



Die Forschung bedient sich häufiger analytischer Methoden bzw. ist an Analyten interessiert, die nicht oder nur bedingt im Fokus der Untersuchungsanstalten liegen. Die Methoden sind zum Teil nur bedingt in internationalen Zeitschriften zitierfähig. Hier sollte in den Fachgruppen und der Arbeitsgruppe Methodenbuch nachgedacht werden, ob hier Brückenbildungen möglich sind. Zu bedenken ist auch, dass an den Forschungsstätten Themen bearbeitet werden, die keine unmittelbare Beziehung zu Untersuchungstätigkeiten im VDLUFA haben wie z. B. Naturstoffchemie, Ökotoxikologie, Biometrie, Risikobewertung, Ökonomie etc. Auf der anderen Seite verfügen die Untersuchungsanstalten über „Matrixkenntnis“ sowie intensive Kontakte zur Landwirtschaft, Agrar- und Ernährungswirtschaft. Trotz allem verfügen die Untersuchungsanstalten über ein umfassendes analytisches Potential und einen sachübergreifenden Wissenspool (Analytik, rechtliche Grundlagen, Querschnittswissen). Es besteht also genügend Potential zur Lösung zukünftiger Forschungsfragen näher zusammenzurücken.

Schlussbemerkung:

Fasst man die vorausgegangenen Gedanken zusammen, lassen sie sich auf wenige Grundgedanken verdichten:

- Der VDLUFA darf sich nicht nur auf analytische Dienstleistung beschränken.
- Die Bewertung der Befunde und die zum Teil darauf aufbauende Beratung in Zusammenarbeit mit entsprechenden Einrichtungen sind unverzichtbarer Bestandteil der VDLUFA-Arbeit. Dies ist in der Regel nur im Verbund mit den

Mitgliedern und anderen Einrichtungen zu leisten. Hier sind Netzwerke zu pflegen oder neu zu etablieren

Dort wo es möglich ist, muss sich der VDLUFA in die angewandte Forschung einbringen. Er muß seine Interdisziplinarität wesentlich stärker nutzen.

Wenn wir zurück und in die Zukunft des Verbandes blicken, können am Schluss zwei Zitate stehen:

Nur wer die Vergangenheit kennt, hat eine Zukunft (Wilhelm von Humboldt).

Die Geschichte soll nicht das Gedächtnis beschweren, sondern den Verstand erleuchten (Gotthald Ephraim Lessing).

Literaturangaben:

- Bass, H.H., 1991: Hungerkrisen in Preussen während der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Scripta-Mercaturae Verl.
- Brand, B., 2011: Futtermittelkontrolle. In: Bernsmann, T., Brand, B., Schulz-Schroeder, G., Töpfer, A. Sichere Futtermittel – Sichere Lebensmittel. Behrs Verlag, Hamburg, pp. 275–408.
- Deutsch Forschungsgemeinschaft, 2005: Perspektiven der agrarwissenschaftlichen Forschung – Denkschrift, Wiley VCH Verlag, Weinheim.
- Hasselhoff, E., 1951: Aus der Entwicklung des Verbandes deutscher landwirtschaftlicher Versuchsstationen (Neudruck aus Die Landwirtschaftlichen Versuchsstationen, 1933), VDLUFA, Darmstadt.
- Huff, T., 2010: „Jahr ohne Sommer“ – Die Klimaanomalie von 1816 und ihre Folgen für Rheinhausen. Zeitschr. Agrargesch. Agrarsoz. 58, 51 - 69.
- Kühn, G., 1877: Geschichtliches über die landwirtschaftliche Versuchsstation Möckern. Festschrift zur Feier des 25 jährigen Jubiläums der Versuchsstation Möckern, Landw. Versuchsstationen 22, 1-144.
- NN, 1987: Begründung eines „Verbandes der landwirtschaftlichen Versuchsstationen im Deutschen Reiche“. Landw. Versuchsstationen 34, 469.
- NN 1888a: Konstituierende Versammlung behufs Gründung eines Verbandes landwirtschaftlicher Versuchsstationen im deutschen Reich zu Weimar am 22. Januar 1888. Landw. Versuchsstationen 35, 55–64.

- NN, 1888b: Statuten des vorstehenden Verbandes. Landw. Versuchsstationen 35, 65-69.
- Nobbe, F., 1898: Bericht und Rechnungsablage des Vorstandes über das Geschäftsjahr 1896/97. Landw. Versuchsstationen, 50, 166-169.
- VDLUFA, 2001: Standpunkt: Untersuchungsmethoden im VDLUFA, Zielsetzung – Klassifikation – Werdegang.
- VDLUFA, 2010: Satzung.
- VDLUFA, 2013a: 125 Jahre Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V., VDLUFA Schriftenreihe 69, VDLUFA Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA, 2013b: Leitbild (www.vdlufa.de, abgerufen 10.8.2013).
- Wolff, E., 1867: Anleitung zur chemischen Untersuchung landwirtschaftlich wichtiger Stoffe, Verlag G. Weise, Stuttgart.

Untersuchen, Bewerten, Beraten, Forschen: 125 Jahre VDLUFA im Dienste von Landwirtschaft, Umwelt- und Verbraucherschutz

M. Lahrssen-Wiederholt

Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin

Globaler Überblick über die Ernährungssituation sowie den Umwelt- und Verbraucherschutz in den letzten 125 Jahren bzw. in den nächsten 25 Jahren – Die Rolle des VDLUFA aus Sicht des Bundesinstituts für Risikobewertung

Die Ernährungssituation in den 1840er Jahren bedingte die Gründung des VDLUFA vor 125 Jahren mit dem vorrangigen Ziel, sich zunächst auf den landwirtschaftlichen Versuchsstationen den zentralen Aufgaben der Produktionssteigerung und der Ernährungssicherung zu widmen.

Obwohl das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) im Jahre 2012 erst sein 10jähriges Bestehen gefeiert hat, blickt es auch auf eine lange Tradition mit vielfältigen Aufgaben im Bereich des Verbraucherschutzes zurück. Lassen Sie daher einen kurzen historischen Rückblick zu:

Ein Mangel an Nahrungsmitteln kann ein Grund sein, Nahrungsmittel zu strecken. Das erste reichseinheitliche Nahrungsmittelgesetz wurde aufgrund desolater Zustände im gesamten Reichsgebiet erlassen. Man sah es als dringend erforderlich an, um gegen Milchpanscherei und Streckung von Wurst z. B. mit Mehl oder Sägemehl und Verfälschung von Mehl mit Kreide, Gips und anderen Mineralien vorzugehen. Das erste Nahrungsmittelgesetz in Deutschland wurde als Reichsgesetz am 14. Mai 1879 erlassen. Es löste Landesgesetze ab, die als unzureichend angesehen wurden. Der Gesetzgeber orientierte sich an Bestimmungen eines britischen Gesetzes vom 11. August 1875 und schuf damit ein reichseinheitliches Lebensmittelrecht. Mit diesem Gesetz wurde auch die Verantwortlichkeit für die Lebensmitteluntersuchung an bestimmte Labore vergeben. Für die Stadt Hamm war dies das Laboratorium Dr. Neuhoff, Dortmund. (*100 Jahre Chemisches Untersuchungsamt Hamm [http://www.hamm.de / dokumente/ Chemisches_Untersuchungsamt.indd.pdf](http://www.hamm.de/dokumente/Chemisches_Untersuchungsamt.indd.pdf)*). Im Zuge dieser Entwicklungen wurde 1876 das kaiserliche Gesundheitsamt als Vorläuferinstitution des heutigen Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) begründet.

Auch im Futtermittelbereich galten die ersten gesetzlichen Reglementierungen dem Schutz vor Täuschung mit dem Ziel, die Tiergesundheit zu schützen. Im Jahr 1926 wurde das erste Gesetz über den Verkehr mit Futtermitteln (22. Dezember 1926) erlassen, nach dem derjenige mit Gefängnis bis zu sechs Monaten und mit Geldstrafe oder mit einer dieser Strafen bestraft wird, wer vorsätzlich zum Zwecke der Täuschung im Handel und Verkehr Futtermittel nachmacht oder verfälscht, verdorbene, nachgemachte oder verfälschte Futtermittel unter Verschweigung dieses Umstandes oder unter einer zur Täuschung geeigneten Benennung feilhält, anbietet, veräußert oder sonst in den Verkehr bringt, oder Stoffe, deren Verfütterung an Tiere bei sachgemäßer Verwendung ihre Gesundheit zu schädigen geeignet ist, als Futtermittel feilhält oder sonst in Verkehr bringt (*Gesetz über den Verkehr mit Futtermitteln (Futtermittelgesetz). Vom 22. Dezember 1926. Reichsgesetzblatt Teil I, Nr. 69 S. 525-227.*)

Zurück zu den Lebensmitteln. Nach einer Umbenennung wurde das Kaiserliche Gesundheitsamt 1918 zum Bundesgesundheitsamt. Zwischen 1933 und 1945 setzte die Behörde die Rassenpolitik der Nationalsozialisten um, indem sie mit Gutachten Zwangssterilisationen anordnete. Nach dem Zusammenbruch 1945 übernahm der Magistrat von Berlin Teile des Reichsgesundheitsamtes in das neu gegründete Zentralinstitut für Hygiene und Gesundheitsdienst. Dieses ging 1952 im neu errichteten Bundesgesundheitsamt auf. Die lange Tradition des Bundesgesundheitsamts wurde 1994, ausgelöst durch den AIDS-Skandal, beendet.

Aus 7 Instituten wurden 3 selbständige Institute geformt. Die Aufgaben des gesundheitlichen Verbraucherschutzes gingen an das Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV), welches aus dem Max von Pettenkofer-Institut und dem Institut für Veterinärmedizin hervorging. Nach verschiedenen Lebensmittelskandalen wurde der gesundheitliche Verbraucherschutz in Deutschland und in der gesamten EU neu organisiert, um das Vertrauen der Verbraucherinnen und Verbraucher in die Sicherheit ihrer Lebensmittel wiederherzustellen. In Deutschland beauftragte der Bundeskanzler die Präsidentin des Bundesrechnungshofes und Bundesbeauftragte für Wirtschaftlichkeit in der Verwaltung, Frau Dr. Hedda von Wedel, mit der Erarbeitung eines Gutachtens über die Organisation des gesundheitlichen Verbraucherschutzes. Als eine der Empfehlungen wurde die Einrichtung einer unabhängigen, zentralen wissenschaftlichen Einrichtung des Bundes vorgeschlagen. Diese „Wissenschaftliche Stelle“ soll sich zu allen Fragen der Lebens-

mittelsicherheit frei von Einflussnahmen und Interessen äußern können. Die „Wissenschaftliche Stelle“ soll als unabhängige Einrichtung für alle Fragen der Risikobewertung im Bereich der Lebensmittelsicherheit begründet werden. Sie soll sich bei Bedarf auch unaufgefordert jederzeit zu sicherheitsrelevanten Fragen im Lebensmittelbereich äußern können, also die Risikokommunikation mitgestalten. Sie ist als nationales Spiegelgremium zur „Europäischen Lebensmittelbehörde“ (EFSA), die sich derzeit im Aufbau befindet, konzipiert und soll eng mit dieser zusammenarbeiten.

Bedeutsam ist auch, dass die „Wissenschaftliche Stelle“ eigene Forschungsprojekte realisieren soll. Das BfR wurde am 1. November 2002 als selbständige, rechtsfähige Anstalt des öffentlichen Rechts errichtet.

Als Schwesterbehörde wurde eine koordinierende Stelle, das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) geschaffen.

Das BfR hat den gesetzlichen Auftrag, die Politik zu beraten und betreibt zudem Forschung im Sinne des gesundheitlichen Verbraucherschutzes.

Genau wie der VDLUFA hat sich das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) zu seinem 10jährigen Bestehen (mit langer Tradition) im Jahre 2012 auf einer Veranstaltung dem Thema „Kontrolle in der Nahrungskette: Besser Nachweisen – Besser Bewerten“ gewidmet. Dies zeigt die gemeinsamen Themenfelder auf, die wir in den letzten Jahren gemeinsam besprochen haben und mit denen wir uns in der Zukunft auseinandersetzen werden müssen. Dies geschieht jedoch im unterschiedlichen Ausmaß. Aus Sicht des BfR wünsche ich mir, dass wir verstärkt aktuelle Themen gemeinsam diskutieren und bewerten, die uns derzeit unter den Nägeln brennen. Kein anderer Verband wie der VDLUFA verfügt mit seinen Mitgliedern über ein breiteres und interdisziplinär aufgestelltes Fachgremium, das zu den heutigen Themenfeldern wie Fleischkonsum, das Rind als Klimakiller, die Auswirkungen der Nutzung der Bioenergie, der Nachhaltigkeit, den Klimawandel mit seinen Auswirkungen oder der effektiven Ressourcennutzung Stellung beziehen kann. Untersuchen ohne bewerten ist wie die Suppe ohne Salz. Untersuchen und bewerten bedeutet mitgestalten.

In der wissenschaftlichen Expertise aktueller Themenfelder ist der VDLUFA aus meiner Sicht bestens aufgestellt und strukturiert. Mit den Fachgruppen Pflanzenernährung, Produktqualität und Ressourcenschutz, Bodenuntersuchung,

Düngemitteluntersuchung, Saatgut, Tierernährung und Produktqualität, Futtermitteluntersuchung, Milch sowie Umwelt- und Spurenanalytik können alle Fragen zu heute aktuellen Themenfeldern beleuchtet werden. Im Zuge immer knapper werdender Ressourcen in wissenschaftlichen Institutionen wünscht man sich Meinungsbildung und Positionierung der Institutionen, die auf ausgewiesene wissenschaftliche Expertise zurückgreifen können. Der VDLUFA fertigt Positionspapiere an, wie auf der Homepage unter dieser Rubrik nachzulesen ist. Als Beispiele sind zu nennen: der Vorschlag des AK Nachhaltige Nährstoffhaushalte zur Novellierung der Düngeverordnung (März 2012) oder die Angabe von Messunsicherheit und Wiederfindungsrate gemäß Verordnung (EG) 152/2009 (Mai 2012).

Aktuell hat die Europäische Kommission zur nachhaltigen Verwendung von Phosphor ihre Konsultative Mitteilung vom 8. Juli 2013 veröffentlicht. Alle Europäischen Institutionen, interessierte Organisationen und Privatpersonen sind eingeladen, ihre Kommentare zu den aufgeworfenen Fragen sowie zu weiteren Fragen betreffend der nachhaltigen Verwendung von zu übermitteln.

Als essentieller, nicht nachwachsender Rohstoff gibt die derzeitige Bewirtschaftungspraxis des Phosphors aus Sicht zukünftiger Ressourcen sowie Belastungen der Umwelt Anlass zur Sorge. Das Ziel ist, die Aufmerksamkeit auf eine nachhaltige Verwendung des Phosphors zu lenken und die Debatte um den gegenwärtigen Stand und notwendige Schritte zu initiieren. Wer wäre hier nicht besser aufgestellt, zu allen gestellten Fragen Antworten geben zu können als die Mitglieder der breit aufgestellten Fachgruppen und übergreifenden Arbeitsgruppen des VDLUFA.

Was könnte die EU zur Eindämmung von Risiken in der Versorgung tun, z.B. die Förderung des nachhaltigen Abbaus oder den Einsatz neuer Technologien im Bergbau?

Wie sollen wir mit dem Risiko der Kontamination von Böden in Verbindung mit dem Phosphor-Einsatz in der EU umgehen? Welche Technologien haben das größte Gesamtpotenzial, um eine nachhaltige Verwendung von Phosphor zu garantieren? Was sollte die EU im Hinblick auf die weitere Forschung und Innovation zur nachhaltigen Verwendung von Phosphor fördern? Sind Sie der Meinung, dass die verfügbaren Informationen über die Effizienz der Phosphorverwendung und die Verwendung von Recycling-Phosphor in der Landwirtschaft

ausreichend sind? Wenn nicht, welche weiteren statistischen Informationen könnten notwendig sein? Was könnte getan werden, um ein besseres Management und eine erhöhte Verarbeitung von Gülle in Gebieten mit Überversorgung und die verstärkte Verwendung von verarbeiteter Gülle außerhalb dieser Bereiche zu gewährleisten? Was könnte getan werden, um die Wiederverwertung von Phosphor aus Nahrungsmittelabfällen und anderen biologisch abbaubaren Abfällen zu verbessern? Sollte irgendeine Form der Verwertung von Phosphor aus Abwasser verpflichtend oder ermutigend sein? Was könnte getan werden, um Klärschlamm und biologisch abbaubare Abfälle für den Ackerbau besser verfügbar und akzeptabel zu machen?

Als weiteres zukünftiges Themenfeld stellt sich die Agrarmeteorologie. Erste Vorträge wurden auf dem Kongress gehalten. Diskussionen und Arbeitsgruppen entstehen um den Beratungsbedarf zu den Auswirkungen des globalen Wandels und insbesondere die damit verbundene Zunahme von Extremwetersituationen und deren Auswirkungen auf die Land- und Forstwirtschaft zu beleuchten.

Mein Ausblick für die nächsten 25 Jahre: der VDLUFA ist bestens aufgestellt als breites interdisziplinäres Fachgremium. Das BfR wünscht sich eine stärkere Bewertung und Positionierung des VDLUFA. „Untersuchen und Bewerten bedeutet Mitgestalten.“

Globaler Überblick über die Ernährungssituation sowie den Umwelt- und Verbraucherschutz in den letzten 125 bzw. den nächsten 25 Jahren – aus Sicht der Grundlagenforschung

H. E. Goldbach

INRES – Pflanzenernährung, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn

1. Einführung

Viele der Errungenschaften der deutschen Agrarforschung sind unter intensiver Beteiligung der Hochschulen und Universitäten (hier besonders, aber nicht nur, deren Agrarfakultäten) zu Stande gekommen. Die Rolle, welche der VDLUFA seit seinem Bestehen hier gespielt hat, wurde bereits recht eindrucksvoll von meinen Vorrednern adressiert. Ich sollte heute die Frage beantworten, welche Rolle die Grundlagenforschung hier gespielt hat und künftig spielen wird. Hier muss festgestellt werden, dass die meisten Methoden, die in der landwirtschaftlichen Untersuchungspraxis Eingang gefunden haben, letztlich Resultate einer intensiven (und erfolgreichen) Grundlagenforschung sind – von den Untersuchungsmethoden der VDLUFA Handbücher bis hin zur benutzten Computer Hard- und Software.

Man möge mir nachsehen, dass ich in erster Linie Beispiele aus dem Bereich der Pflanzenproduktion heranziehe, da ich auf diesem Feld naturgemäß mehr zu Hause bin. In dem Zeitraum, den ich selbst seit Beginn meiner Laufbahn überblicke, seien hier die N_{\min} Methode genannt, um deren Etablierung und Validierung sich besonders die Pflanzenernährer der Uni in Hannover und der TU München verdient gemacht haben (natürlich auch weitere Fakultäten, die hier an einer Verbesserung des Einsatzes mitgewirkt haben). Gleiches gilt für die Erarbeitung von Beurteilungsverfahren für die Nährstoffversorgung von Böden, an welchen eine ganze Reihe von Hochschulinstituten mitgewirkt hat. Der Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren wurde ebenso wesentlich unter Beteiligung von Hochschulinstituten mitentwickelt. Analoges gilt auch für weitere Fragen, die im VDLUFA intensiv behandelt wurden und letztlich in Konzepte der Anwendung mündeten, seien es Fragen der Qualität von Produkten wie Milch und Futtermittel, der Saatgutqualität und Prüfverfahren wie dem Tetrazolium-Test, des optimierten Einsatz von Düngemitteln und Beurteilung der Nährstoffversorgung der

Böden, der Rückstandsanalyse, der Qualitätsanalyse von Lebens- und Futtermitteln (u. a. NIRS). Dies sind, wie die meisten unter uns wissen, nur einige der Themenfelder, auf welchen der VDLUFA tätig war und ist.

Anlässlich einer Geburtstagsfeier wie der heutigen könnte man versucht sein, ein wenig nostalgisch und mit berechtigtem Stolz die Errungenschaften des Verbandes zu feiern. Man kann darauf verweisen, wie sich der VDLUFA trotz manchmal schwierigerer Zeiten als wichtigstes Organ der angewandten landwirtschaftlichen Forschung und Beratung etabliert hat. Dieses Privileg sei allerdings dem Präsidenten vorbehalten, welcher sich ja besonders um die Konsolidierung des Verbandes ganz besonders verdient gemacht hat. Ich werde heute daher eher die Aspekte zu erörtern versuchen, welches Forschungsfelder der Hochschulforschung sind und wohin die sich möglicherweise weiter entwickeln, und wie künftig die Universitäten und Hochschulen mit und im VDLUFA beteiligen können, trotz einer sich seit ca. zwei Dekaden rasch und dynamisch verändernden Situation für die Hochschulforschung.

2. Fragestellungen für die kommenden 25+ Jahre

Wenn die Frage gestellt wird, welchen Beitrag die Grundlagenforschung bei Umwelt- und Verbraucherschutz sowie der Sicherung der Ernährung künftig liefern soll, stellen sich bereits erste Zweifel an meinem Thema ein: was ist denn Grundlagenforschung und wo verläuft die Trennlinie zur Anwendungsforschung? Ist denn das Eine weniger bedeutsam als das Andere? Handelt es sich hier vielleicht um ein besonders deutsches Phänomen, Dinge in Schubladen stecken zu wollen? In vielen Ländern muss in Anträgen zu „reiner“ Grundlagenforschung oft angegeben werden, in wieweit diese denn langfristig von Bedeutung für praktische Belange ist, insbesondere welches ihre Beiträge zu Ernährungssicherung, Ressourcen- und Umweltschonung sein können. Für manche Forschungsbereiche ist dagegen in Deutschland die Praxisnähe eher ein Grund für die Ablehnung von Anträgen. Ich möchte deswegen hier auf die Definition für „gute Forschung“ zurückgreifen, die ich einmal gelesen habe: „good research is when you can state: „IT MATTERS“ (s. z. B. <http://yourontarioresearch.ca/why-research-matters/>). Daher nun nachfolgend einige Überlegungen zu Fragen, die wichtig sind und daher auch in der Hochschulforschung eine Rolle spielen sollten. Die Aufstellung wird bei weitem nicht vollständig sein, und die Zukunft wird zeigen, ob und welche Probleme landwirtschaftlicher Forschung dann

tatsächlich von höchster Priorität sind, und welche Probleme noch zu lösen sein werden, Probleme, die wir bislang möglicher Weise noch gar nicht erkannt haben.

Der Rahmen für die Herausforderungen in den kommenden Dekaden wurde bereits im Beitrag von Kollegen Radermacher anschaulich beschrieben. Welches sind Anforderungen und Herausforderungen bestehen angesichts des raschen globalen Wandels aus Sicht der Grundlagenforschung? Wir kommen nicht umhin, künftig durch den medizinischen und technischen Fortschritt bedingte Prozesse wie Bevölkerungswachstum und Urbanisierung bzw. Metropolenbildung und Klimaänderungen auffangen zu müssen. Zudem müssen Lösungen gefunden werden, die regional angepasst sind: Konzepte die für ländliche Gebiete in Ostafrika gut sind, können an der chinesischen Ostküste oder in Mitteleuropa völlig falsch oder zumindest nicht realisierbar sein (und umgekehrt).

Aus Sicht der Grundlagen- und hier insbesondere der Hochschulforschung besitzen die wichtigen Fragestellungen kaum noch regionalen oder nationalen Charakter: die Herausforderung besteht zudem darin, international wahrgenommen zu werden durch Publikationen in renommierten Zeitschriften. Regional orientierte Projekte haben zumeist Modellcharakter, in welchen eine Region oder ein „Ökosystem“ als Forschungsobjekt dient, welches helfen soll, übertragbare Modelle und Nutzungskonzepte zu entwickeln (Beispiele s. u.). Nationaler oder regionaler Bezug stellen auch hier eher Gründe für die Ablehnung von Beiträgen in internationalen Zeitschriften dar.

Ich werde daher zunächst auf Fragestellungen eingehen, die besonders im globalen Kontext eine Rolle spielen und dies vermutlich ebenso die kommenden 25 Jahre tun werden. Ich werde kurz Möglichkeiten anreißen, wo sich VDLUFA und universitäre Forschung wieder begegnen können.

Als wichtige Forschungsbereiche landwirtschaftlicher Forschung werden zumeist genannt:

1. Ressourcenschutz: Boden, Luft, Wasser, Rohstoffe
2. Produktivitätssteigerung von Nutzpflanzen und Nutztieren, einschließlich Erhöhung der Stresstoleranz in der pflanzlichen Primärproduktion (abiotisch: Kälte, Trockenheit, Hitze, Salz, Azidität; biotisch: Krankheiten und Schädlinge)

3. Steigerung der Effizienz (Nährstoffe, Wasser)
4. Qualitätssteigerung (einschließlich: „functional and fortified food“)
5. Produktion von Rohstoffen (incl. Energie) und Grundstoffen zur Weiterverarbeitung bis hin zur Produktion von Medikamenten

Nachstehend werde ich für diese vorgenannten Bereiche 1.-3. einige Beispiele aufführen aus rezenten und noch laufenden Projekten, ohne Anspruch auf Vollständigkeit erheben zu wollen.

2.1 Ressourcenschutz

Bodenschutz ist in Deutschland ja bereits Gegenstand einer einschlägigen Verordnung und daher sicher eine der schon recht gut gesicherten Ressourcen. Man mag darüber streiten, ob bereits alle Aspekte ausreichend betrachtet sind, und ob z. B. der Schutz vor Verdichtung und Eutrophierung mit den gegenwärtigen Bestimmungen ausreichend ist, weltweit gesehen sind die Bedingungen sicher als vergleichsweise gut anzusehen. Sowohl im Rahmen der Überwachung wie auch der Entwicklung von Nachweisverfahren sehe ich eine künftig wieder engere Verzahnung von Grundlagenforschung im Bereich Bodenkunde, besonders dem Bereich des physikalischen und chemischen Bodenschutzes und den Arbeiten im VDLUFA, zumal hier auch mehr Mitglieder in der DBG und dem Verband sind. Zu Fragen des Sensoreinsatzes werde ich später Stellung nehmen.

Ein Bereich, der aus meiner Sicht noch zu wenig in der landwirtschaftlichen Forschung bearbeitet wird, sind die etwas komplexeren Fragen des Recyclings: der Verband verfügt über große Expertise in der Qualitätssicherung von Reststoffen (Gütesiegel), die derzeit hoch aktuelle Frage des P-Recycling findet zwar Beachtung im eher ingenieurwissenschaftlichen Bereich, aber nur noch ganz wenige der landwirtschaftlichen Hochschulen bearbeiten die Verfügbarkeit von Recycling Produkten und die Anforderungen aus Sicht der Verwertung.

Die Einsicht, dass dem Boden das wieder zurückgeführt werden muss, was ihm entzogen wurde, ist seit Liebig bis heute richtig und unwidersprochen. Wir sind allerdings noch einen langen Weg entfernt von der Lösung aller damit zusammenhängender Probleme, in der Anwendungs- wie in der Grundlagenforschung. Hier müssten wir uns über eine ganze Reihe von Dingen in einem größeren Zusammenhang klar werden, die über die Betrachtung von Verfahren

zum Phosphatrecycling und der Qualitätssicherung von Sekundärrohstoffen noch wesentlich hinausgeht. Ich möchte dies nachstehend noch weiter ausführen. Recycling beinhaltet ja nicht nur die Rückführung der nutzbringenden Inhaltsstoffe zum Boden, sondern zwangsläufig auch der weniger erwünschten Anteile. Hier gilt es Mittel und Wege zu finden, wie sich die wertgebenden Anteile von den unerwünschten soweit abtrennen lassen, so dass diese Reststoffe auch ohne Gefahr für Umwelt und Verbraucher wieder zu verwerten sind. Hierzu sind verschiedene Verfahren bereits in der Entwicklung, und die Qualitätssicherung der Produkte wird sicher auch den Verband beschäftigen.

Bislang gehen wir davon aus, dass tierische Reststoffe wie Gülle und noch mehr Stallmist möglichst im eigenen Betrieb oder betriebsnah verwertet werden und dass die flächenbezogene Tierdichte optimal im Bereich von 1-1,5 DGV/ha liegen sollte. Das ist zweifellos richtig unter den derzeitigen Bedingungen in Mitteleuropa. Wir sollten aber hinterfragen, ob dies tatsächlich die beste Lösung auch für die Zukunft und unter allen Bedingungen ist. Ich möchte aus dieser Betrachtung zunächst auch ausklammern, ob der Verzehr tierischer Produkte in der gegenwärtigen Höhe aus gesundheitlichen und ökologischen Gesichtspunkten heraus richtig ist. Auch hierzu wurde ja im einleitenden Referat einiges angesprochen. Was aus meiner Sicht noch viel zu wenig betrachtet wird, ist eine möglichst vollständige Erfassung und Abwägung aller wichtigen Aspekte, so dass langfristig tragbare und energetisch sinnvolle Lösungen gefunden werden können. Ich möchte solche Überlegungen einmal anstellen für eine dicht bevölkerte und intensiv genutzte Region. Dies könnte z. B. NRW in Deutschland sein, oder die chinesische Ostküste mit ihren Megacitys. Die Ausgangsbedingungen, die auch so nicht mehr rückgängig zu machen sind, u. a. (s. a. Bai et al., 2012):

- Hohe Bevölkerungsdichte
- Hoher Bedarf an frischen tierischen und pflanzlichen Nahrungsmitteln
- Flächenknappheit
- Beanspruchung von Ressourcen wie Wasser und Luft,
- hohes Verkehrsaufkommen.
-

Nun wäre zu überlegen, wie mein Nutzungskonzept für die Nahrungsproduktion aussehen müsste, das unter diesen Bedingungen die geringstmögliche Belastung der Umwelt darstellt an Emissionen in Luft, Wasser und Boden, energetisch möglichst effizient ist und in welchem der Großteil an wertgebenden Inhaltsstoffen zurückgeführt werden kann. Gehen wir einmal von einem (recht bescheidenen) Fleischverbrauch von 30 kg pro Kopf und Jahr aus (knapp der Hälfte des

derzeitigen Verbrauchs in Mitteleuropa wie in China). Dies bedeutet in einem Ballungszentrum mit 40 Mio. Einwohnern einen Bedarf an Tieren (berechnet für Schweine) von rund 20 Mio. Tieren. Dies entspricht einem Flächenbedarf von 1,5 Mio. ha bei einer Tierhaltungsdichte von 1 DGV/ha, bei den derzeitigen Verbrauchsgewohnheiten sogar mehr als dem doppelten. Diese Flächen stehen aber i. d. R. nicht mehr nahe der Metropolen zur Verfügung. Bei einer Einhaltung des Grenzwertes müssten also die Tiere oder Schlachtkörper über entsprechend weite Strecken herangefahren werden, was CO₂ Emissionen verursacht und bei Lebendtransporten die Tiere entsprechend belastet. Hinzu kommt, dass diese extensive Art der Tierhaltung auch (fast unvermeidbare) Emissionen verursacht, die dann zwar über eine große Fläche verteilt werden, aber natürlich insgesamt vorhanden sind. Daher sollten wir uns fragen, ob es denn statt einer Verteilung über die Fläche nicht doch effizienter sein kann, wenn Systeme entwickelt werden, die

- tiergerecht sind trotz hoher Tierhaltungsdichte
- unvermeidbare gasförmige Emissionen über Gaswäsche ausfiltern (und ggf. sogar N rückgewinnen können!): das lässt sich nur bei hohen Tierdichten sinnvoll realisieren
- eine weitgehende Aufbereitung mit der Rückgewinnung von besonders P und N in transportwürdiger Form und
- eine energetische Verwertung beinhalten.

Das alles ist nicht zum Nulltarif zu haben, und verlangt sicher Energieaufwand, aber entsprechend sinnvoll kombiniert z. B. mit der Verwertung weiterer nährstoffreicher Abfälle kann das System effizienter sein als die bislang eher extensiven Systeme. Zumindest verlangt es eine unvoreingenommene interdisziplinäre Herangehensweise aus den unterschiedlichsten Fachbereichen, von der Anlagentechnik über Tierhaltung, -ernährung, Pflanzenbau und -ernährung, bis hin zur Ökonomie, um eine umfassende und objektive energetische und ökosystemare Bewertung zu erreichen. Die Bearbeitung dieses Gebietes erfordert die Kombination von Grundlagen- mit Anwendungsforschung. Im abgeschlossenen BMBF-Recycling Projekt in China konnten wir hier allenfalls an der Oberfläche des Problems kratzen – eine eingehende Bearbeitung würde wesentlich mehr Ressourcen und Zeit erfordern.

Ein völlig anders geartetes Problemfeld ergibt sich in der Subsistenzwirtschaft, besonders in Afrika. Auch hier haben Bevölkerungswachstum und bereits eingetretene Klimaänderung (die sich in der Zukunft teilweise noch dramatischer

auswirken wird) dazu geführt, dass traditionelle Landnutzungssysteme an ihre Grenzen gestoßen sind. In einer kürzlich publizierten Literaturübersicht kamen Cobo et al. (2009) zur Ansicht, dass die Nährstoffbilanzen in Afrika regional differenziert zu sehen sind, dass allerdings regional und lokal durchaus erhebliche Nährstoff Bilanzdefizite zu verzeichnen sind, welche einer nachhaltigen Bodennutzung und der erforderlichen höheren Produktivität entgegen stehen. Nach dem Weltagrarbericht zu Afrika südlich der Sahara (Hrsg.: S. Albrecht, 2012) werden hier nur ca. 9 kg/ha und Jahr an Düngemitteln verbraucht, während es in Lateinamerika bereits 73 kg/ha und Jahr sind. Diesem Defizit wird oft versucht mit dem Anbau an Leguminosen zu begegnen, und N wird dabei mit „Dünger“ gleich gesetzt – aus meiner Sicht ein fataler Irrtum. Jede einseitige Nährstoffzufuhr, gleich aus welcher Quelle, führt zum „nutrient mining“. Abgesehen davon wird auch die Ressource „Wasser“ von Pflanzen schlechter umgesetzt, wenn es an Nährstoffen fehlt: die Unterschiede können um den Faktor 2-3 variieren!

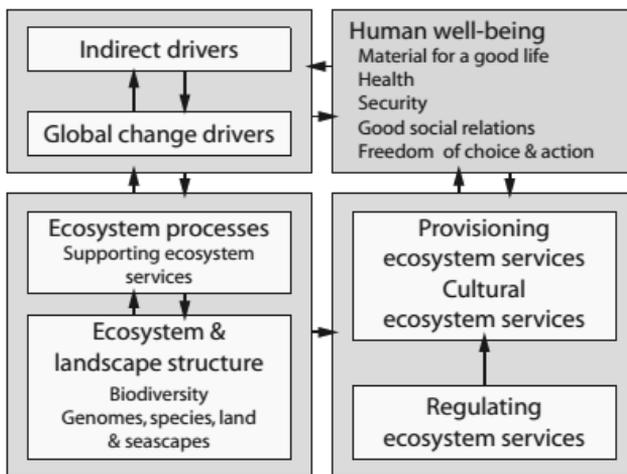


Abb.: Informationsfluss und Interaktionen zwischen Prozessen und Bereichen, die für eine nachhaltige Entwicklung beachtet werden müssen und deren abgestimmte Interaktion essentiell ist (aus Carpenter et al. (2009) nach „Millenium Ecosystem Assessment“ (2003).)

Zwar ist nun Afrika nicht das Betätigungsfeld des Verbandes, aber ich wollte an diesem Bereich zeigen, wo sich Grundlagen- und Anwendungsforschung treffen, und wie diese künftig aussehen könnte – auch die Expertise von Mitgliedern des VDLUFA wäre in solchen Projekten gefragt, zumal hier oft schwierige Ent-

scheidungen zu treffen sind, wie z. B.: Wann und bis zu welchem Ausmaß sollen afrikanische Feuchtgebiete in Nutzung genommen werden, welche Konsequenzen ergeben sich hieraus?

Hinzu kommt, dass alle Maßnahmen fruchtlos sind, wenn nicht die Bevölkerung in Entscheidungen so eingebunden wird, dass notwendige Änderungen auch von allen getragen werden können (DFG-FOR1501: <http://www3.uni-bonn.de/forschung/forschungsprofil/forschergruppen/for-1501>, SWEA <http://www.ipe.uni-bonn.de/verbundprojekte/wetland>, BMBF-Projekt GlobE: alle M. Becker, Bonn). Unbestritten ist, dass alle Maßnahmen zur Ressourcenschonung UND zur Produktivitätssteigerung auch sozial verträglich und den Bedürfnissen der Bevölkerung angepasst sein müssen (s. Abb.).

2.2 Produktivitätssteigerung

Unstrittig ist, dass die verfügbare Ackerfläche nicht in dem Maße zunehmen kann wie die Bevölkerung wächst. Zudem ist damit zu rechnen, dass Erträge durch Klimaänderungen bedingt stärker variabel sind und öfter durch Wassermangel geringer ausfallen. Bereits in der vergangenen Dekade ist der frühere Ertragszuwachs von ca. 1 % in Mitteleuropa (unserer weltweit betrachteten bereits höchsten Getreide-Erträge) weitgehend ausgeblieben. Dies hat verschiedene Ursachen, aber weist darauf hin, dass wir bis zum Jahre 2050 weltweit in etwa wieder Ertragssteigerungen von bis zu 1,5 % benötigen, um den Nahrungsmittelbedarf sowie den wohl eher steigenden Bedarf an pflanzlichen Rohstoffen zu decken. Gleichzeitig fallen Flächen aus der Produktion durch Klimaänderung (Wassermangel), Versalzung, Erosion und Überbauung (s. a. Lambin und Meyfroidt, 2011).

Dies verlangt u. a. besondere Erfolge in Pflanzenzüchtung und Anbau. Molekularbiologische Methoden und moderne Verfahren der Pflanzenzüchtung sind hier besonders gefordert. Die Fortschritte im Bereich der Molekularbiologie lassen uns inzwischen wenigstens in Ansätzen erkennen, welche komplexen Regelungs- und Reaktionsmechanismen Pflanzen dazu verhalfen, mit biotischem oder abiotischem Stress besser fertig zu werden. Allerdings sind Mechanismen, die „Überlebenskünstlern“ unter den Wildpflanzen ein Überleben unter extremen Stressbedingungen ermöglichen, zwar interessant, aber nur sehr bedingt auf Nutzpflanzen zu übertragen: es geht bei letzteren ja auch um die Produktivität im menschlichen Interesse. Und eine Pflanze, die einen erheblichen

Teil der verwerteten Energie in Überlebensstrategien steckt, ist zwar robust, aber i. d. R. wenig ertragreich. Aber auch hier gibt es Fortschritte in unserem Verständnis, und es steht zu erwarten, dass insbesondere moderne Züchtungsverfahren in Kombination mit z. B. molekularen Markern den erforderlichen Ertragsanstieg trotz verbesserter Stresstoleranz der Nutzpflanzen erzielen können, gleichzeitig steigt aber auch der Anspruch an die Bodenfruchtbarkeit und Nährstoffversorgung, selbst bei nährstoffeffizienteren Nutzpflanzen.

Ein Bereich, der hierfür auch von Interesse für den VDLUFA ist und wo sich die Interessen von Grundlagenforschung und VDLUFA treffen können, ist der Bereich berührungsfreier bzw. zerstörungsfreier Sensorik zur Erfassung von Boden- (hierzu 2.1) und Pflanzeigenschaften, teilweise auch im Bereich der Tierproduktion. Der Einsatz von NIRS ist ja eine ureigene Domäne des Verbandes, und die Nutzung nahezu des gesamten elektromagnetischen Wellenspektrums und moderne Methoden der Datenerfassung und -Auswertung lassen hier für die Zukunft eine deutliche Erweiterung der Untersuchungsmethodik erwarten, in welcher sich VDLUFA und Grundlagenforschung wieder mehr begegnen und voneinander profitieren können. Beispiele aus den laufenden Forschungsarbeiten des BMBF Kompetenznetzwerkes CROP.SENSE.net finden sich unter <http://www.ipe.uni-bonn.de/verbundprojekte/CROPSENSE.net>.

2.3 Steigerung der Effizienz

Die verbesserte Nutzung der verfügbaren Ressourcen wie Nährstoffe und Wasser sind ebenso Gegenstände aktueller grundlagenorientierter Forschung. Hierbei geht es nicht nur um eine Erhöhung der Aufnahme- sondern besonders auch der Nutzungseffizienz. Die in rasantem Tempo anwachsenden Erkenntnisse über Transportmechanismen in der Pflanze und deren Regulation lassen hier in den kommenden zwei Dekaden durchaus Fortschritte erwarten (s. hierzu Hawkesford und Barraclough, 2011 und hierin enthaltene Artikel), wengleich diese Methoden die Optimierung bereits bestehender Möglichkeiten des Pflanzenbaus (z. B. Roberts, 2008) nicht ersetzen können. Es sollte aber bedacht werden, dass eine Pflanze, die besonders nährstoffeffizient ist und mit z. B. geringeren P-Konzentrationen im Gewebe noch ähnlich hohe Erträge liefert wie ihre weniger „effizienten“ Verwandten, möglicherweise einen geringeren Nährstoffwert als Nahrungs- oder Futtermittel besitzt. Sofern sich der geringere Gehalt auch im Ernteprodukt niederschlägt, kann damit die Nährstoffdichte deutlich reduziert sein. Dies kann für einige Spurenelemente durchaus nütz-

lich sein (z. B. für die Zn-Effizienz: geringere Phytatgehalte erhöhen die Zn-Ausnutzung im tierischen Organismus), könnte aber auch bedeuten, dass das nunmehr C-reichere Nahrungs- oder Futtermittel an Nährwert verliert. Dagegen wäre diese Eigenschaft z. B. für Energiepflanzen eher positiv, da hierdurch geringere Aschegehalte anfallen und die Energieausbeuten höher würden.

3. Ausblick

Zweifellos war der Bereich der „Grundlagenforschung“ im VDLUFA in den letzten Jahren weniger prominent vertreten. Dies resultiert letztlich aus finanziellen und zeitlichen Begrenzungen und Zwängen, und hat seine Ursache in der stärkeren Differenzierung und Arbeitsteilung. Es werden von den Arbeitsgruppen verschiedene Foren beschickt, die den jeweiligen „scientific communities“ zur Verfügung stehen. Das föderale System ist gleichfalls der Schaffung von schlagkräftigen inter- und transdisziplinären „think tanks“ an Universitäten und Hochschulen nicht gerade förderlich im Gegensatz zum niederländischen Modell der Universität Wageningen. Hat damit die Grundlagenforschung im Verband dann ihre Bedeutung verloren? Möglicher Weise wird der universitäre Sektor im Verband geringer vertreten sein, trotzdem sehe ich wichtige Beiträge, die aus der „Grundlagenforschung“ in den VDLUFA eingebracht werden können. Beispielhaft seien hier genannt:

- Qualitätsaspekte: Wie verändert sich die Qualität von „nährstoffeffizienten Nutzpflanzen?“ Welche Ansprüche sind an funktionelle Lebensmittel zu stellen?
- Wie lassen sich moderne Verfahren der Sensorik zur Kontrolle und Beratung einsetzen, wie die Ergebnisse berührungsfreier Sensorik mit „chemischen“ Verfahren verifizieren?
- Wie kann Recycling verbessert und sicherer gemacht werden, wie können hierzu Verfahren entwickelt und optimiert werden und welches sind die Ansprüche aus Sicht der Anwendung als z. B. Düngemittel?
- Wie sind Nutzungssysteme und deren Änderungen unter Beachtung von Umwelt, langfristiger Stabilität und Qualität zu bewerten?
-

Natürlich gibt es viele weitere Fragestellungen, die Grundlagen- und Anwendungsforschung bewegen, hier aber aus der fachlichen Begrenztheit des Autors und der zeitlichen Begrenzung des Referates nicht weiter diskutiert werden können.

Konventionelle (industrielle) Agrarproduktion (de Schutter, 2011) in den Industrieländern bedeutet nicht zwangsläufig auch eine Verbesserung der globalen Ernährungssituation. Hier sind stabile, öko-effiziente Ansätze zu entwickeln. Keating et al. (2010) sprechen von "agroecological intensification" (oder "ecological engineering" zur nachhaltigen Produktivitätssteigerung), die auch Ansprüche an die ökosystemaren Dienste und Prozesse beachten (Lambin und Meyfroidt, 2011, Yang et al., 2013). Hier sehe ich, dass auch im Dialog mit Vertretern des VDLUFA und deren Erfahrungen und Kenntnisse entsprechende Lösungen und Ansätze entwickelt werden können. Einschlägige Foren für die Begegnung von Verband und Vertretern der Grundlagenforschung halte ich für möglich und sinnvoll. Schließen der „yield gaps“ und Ressourcen angepasste landwirtschaftliche Produktion gehören sicher zu den großen Herausforderungen der Zukunft (Foley et al., 2011), die eine komplexe Herangehensweise erfordern – Patentlösungen wird es wohl leider nicht geben, aber eine gemeinsame Anstrengung von Grundlagen und Anwendungsforschung wird nötig sein!

4. Literaturangaben

- Anonymus, 2003: Millenium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment (Island Press, Washington, D.C.).
- Bai, X., Chen, J., Shi, P., 2012: Landscape Urbanization and Economic Growth in China: Positive Feedbacks and Sustainability Dilemmas. *Environmental Science & Technology* 46, 132-139.
- Carpenter, S.R., Mooney, H.A., Agard, J., Capistrano, D., DeFries, R.S., Díaz, S., Dietz, T., Duraiappah, A.K., Oteng-Yeboah, A., Pereira, H.M., Perings, C., Reidl, W.V., Sarukhan, J., Scholes, R.J., Whyte, A., 2009: Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *PNAS* 116, 1305-1312.
- Cobo, J.C., Dercon, G., Cadisch, G., 2009: Nutrient balances in African land use systems across different spatial scales: A review of approaches, challenges and progress. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 136, 1-15.
- Hawkesford, M.J., Barraclough, P., 2011: *The Molecular and Physiological Basis of Nutrient Use Efficiency in Crops*, ISBN: 978-0-8138-1992-1, 512 S. Wiley-Blackwell, Oxford.

- Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Deepak, K.R., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., Zaks, D.P.M., 2011: Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478, 337-342.
- Keating, B.A., Carberry, P.S., Bindraban, P.S., Asseng, S., Meinke, H., Dixon, J., 2010: Eco-efficient Agriculture: Concepts, Challenges, and Opportunities. *Crop Sci.* 50(1), 109-119.
- Kuiseu J., Ndlovu, L., Dike, M., Kagaruki, L., Kashajja, I., Musibono, D., Ndirika, V., Rakotonjanahary, X., Akpalu, W., Avato, P., Das, S., Marques, P., Neuenschwander, P., Williams, S., Wonani, C., 2012: Typologie und Entwicklung von Erzeugungs-, Verteilungs- und Verbrauchssystemen. in: Albrecht, S., 2012 (Hrsg.): International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development Weltagrарbericht: Bericht zu Afrika südlich der Sahara (SSA), http://hup.sub.uni-hamburg.de/HamburgUP_IAASTD-SSA, Archivserver der Deutschen Nationalbibliothek – <http://deposit.d-nb.de>, ISBN 978-3-937816-95-1(Printversion), 27-124.
- Lambin, E.F., Meyfroidt, P., 2011: Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *PNAS* 108, 3465-3472.
- Mittler, R., Blumwald, E., 2010: Genetic engineering for modern agriculture: challenges and perspectives. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61, 443-62.
- Parry, M.A.J., Hawkesford, M.J., 2010: Symposium on 'Food supply and quality in a climate-changed world', Session 1 Food security: increasing yield and improving resource use efficiency Proceedings of the Nutrition Society, 69, 592-600.
- Roberts, T.L., 2008: Improving nutrient use efficiency. *Turk. J. Agric. For.* 12, 177-182.
- de Schutter, O., 2011: Report submitted by the Special Rapporteur on the right to food. Human Rights Council, Sixteenth session, Agenda item 3, Promotion and protection of all human rights, civil, political, economic, social and cultural rights, including the right to development.
- Yang, Y., Dietz, T., Liu, W., Luo, J., Liu, J.L., 2013: Going beyond the millennium ecosystem assessment: An index system of human dependence on ecosystem services. *PLoS ONE* | www.plosone.org 1, 8(5), e64581.

Zitierte web sites:

<http://www.ipe.uni-bonn.de/verbundprojekte/CROPSENSEnet>.

<http://www.ipe.uni-bonn.de/verbundprojekte/wetland>.

<http://yourontarioresearch.ca/why-research-matters/>
<http://www3.uni-bonn.de/forschung/forschungsprofil/forscherguppen/for-1501>.

Anforderungen an die Arbeit des VDLUFA von Seiten der Politik und Verwaltung

H. Stürmer

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz,
Bonn

Sehr geehrter Herr Präsident Wiesler,
liebe Kolleginnen und Kollegen,
meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich habe heute die Ehre, den Workshop „Anforderungen an die Arbeit des VDLUFA“ mit einem Beitrag zu eröffnen, der die Anforderungen an den VDLUFA von Seiten der Politik und der Verwaltung darstellt.

Ich war anfangs etwas zögerlich, diese Aufgabe zu übernehmen, – nicht weil ich nicht gerne mit Ihnen darüber sprechen möchte –, aber ich bekleide weder ein politisches Amt, noch gehöre ich zur Hauptnutzergemeinschaft der landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Das sind ja unbestreitbar die Länder. Wie Sie wissen, leistet sich der Bund eine eigene Bundesforschung in einem zwar schrumpfenden, aber immer noch erheblichen Umfang. So sind wir sogar verpflichtet, Expertise vorrangig bei den eigenen Anstalten einzuholen. Ich möchte daher den Blick zwar nicht von außen, aber doch eher von einer Randposition nutzen, um ein paar grundsätzliche Thesen für die künftige Arbeit des VDLUFA aufzustellen. Darüber könnten wir dann gemeinsam diskutieren. Was ich bei meinem kurzen Referat nicht vornweg nehmen möchte, ist die Diskussion über die Fachgebiete, die in den nächsten Jahren besondere Bedeutung haben werden. Ich könnte hier die Düngung nennen oder die Tierhaltung. Aber das auszudiskutieren wäre m. E. eine Aufgabe für die Fachgruppen.

Zwei Stichworte will ich aber trotzdem schon einmal geben, nämlich die Problematik von Schadstofffrachten und eines steigenden Entsorgungsdruckes aller möglichen Stoffe und Materialien in Richtung landwirtschaftlicher Flächen.

Ich habe meine Aufgabe so verstanden, dass ein paar Thesen Ansatzpunkte für eine Diskussion liefern sollen, d. h. Sie müssen nicht mit allem einverstanden sein; Thesen sind auch gut dafür zu gebrauchen, sich daran zu reiben und sich auseinanderzusetzen.

In dem Workshop sollen die „Anforderungen an die Arbeit des VDLUFA“ von verschiedenen Seiten, nämlich Politik, Verwaltung, Beratung und Forschung beleuchtet werden.

Dabei gilt es zunächst einmal herauszuarbeiten, wo Anforderungen dieser vier Bereiche an den VDLUFA gleichgerichtet oder aufgrund der Andersartigkeit der eigenen Aufgaben unterschiedlich sind.

Gemeinsam werden sicherlich alle vom VDLUFA ein paar Kardinaltugenden voraussetzen und für die zukünftige Arbeit fordern, wie Professionalität, Sorgfalt, Neutralität, Nachprüfbarkeit und ein wissenschaftlich solides Fundament in allen vier Säulen – Untersuchen, Bewerten, Beraten, Forschen –.

In diesem Zusammenhang habe ich mich gefreut zu erfahren, dass der VDLUFA ein Qualitätsmanagement einführt und darauf achtet, dass alles, was das VDLUFA-Zeichen trägt, einem hohen Qualitätsanspruch genügt; etwa nach dem Motto: Wo VDLUFA draufsteht, muss auch VDLUFA-Qualität drin sein.

Was die speziellen Anforderungen von Politik und Verwaltung anbelangt, ergeben sich diese aus der Tatsache, dass beide Bereiche im Gegensatz zur Wissenschaft selbst keine Daten erheben und auch nicht untersuchen und forschen. Sie sind also in jedem Falle auf verlässliche Daten Dritter angewiesen. Weil sie Ergebnisse nicht selbst in Laboratorien, Feldversuchen o. ä. nachprüfen können, müssen sie darauf vertrauen, dass die ihnen angebotenen Daten und Ergebnisse – z. B. vom VDLUFA – exakt, richtig und seriös sind und mit den richtigen Methoden gewonnen wurden.

Es wird niemanden überraschen, wenn ich sage: Untersuchen – Bewerten – Beraten – Forschen, das war die Aufgabe des VDLUFA in der zurückliegenden Zeit und das wird auch die Aufgabe des VDLUFA in den kommenden Jahren sein, wobei meine Reihenfolge wäre: Erst Untersuchen und Forschen, dann Bewerten und dann ggf. Beraten.

Daraus leitet sich **These 1** ab: Eigene Untersuchungen und Forschungsergebnisse, die einer wissenschaftlichen Überprüfung durch Dritte standhalten, sind das unabdingbare Fundament. Nur auf dieser Basis kann der VDLUFA langfristig eine solide Bewertung und darauf aufbauend eine Beratung von Politik und Verwaltung sicherstellen.

These 2: Politik und Verwaltung brauchen aufbereitete Daten, also Informationen.

„Wir machen aus Zahlen Informationen“, ist das Motto des Zentrums für Betriebswirtschaft im Gartenbau. Dieses Motto bringt es auf den Punkt. Mit Zahlenreihen – man kann auch sagen mit Datenfriedhöfen – und endlosen Tabellen kann die Verwaltung wenig und die Politik gar nichts anfangen.

Benötigt werden also wirkliche Informationen, d. h. aufbereitete Daten und differenzierte Bewertungen bzw. Interpretationen, die es erlauben, Entscheidungen (Gesetze, Verordnungen) auf vernünftiger wissenschaftlich abgesicherter Basis zu treffen.

Doch Achtung, bitte nicht bei der Datenaufbereitung auf der anderen Seite vom Pferd fallen, Aufbereitung bedeutet nicht, Inhalte soweit zu verdichten und zu verkürzen, dass sie in das Schlagzeilenformat der Boulevard-Presse oder entsprechender Fernsehsendungen passen. Ich will jetzt hier niemanden nennen, aber Sie wissen, welche Art der Berichterstattung ich meine, zu der auch leider immer wieder Wissenschaftler ihren Beitrag leisten – gewollt und oft auch ungewollt.

Deshalb **These 3:** Aufbereitete Information für Verwaltung und Politik ist objektives, seriöses Faktenwissen, das sehr deutlich macht, wo unwiderlegbares Datenmaterial endet und wo die Interpretation beginnt.

Die Kernforderung ist dabei die klare Trennung zwischen Daten und Fakten (wissenschaftlich abgesichert) einerseits und – Interpretationen – Bewertungen – und sich eventuell daraus ableitenden Empfehlungen andererseits.

These 4: Beratende und empfehlende Äußerungen des VDLUFA gründen sich stets auf eigene Daten. Das ist im Grunde eine Verschärfung von These 1, die sagt, eigene Forschung ist die Basis. Hier, These 4 meine ich, man sollte nicht die Ergebnisse Dritter hernehmen, um damit zu bewerten und zu beraten. Das heißt es wird selbst untersucht, validiert, mit Kollegen erörtert, so dass eine soweit das eben unter Menschen möglich ist, objektive Expertise entsteht, die sich eben nicht auf Meinung, Gefühl und Gespür begründet. Um nicht falsch verstanden zu werden. Natürlich muss ich nicht alles noch einmal selber untersuchen, was in der Literatur ausführlich und nachvollziehbar beschrieben ist oder

was mir aus sicherer Quelle bekannt ist. Aber „sichere Quelle!“ das wäre schon wichtig. Also die These sagt nicht, Du sollst die Ergebnisse Dritter nicht berücksichtigen! Sie sagt aber, Du sollst nicht weiter verkaufen, was Du nicht selbst geprüft hast!

These 5: Politik und Verwaltung wünscht verständlich interpretierte Daten, also quasi das Executive Summary, die Zusammenfassung der wesentlichen Schlussfolgerungen auf einer Seite. Das ist gewiss nicht leicht, aber es ist der Mühe wert. Denn, wenn es die Autoren nicht machen, die ja das Wissen haben, machen es andere, die das Wissen nicht haben, und das führt nicht immer zum Guten. Das mit einer Seite ist vielleicht etwas pointiert, aber sie verstehen, was ich meine.

These 6: Politik und Verwaltung möchten immer wissen: wie viel Interpretationsspielraum gibt denn die Datenlage her? Keinesfalls sollte man sich verleiten lassen, eine scheinbar mundgerechte Lösung anzubieten, die dann letztendlich vielleicht doch auf einem wackligen Datenfundament oder einer gewagten Interpretation basiert. Das sollte eigentlich für Wissenschaftler selbstverständlich sein und so wurde es uns auch am Anfang unserer wissenschaftlichen Karriere eingebläut. Aber die Lebenswirklichkeit zeigt, dass das, was heute bei uns ankommt, diesen Ansprüchen nicht immer genügt.

These 7: Politik und Administration benötigen Entscheidungshilfen. Das ist ein besonders schwieriges Kapitel und erfordert auch Sensitivität. Und hier müssen wir einmal einen kurzen Exkurs zur Rollenverteilung in unserer Gesellschaft machen.

Politik entscheidet, Verwaltung setzt um, Beratung hat die manchmal undankbare Aufgabe, diese Entscheidungen der Praxis zu vermitteln und ihr innerhalb des vorgegebenen Rahmens zu den für sie bestmöglichen Ergebnissen zu verhelfen und Wissenschaft forscht eben an allererster Stelle.

Wenn nun die Bereiche, die selbstverständlich ineinander greifen, zu sehr vermischt werden, gibt es Probleme. Im Grunde genommen, wenn man bei der reinen Lehre bleibt, wäre die Frage des Politikers an den Forscher, was soll ich tun, falsch. Falsche Frage, falscher Adressat und der Forscher müsste eigentlich antworten: Entscheidungen treffen ist Dein Job, ich als Naturwissenschaftler generiere Daten und Fakten. Damit wäre natürlich keinem geholfen und wenn

man sich in den letzten Jahren die Startseiten der wissenschaftlichen Institutionen im Internet anschaut, findet man im Aufgabenportfolio immer häufiger das Wort „Politikberatung“.

Warum?

Wir sehen uns in den Ministerien in einer immer komplexer werdenden Welt zunehmend dem Druck von Meinungen und Interessen ausgesetzt, die ihre Anliegen sehr eloquent und zunächst einleuchtend und stimmig vortragen. Was aus dem einen Blickwinkel jedoch stimmig und empfehlenswert erscheint, kann aus einem anderen Blickwinkel auch ganz unerwünschte Konsequenzen haben. Maßnahmen, die für das Tierwohl oder das Pflanzenwachstum gut sind, können für die Umwelt schädlich sein und umgekehrt. Maßnahmen, die aus bestimmten Umweltgründen erwogen werden, können andere Teile der Umwelt schädigen.

So sind wir in einem ständigen Abwägungsprozess, zunächst nicht einmal so sehr der widerstreitenden Interessen, sondern der möglichen Folgen von Entscheidungen. Und nicht umsonst gibt es neben dem Begriff der Technikfolgenabschätzung auch den der Politikfolgenabschätzung.

Entscheidend ist auch hier wieder, dass diese Abschätzungen von einer soliden, nicht von einem bestimmten Eigeninteresse getragenen, wissenschaftlich standfesten Basis aus erfolgen. Von daher wäre der VDLUFA in den Fachgebieten, in denen er wirklich eigenständige Ergebnisse vorzuweisen hat, prädestiniert, über die reine Aufbereitung und Interpretation von Informationen hinausgehend Technik- und Politikfolgenabschätzung zu leisten.

Aber wie schon eingangs gesagt, unabdingbar ist dabei, sauber auszudifferenzieren, welche Interpretationen die Daten hergeben, welche Optionen sich daraus entwickeln lassen, und wenn man zu einer abschließenden Empfehlung kommt, die eine Option einer anderen Optionen vorzieht, sauber zu begründen, warum, so dass ein Entscheidungsträger nachvollziehen kann, welche Kriterien letztendlich dazu geführt haben, Option A zu wählen, und nicht B, C oder D. Nur so kann er abwägen, ob die ihm vorgeschlagenen Option A möglicherweise die allein richtige ist, oder ob man bei einer anderen Gewichtung der Entscheidungsfaktoren vielleicht doch zu B oder C gekommen wäre. Diese Entscheidung dann letztendlich zu treffen, ist dann tatsächlich die Aufgabe der Politik und/oder Administration, die dafür auch die Verantwortung übernehmen müssen und

diese nicht auf die Forscher abschieben dürfen. – Wird ja auch gerne gemacht, wenn es mal nicht so klappt.

These 8: Politikberatung erfordert einen sehr hohen ethischen Maßstab an die forschenden Personen, die Empfehlungen aussprechen. Klares ehrliches Unterscheidungsvermögen zwischen Datenlage und eigener Befindlichkeit.

Allzu oft liest man etwas über Forschungsergebnisse und sofort daran geknüpft von Forderungen an die Politik – wer immer das dann auch sein soll – deswegen sofort dieses oder jenes zu gebieten oder zu verbieten. Manchmal ärgere ich mich richtig darüber, welcher Stuss dabei verzapft wird, sei es aus Blauäugigkeit oder bewusstem Handeln. Da ist meine Ansicht ziemlich rigoros: Der Wissenschaftler, der Politik betreiben möchte, soll sich um ein Mandat bewerben und wenn er erfolgreich damit ist, wird er Politiker.

Mit anderen Worten: Die Objektivität der Forschung und Wissenschaft darf auf keinen Fall dazu missbraucht werden, Entscheidungsträger zu manipulieren. Ich denke, hier kann sich der VDLUFA als eine seriöse Dachmarke positiv hervortun, indem er darauf achtet, dass unter seinem Emblem so etwas nicht passiert. Also das VDLUFA-Signum als Gütesiegel.

These 9: Die Anforderungen an den VDLUFA für Politikberatung werden zunehmen. Aber nur, wenn sie das Siegel tragen „valide nach bestem Wissen und Gewissen und Stand von Technik und Wissenschaft“. Ein gewisses Dilemma ergibt sich dabei aus der Sorgfaltspflicht. Denn häufig, wenn etwas aus Politik und Administration verlangt wird, wird es mindestens schnell, meist sofort, und ab und zu „am liebsten gestern“ gebraucht; Tendenz steigend.

Deshalb ist die Versuchung groß, Empfehlungen notfalls auch mal auf unsicherer Datenlage herauszugeben. Natürlich muss man nicht alles zu Tode prüfen und erst siebenmal nachrechnen, bevor man es herausgibt, stets sollte gelten und das ist meine letzte These:

These 10: belastbar vor schnell. Manchmal schwer auszuhalten, besonders von uns auf der Empfängerseite.

Stellt sich noch die Frage: Soll der VDLUFA aus eigenem Antrieb aktuelle Themen aufgreifen und Stellungnahmen und Empfehlungen abgeben? Soll er möglicherweise sogar versuchen, die auf Politik und Verwaltung künftig zukom-

menden Probleme im Vorfeld ausfindig zu machen und bereits im Vorfeld dazu Empfehlungen aussprechen? Oder soll er Politikberatung nur auf Anforderung durchführen?

Das ist sicherlich eine wichtige Frage für die nächsten Jahre, genauso wie die Frage, ob man sich nur zu selbst gewonnenen Daten und Ergebnissen äußern soll, oder ob man auch darüber hinaus interpretierend und politikberatend tätig wird.

Hier möchte ich keine knackigen Thesen aufstellen, sondern gerne in eine offene Diskussion eintreten.

Ich meine aber: Je weiter sich der VDLUFA von der objektiven Bereitstellung von Daten und Informationen hin zu politischen Empfehlungen bewegt, desto zurückhaltender sollte er sein und desto sorgfältiger sollte er Fakten und Meinungen als solche kennzeichnen.

Abschließend sei der guten Ordnung halber noch darauf hingewiesen, dass sich die Anforderungen aus der Sicht der verschiedenen Ebenen von Politik und Verwaltung natürlich sehr stark unterscheiden können. Aus Sicht des Bundes, der in vielen Fällen direkt auf eine wissenschaftliche Expertise zurückgreifen kann, sind sie sicherlich anders als für die Kollegen aus den Ländern oder regionalen Verwaltungen. Auch hier könnten sicherlich die Fachgruppen spezifische Bedürfnisse herausarbeiten.

Ich habe versucht, nicht nur die Brille des Bundes aufzusetzen, sondern etwas grundsätzlicher heranzugehen. Ich bin gespannt auf die folgenden Vorträge und die Diskussion und bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit.

Ansprüche an die Arbeit des VDLUFA von Seiten der Forschung

G. Flachowsky, S. Dänicke

Institut für Tierernährung, Friedrich-Loeffler Institut (FLI), Bundesforschungsanstalt für Tiergesundheit, Braunschweig

1. Einleitung

Globale Entwicklungen, wie zunehmende Erdbevölkerung, begrenzt verfügbare Ressourcen je Einwohner, wie landwirtschaftliche Fläche, Wasser, fossile Energie u. a., erhöhte Emissionen sowie Klimaänderungen und zunehmende Extremwetterereignisse stellen neue Herausforderungen für die landwirtschaftliche Praxis sowie die Agrarforschung und damit auch für den VDLUFA dar (für Details siehe u. a. folgende neuere Reviews: DAF (2013); FAO (2006, 2009a,b, 2013); Foley et al. (2011); Godfray et al. (2010); Hristov et al. (2013); Kebreab (2013); Reynolds (2010); Schwerin et al. (2013)). Dabei sind die Züchtung von Pflanzen (s. Flachowsky et al. (2013)) und Tieren (s. Niemann et al. (2011) Forabosco et al. (2013)) als wissenschaftliche Startpunkte der Nahrungskette und der Bereitstellung weiterer Rohstoffe für den Menschen zu betrachten. Die Erwartungen an die Landwirtschaft sind dabei u. a. durch die 6F's (Food, Feed, Fuel, Fibre, Flower und Fan bzw. Lebensmittel, Futtermittel, Energie, Faser, nicht essbare Gartenprodukte, Erholungsareal bis zur Erzeugung von Genussmitteln; Aerts (2012)) gekennzeichnet. Die 6F's müssen unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen erzeugt bzw. bereitgestellt werden. Der landwirtschaftlichen Nutzfläche (global annähernd 5 Mrd. ha) und dabei vor allem der begrenzten Ackerfläche (etwa 1,5 Mrd. ha; FAO (2009a)) kommt eine herausragende Bedeutung bei der Erzeugung zunehmender Mengen an qualitativ hochwertigen und sicheren Lebensmitteln zu. Erhöhte Ressourceneffizienz, nachhaltige Intensivierung und Emissionsminderung bzw. **„mehr (landwirtschaftliche Produkte) für mehr (Menschen) mit weniger (Ressourcen und Emissionen)“** sind Schlagworte unserer Zeit, die zunehmend an Bedeutung gewinnen. In diesem Zusammenhang ist auch die Balance zwischen den globalen Ressourcen und den entstehenden Emissionen („Wohlbefinden“ des „**Planeten**“), den auf dem Planeten lebenden und arbeitenden Menschen (Soziales und ethisches Wohlbefinden der „**People**“) und dem Streben nach (maximalem) Gewinn (Ökonomie des Wirtschaftens; „**Profit**“) zu erwähnen (Balance im **3P-Konzept**, nach Boonen et al. (2012)).

Folgende Herausforderungen und Schwerpunkte können somit auch für die „Pflanzen- und Tierforschung“ in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung des VDLUFA abgeleitet werden:

- Intensive Grundlagenforschung (Pflanze und Tier) zur erhöhten Ressourceneffizienz bei der Erzeugung von hochwertiger phytogener Biomasse und tierischen Produkten
- Komplexe Denk- und Arbeitsansätze entlang der gesamten Nahrungskette (Erfassung der Ein- und Austräge; Ernährungssicherung und hohe Lebensmittelsicherheit)
- Entwicklung und Weiterentwicklung von Analysemethoden zur Kontrolle des Gehaltes an erwünschten und unerwünschten Inhaltsstoffen in Böden, Pflanzen sowie Futter- und Lebensmitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft
- Wieder-Etablierung der nahezu vernachlässigten Fachdisziplinen Grünlandwirtschaft und Futtermittelkunde in Lehre und Forschung an den Universitäten und Fachhochschulen
- Bewertung der „Forschungslandschaft“ in Deutschland (z. B. Universitäten, FHS, Bundesforschung, Forschungs-Institute der Leibniz- und Helmholtz-Gesellschaften, aber auch KTBL und Industrieforschung), um herauszufinden, was „offen“ ist und wo sich der VDLUFA evtl. mit einbinden kann.

Das Generalthema des 125. VDLUFA-Kongresses als Jubiläumsveranstaltung lautet „Untersuchen – Bewerten – Beraten – Forschen“. Dabei müsste eigentlich das Forschen vor dem Bewerten und Beraten stehen, denn ohne Forschung sind kaum eine Bewertung und noch weniger eine fundierte Beratung möglich. Unter diesen Leitworten wird nachfolgend eine Analyse der Arbeit des VDLUFA vorgenommen und es wird versucht, Herausforderungen für die weitere Arbeit des VDLUFA abzuleiten.

2. Aufgaben des VDLUFA

Aus der Satzung des VDLUFA können u. a. folgende Aufgaben für den Verband abgeleitet werden:

Förderung des Untersuchungs- und Forschungswesens auf den Gebieten der Landwirtschaft und Umwelt. Dieser Auftrag gilt vor allem für folgende Fachdisziplinen:

- Pflanzenernährung und Düngemittel
- Boden und Ressourcenschutz
- Saatgut
- Tierernährung und Futtermittel
- Milchwirtschaft
- Qualität pflanzlicher und tierischer Erzeugnisse
- Biotechnologie
- Umweltanalytik

Der Auftrag verdeutlicht, dass Untersuchen, Bewerten, Beraten und Forschen entlang der gesamten Nahrungskette „Boden – Pflanze – Futtermittel – Tier – Mensch“ zu den Arbeitsaufgaben des VDLUFA gehören. Der VDLUFA hat demnach wie kaum eine andere Einrichtung die gesamte Nahrungskette im Blick und in der wissenschaftlichen Bearbeitung und er sollte ein gefragter Kooperationspartner für alle auf diesem Gebiet arbeitenden Forschungseinrichtungen sein.

In der Satzung des VDLUFA sind u. a. auch folgende Aufgaben formuliert:

- Entwicklung und einheitliche Anwendung geeigneter und standardisierter Untersuchungsmethoden
- Qualitätssicherung und einheitliche Bewertung der Untersuchungsergebnisse
- Erstellung abgestimmter Stellungnahmen zu aktuellen Fachthemen
- Vertretung des VDLUFA in Gremien (national und international)
- Internationale Kooperation.

Die Aufgaben des VDLUFA können demnach in „Untersuchen – Bewerten – Beraten – Forschen“ für Landwirtschaft, Umwelt- und Verbraucherschutz zusammengefasst werden. Die sich daraus ergebenden Ansprüche und Erwartungen an die Arbeit des VDLUFA aus der Sicht der Forschung auf dem Gebiet der Pflanzen- und Tierproduktion werden nachfolgend an ausgewählten Beispielen analysiert und bewertet.

3. Ansprüche/Erwartungen an die Arbeit des VDLUFA aus der Sicht der Pflanzen- und Tierproduktion

An die Arbeit des VDLUFA ergeben sich aus Sicht der Pflanzen- und Tierproduktion u. a. folgende Ansprüche/Erwartungen:

- Entwicklung und Weiterentwicklung von Analysemethoden zur Kontrolle des Gehaltes an erwünschten und unerwünschten Inhaltsstoffen in Boden, Pflanzen sowie Futter- und Lebensmitteln (s. 3.1)
- Zeitnahe Verfügbarkeit (Veröffentlichung) entwickelter bzw. weiter entwickelter Analysemethoden (s. 3.1 und 3.2)
- Stärkere Präsenz des VDLUFA an Lehr- und Ausbildungsstätten (Unis, FHS etc.), Wecken von Interesse am VDLUFA bei jungen Agrarwissenschaftlern
- Stärkere Einbindung des VDLUFA in komplexe Versuchsansätze bis zur Organisation und Leitung von Projekten bzw. Netzwerken
- Hilfestellung zum Schutz der Landwirte vor Scharlatanerie (z. B. Vermeidung von Überdosierungen bei Zusatzstoffen; Verkauf von Substanzen als Zusatzstoffe, deren Einsatz zwar „erlaubt“, aber weitgehend sinnlos ist, s. 3.4)
- Entwicklung des VDLUFA zum Sprachrohr einer wissenschaftlich basierten Pflanzen- und Tierproduktion (auch gegenüber der Politik)
- Weitere Verbesserung der Öffentlichkeitsarbeit (Aktualisierung der Analysebände/-vorschriften; Durchführung interessanter Tagungen, Herausgabe von Fachbüchern und (wieder) einer Fachzeitschrift („Landwirtschaftliche Forschung und Analytik“ bzw. „Agrobiological Research“; s. 3.2)
- Vernetzung und Abstimmung der Analyseverfahren im internationalen Maßstab (EU); gemeinsame Tagungen zu verschiedenen Themen

Verschiedene Ansprüche/Erwartungen werden nachfolgend an ausgewählten Beispielen etwas detaillierter betrachtet.

3.1 Entwicklung/Weiterentwicklung und Veröffentlichung von Methoden

Die regelmäßige Überprüfung/Überarbeitung „alter“ VDLUFA-Methoden und die Entwicklung neuer Methoden und die zeitnahe Publikation in wissenschaftlichen Zeitschriften sowie in Methodenbüchern zählen zu den Hauptaufgaben des VDLUFA und stehen bezüglich der Erwartungen der Anwender ganz oben. Die Qualitätssicherung der Methoden, entsprechende Ringuntersuchungen sowie die Festlegung von Analysenspielräumen gehören ebenfalls zu diesem Aufgabenfeld.

Als wichtige Herausforderungen auf analytischem Gebiet werden u. a. neue Analysen zu verschiedenen Themen gesehen, wie z. B. eine weiter entwickelte

und vertiefende Faseranalytik, aber auch die Ermittlung der Bindungsform der zunehmend in der Tierernährung empfohlenen organisch gebundenen Spurenelemente, die Analytik von Nanopartikeln oder von Wirksubstanzen in „Botanicals“ und pflanzlichen Extrakten, die zunehmend als Futterzusatzstoffe in der Tierernährung mit unterschiedlichsten „Heils-Versprechen“ angeboten werden. Gerade über diese extrem vielfältige Substanzgruppe ist relativ wenig bezüglich nachteiliger oder vielleicht gar toxischer Wirkungen bekannt. Über die Genotoxizität und/oder Karzinogenität verschiedener Substanzen liegen jedoch bereits seit längerem erste Ergebnisse vor (z. B. EFSA, 2005; Barlow et al., 2006).

Ein Zusatz zu verschiedenen Futtermischungen könnte auch zu einem Transfer in Lebensmittel tierischer Herkunft und damit in die Nahrungskette führen, denn die traditionelle Nutzung von Pflanzen als Heilkräuter, Tee oder in Kosmetika garantiert nicht automatisch ihre Sicherheit bei der Verwendung als Futterzusatzstoffe (van den Berg et al., 2011). Obwohl gegenwärtig kein zentralisiertes Zulassungsverfahren auf EU-Ebene für die Verwendung pflanzlicher Stoffe und Zubereitungen besteht, ist zu erwarten, dass vertiefende Untersuchungen erfolgen werden. Die EFSA (2009) hat bereits einen Leitfaden zur Unterstützung der Sicherheitsbewertung pflanzlicher Materialien und Zubereitungen für die Verwendung als Nahrungsergänzungsmittel veröffentlicht, dessen Eignung getestet wurde (Speijers et al., 2010). Eine Kontrolle des Einsatzes derartiger Substanzen und gegebenenfalls eine strengere Regulation in der Tierernährung setzt eine verlässliche Analytik im Futter und in Tierprodukten voraus.

3.2 Wieder-Herausgabe einer wissenschaftlichen Zeitschrift

Obwohl der VDLUFA über verschiedene Publikationsorgane verfügt bzw. verfügte, wie z. B.

- Mitteilungen (seit 2009, 2 x jährlich)
- Kongressbände (seit 1989, jährlich)
- Schriftenreihe (1982-2000)
- Positionspapiere (2001-2012)
- Standpunkte (1996-2007),

fehlt eine wissenschaftliche Zeitschrift, in der zeitnah über entwickelte bzw. weiter entwickelte Analysenmethoden und entsprechende wissenschaftliche Ergebnisse informiert wird. Diese Feststellung ist umso bedauerlicher, da der Verband über mehr als 50 Jahre (beginnend 1949 mit der „Landwirtschaftlichen

Forschung“, deren Titel 1990 in „Agrobiological Research“ geändert wurde und die 1999 das letzte Mal erschien) eine national und international geachtete Zeitschrift einschl. verschiedener Sonderhefte heraus gab. Der Kongressband und die oben erwähnten, z. T. sporadisch erscheinenden Publikationen, können ein solches Periodikum national kaum und international nicht ersetzen. Aus diesen Feststellungen resultieren aus der Sicht der Forschung auf dem Gebiet der Pflanzen- und Tierproduktion Wunsch und Hoffnung der Wieder-Herausgabe einer wissenschaftlichen Zeitschrift des VDLUFA. Eine derartige Zeitschrift sollte in Englisch oder zweisprachig erscheinen, über einen internationalen wissenschaftlichen Beirat mit Gutachterfunktion verfügen, sich als Zeitschrift für Agrarbiologie, Agrikulturchemie und Ökologie betrachten (Themenvorschlag: „Agricultural Research and Analytics“) und vor allem folgende Felder/Disziplinen abdecken:

- Zeitnahe Veröffentlichung neu entwickelter bzw. weiter entwickelter Analysenmethoden, aber auch neuer oder weiter entwickelter „Versuchs-Ansätze“ mit Pflanzen und Tieren
- Beispiele zur Anwendung derartiger Methoden zur Kontrolle des Gehaltes an erwünschten und unerwünschten Inhaltsstoffen in Boden, Pflanzen, Futter- und Lebensmitteln sowie im Tier
- Ergebnisse von Methodenvergleichen zwischen verschiedenen Laboratorien
- Publikationen zur Bodenkunde, Pflanzenernährung, Grünlandwirtschaft, Futtermittelkunde, Tierfütterung und verschiedenen interdisziplinären Themen, für die gegenwärtig kaum wissenschaftliche Publikationsorgane vorhanden sind; damit wäre auch eine überregionale Verbreitung von Ergebnissen möglich, die sonst in lokalen Informationsblättern oder -broschüren „untergehen“ (s. Beispiel in 3.4)
- Diese Zeitschrift könnte auch Übersichtsarbeiten aufnehmen, die gegenwärtig als Positionspapiere/ Standpunkte zu aktuellen Fachthemen (s. 3.2) vom VDLUFA herausgegeben werden

An Manuskripten, wie im Anschluss an diesen Beitrag diskutiert, dürfte es nicht fehlen. Wenn man beispielsweise nur die Programme der letzten beiden VDLUFA-Jahrestagungen betrachtet, dann wurden 2012 in Passau 110 Vorträge und Poster sowie 10 Plenarbeiträge präsentiert, in diesem Jahr waren es laut Programm in Berlin 153 Beiträge und 7 Plenarvorträge. Wenn unterstellt wird, dass von diesen Beiträgen die Hälfte für eine wissenschaftliche Zeitschrift geeignet ist und das davon noch einmal die Hälfte der Referenten willig ist, das Manuskript entsprechend den Vorgaben einer Zeitschrift auch in Englisch auf-

zubereiten, dann dürfte uns eigentlich um eine Wiederbelebung einer VDLUFA-Zeitschrift aus der Sicht der Manuskriptbereitstellung nicht bange sein. Neben dem früheren Spektrum sollte die Zeitschrift u. a. auch Forschungs-Methoden in der Pflanzen- und Tierproduktion mit abdecken. Möglicherweise könnte man auch Inhalte von weiteren „verschwundenen“ Zeitschriften (z. B. „Das Wirtschaftseigene Futter“) oder andere Interessengruppen mit „einfangen“ und für eine derartige Zeitschrift begeistern. Die Finanzierung und die Frage, wer kümmernt sich intensiv um eine solche Zeitschrift, sind natürlich auch Aspekte, die vorher einer Klärung im VDLUFA bedürfen.

3.3 Anregungen für Positionspapiere/Standpunkte zu aktuellen Fachthemen

In den zurückliegenden Jahren wurden aktuelle Themen weitgehend sporadisch als „Standpunkte“ und „Positionspapiere“ (s. 3.1) veröffentlicht. Diese Papiere sind in Print-Versionen oder über die Internet-Seiten des VDLUFA verfügbar. Derartige Publikationen sollten vermutlich an die Stelle der vorher vorhandenen Zeitschrift treten (s. 3.2, Standpunkte von 1996-2007; Positionspapiere von 2001; gegenwärtig letzte Ausgabe: Mai 2012), konnten diese jedoch nicht ersetzen. Ihr Bekanntheitsgrad blieb vermutlich auf „Insider“ und national begrenzt, da sie nicht das Niveau einer Zeitschrift erreicht(en).

Von den bisher erschienenen Standpunkten beschäftigen sich 13 mit dem Komplex Boden/Pflanze, 4 mit Futtermitteln und ein Beitrag mit Analytik. Bei den Positionspapieren haben 5 Boden/Pflanze, 1 Futtermittel und 6 Analytik (davon 5 zum Nachweis von gentechnisch veränderten Bestandteilen in Futtermitteln) zum Inhalt. Nahezu alle Beiträge könnten auch als Übersichten in einer VDLUFA-Zeitschrift erscheinen.

Verschiedene und vor allem komplexe Themen, die in den Kompetenzbereich des VDLUFA fallen, wurden bisher nicht oder nicht befriedigend in Positionspapieren/Standpunkten abgearbeitet, wie z. B.:

- Zweckmäßigkeit von „Life Cycle Assessments“ (LCA)
- Bewertung der grünen Gentechnik (Biotechnologie) in der bzw. für die Landwirtschaft
- Bedeutung der Biodiversität (für zukünftige) Generationen
- Konsequenzen von Klimaänderungen/Extremwetterereignissen für die Landwirtschaft

- Ressourceneffizienz und Emissionen bei der Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte
- Bedeutung der Nanotechnologie für die Landwirtschaft.

Exemplarisch sollen einige der oben angeführten Themen etwas näher betrachtet werden. Es besteht Übereinstimmung, dass die Pflanzenzüchtung der Startpunkt einer nachhaltigen Erzeugung großer Mengen hochwertiger phytogener Biomasse ist. Die effiziente Nutzung begrenzt verfügbarer Ressourcen, wie Wasser, Ackerland, fossile Energie und andere Rohstoffe, die erhöhte Toleranz der Pflanzen gegen biotische und abiotische Stressoren, die Anpassung an bereits eingetretene bzw. zu erwartende Klimaänderungen, ein geringer Gehalt an unerwünschten Inhaltsstoffen und ein hoher Gehalt an Wert bestimmenden Inhaltsstoffen sind echte Herausforderungen für die Pflanzenzüchtung. Viele dieser Ziele können mit herkömmlichen Methoden der Pflanzenzüchtung realisiert werden. Andererseits sollten aber Möglichkeiten der Pflanzenzüchtung, deren Potential noch nicht voll erkannt und keineswegs ausgeschöpft ist, nicht vernachlässigt oder gar ignoriert werden, wie es momentan mit der grünen Biotechnologie (Gentechnik) in Deutschland und Europa geschieht (s. auch Flachowsky, 2013). Es steht außer Frage, dass in den „Anfangsjahren“ der grünen Gentechnik in Europa Fehler gemacht wurden, so dass sich ein Großteil der Bevölkerung einer „unbekannten“ Technologie ausgesetzt fühlte. Wenig erfreulich ist auch, dass diese Methode nahezu ausschließlich von einigen global agierenden Konzernen dominiert wird und dass zumindest in Europa die öffentlich geförderte Forschung (abgesehen von Sicherheits-Forschung) wegen Finanz-Engpässen und der öffentlichen Meinung auf diesem Gebiet kaum aktiv ist. Andererseits darf nicht übersehen werden, dass im globalen Maßstab im Jahre 2012 bereits 170 Mio. ha gentechnisch veränderte Pflanzen angebaut wurden (James, 2013), was etwa 11 % der weltweit genutzten Ackerfläche entspricht. Aus den oben angeführten Gründen und der im Ergebnis der Klimaänderung zu erwartenden größer werdenden Lücke zwischen Entwicklung der pflanzlichen Erträge und erforderlichen Menge an phytogener Biomasse (Whitford et al., 2010) erscheinen entgegen dem in der Gesellschaft vorherrschenden „Main stream“ objektive Informationen der Öffentlichkeit notwendig, die durchaus in Form eines Positionspapiers oder eines Standpunktes des VDLUFA erfolgen könnten.

Sehr bedeutsam erscheinen auch Informationen über mögliche Konsequenzen von Klimaänderungen und/oder Extremwetterereignissen für die Landwirtschaft (Reynolds, 2010; Whitford et al., 2010). In einem Positionspapier zu

Klimaanpassungsstrategien hat sich kürzlich die Deutsche Gesellschaft für Züchtungskunde (DGfZ; Schwerin et al., 2013) zu diesem Thema geäußert, in dem auch viele Aspekte des Pflanzenbaus und der Tierernährung und damit VDLUFA-relevante Sachverhalte angesprochen werden, wie z. B.:

- Mindererträge bis Ertragsausfälle infolge Trockenheit, Hitze, Extremwetterlagen u. a.
- Schnellere und stärkere Lignifizierung der Futterpflanzen; Absenkung von Verdaulichkeit und Futterwert
- Verbesserte Futtermittelswirtschaft gegen Ertragsausfälle (mehr Konservate, Nutzung von Nebenprodukten u. a.)
- Verstärkte Futtermittelanalytik, um die Veränderungen in den Futtermitteln zu erfassen und die Fütterung entsprechend anzupassen
- Veränderte Fütterungstechnik (z. B. erhöhtes Futterangebot bei niedrigen Temperaturen)

Ähnliche Beispiele könnten auch zu anderen Vorschlägen der oben aufgelisteten Positionspapiere/Standpunkte zusammengetragen werden.

3.4 Sonstige Themen

Unter dieser Überschrift werden Beispiele für verschiedene Herausforderungen zusammengefasst, die ebenfalls auf den VDLUFA „warten“. Dazu gehören u. a.:

- stärkere Präsenz des VDLUFA in Lehr-, Ausbildungs- und Forschungseinrichtungen
- die Vernetzung des VDLUFA in komplexen Forschungsansätzen, Einbindung in Forschungsanträge
- Schutz der Landwirte vor „Scharlatanerie“.

Der letztgenannte Aspekt soll an Beispielen aus der Tierernährung etwas näher betrachtet werden. Dabei sind Überdosierungen von lebensnotwendigen Nährstoffen, wie z. B. von Mengen- und Spurenelementen sowie Vitaminen und der Einsatz verschiedener nicht-essentieller Futterzusatzstoffe zu erwähnen.

Steinhöfel et al. (2013) haben kürzlich die Spurenelementversorgung von Milchrindern in elf Referenzbetrieben in Sachsen mit insgesamt 11 230 Tieren untersucht. Sie gelangten zu der Einschätzung, dass ohne Berücksichtigung der Spurenelementgehalte der Einzelfuttermittel (Grund- und Kraftfutter) im Mittel 190 (Zink) bis 230 % (Kupfer, Selen) des ernährungsphysiologischen Bedarfes

(GfE, 2011) zugesetzt wurden, in Einzelfällen waren es bis 390 %. Eine derartige bedarfsübersteigende Versorgung der Tiere ist auch von erheblicher Umweltrelevanz, da die Überschüsse ausgeschieden werden und über den Dünger auf den Acker gelangen können. Die von Steinhöfel et al. (2013) zusammengetragenen Daten und die kritische Auswertung der Befunde hat weit über Sachsen hinausgehend Bedeutung und wäre ein sehr geeigneter Beitrag für die vorn angesprochene VDLUFA-Zeitschrift (s. 3.2).

Ein anderes Beispiel unter der Überschrift „Schutz vor Scharlatanerie“ wäre die Auseinandersetzung mit dem Einsatz nicht lebensnotwendiger Zusatzstoffe in der Tierernährung. Gegenwärtig ist der Trend zu beobachten, dass verschiedene, in der Humanernährung gängige Nahrungs-Ergänzungsmittel auch als Futter-Zusatzstoffe angeboten werden können, wie z. B. Betain, Carnitin, Inositol, das Enzym Q10 (Ubichinon) und verschiedene „Botanicals“ und pflanzliche Extrakte (s. 3.1). Dabei ist zu berücksichtigen, dass für viele dieser Substanzen keine „belastbaren“ Ergebnisse aus Dosis-Wirkungs-Studien mit Lebensmittel liefernden Tieren vorliegen. Im Unterschied zum Menschen, der selbst entscheiden kann, ob er an die Wirkungen entsprechender Substanzen „glaubt“ und sie aufnimmt, erfolgt beim Tier durch den Zusatz zum Futter eine Art „Zwangs-Medikation“ und die Substanzen können evtl. über Milch, Fleisch und/oder Eier in die Nahrungskette (s. 3.1) gelangen.

Für derartige und weitere Herausforderungen wäre „unabhängiger“ Sachverstand dringend erforderlich, der sich auch in entsprechenden Beratungen niederschlagen sollte.

4. Schlussfolgerungen

Die Überprüfung/Überarbeitung „alter“ und die Entwicklung neuer Methoden sowie deren zügige Publikation (auch in Englisch) gehören zu den Kernaufgaben des VDLUFA.

Eine weitere Verbesserung/Strukturierung der Öffentlichkeitsarbeit des VDLUFA, vor allem durch die Wieder-Herausgabe einer wissenschaftlichen Zeitschrift (in Englisch) sowie die zeitnahe Positionierung zu aktuellen Fragen der Pflanzen- und Tierproduktion und zu agrarpolitischen Themen (beispielsweise in „Standpunkten“ oder „Positionspapieren“) können die wissenschaftliche Ausstrahlung des Verbandes wesentlich erhöhen.

Untersuchen und **Forschen** sowie auf der Basis dieser Ergebnisse **Bewerten** und **Beraten** sollten auch in Zukunft die Kernelemente der Arbeit des VDLUFA sein und bleiben.

5. Literaturangaben

- Aerts, S., 2012: Agriculture's 6 F's and the need for more intensive agriculture. In: Climate change and sustainable development. ed. by T. Potthast and S. Meisch, Wageningen Acad Publ. 192-195.
- Barlow, S., Renwick, A.G., Kleiner, G., Bridges, J.W., Busk, L., Dybing, E., Edler, L., Eisenbrand, G., Fink-Gremmels, J., Knaap, A., Kroes, R., Liem, D., Muller, D.J.G., Page, S., Rolland, V., Schlatter, J., Tritscher, .A., Tueting, W., Wurtzen, G., 2006: Risk assessment of substances that are both genotoxic and carcinogenic. Food Chem. Toxicol. 44, 1636-1650.
- Boonen, R., Aerts, S., De Tavernier, L., 2012: Which sustainability suits you? In: Climate change and sustainable development; ed. by T. Potthast and S. Meisch, Wageningen Acad. Publ. 43-48.
- DAF (Dachverband Agrarforschung), 2013: Klimawandel und Extremwetterereignisse: Ein Problem für die Landwirtschaft? Wissenschaftliche Tagung des DAF am 07./08.11.2012 im Thünen-Institut, Braunschweig. DLG-Verlag GmbH, Frankfurt, 162 S.
- EFSA, 2005: Opinion on the Scientific Committee of a request from EFSA related to a harmonised approach for risk assessment of substances which are both genotoxic and carcinogenic. URL: <http://www.efsa.europa.eu/supporting/doc/280r.pdf>.
- EFSA, 2009: Guidance on safety assessment of botanicals* and botanical preparations** intended for use as ingredients of food supplements. EFSA Journal 7(9): 1249.
- FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations), 2006: Livestock's long shadow. Environmental issues and options. Rome, 365 p.
- FAO, 2009a: How to feed the world in 2050. Rome, 120 p.
- FAO, 2009b: The state of food and agriculture: Livestock in the balance. Rome, 164 p.
- FAO, 2013: FAO Statistical Yearbook 2013. World food and agriculture. Rome, 289 p.
- Flachowsky, G., 2013: Animal nutrition with transgenic plants. CABI Wallingford/ Cambridge, 250 p.

- Flachowsky, G., Meyer, U., Grün, M., 2013: Plant and animal breeding as starting points for sustainable agriculture. In: "Sustainable Agriculture Reviews (ed. by E. Lichtfouse), 12, 201-224.
- Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mouller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., Zaks, D.P.M., 2011: Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478, 337-342.
- Forabosco, F., Lohmus, M., Rydhmer, L., Suindstrom, L.F., 2013: Genetically modified farm animals and fish in agriculture: A review. *Livestock Science* 153, 1-9.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 151 S.
- Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M., Toulmin, C., 2010: Food security: The challenge of feeding 9 Billion people. *Science* 327, No. 596, 812-818.
- Hristov, A.N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J., Oosting, S., 2013: Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production – A review of technical options for non-CO2 emissions. Edited by Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson and Harinder P.S. Makkar. FAO Animal Production and Health Paper No. 177. FAO, Rome, 206 p.
- James, C., 2013: Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2012. ISAAA, Ithaca, New York.
- Kebreab, E., 2013: Sustainable animal agriculture. CABI Wallingford/Cambridge, 336 p.
- Niemann, H., Kuhla, B., Flachowsky, G., 2011: The perspectives for feed efficient animal production. *J. Anim. Sci.* 89, 4344-4363.
- Reynolds, M.P., 2010: Climate change and Crop Production. CAB International, Wallingford, UK, and Cambridge, USA, 320 pp.
- Schwerin, M., Bongartz, B., Cramer, H., Eurich-Menden, B., Flachowsky, G., Gauly, M., Heißenhuber, A., Höppner, D., Ingwersen, J., Marquardt, O.-W., Menzel, A., Osterburg, B., Taube, F., Wittkowski, G., 2012: Positionspapier der DGfZ-Projektgruppe Klimarelevanz in der Nutztierhaltung. *Züchtungskde.* 84, 103-128.

- Speijers, G., Bottex, B., Dusemund, B., Lugasi, A., Toth, J., Amberg-Müller, J., Galli, C.L., Silano, V., Rietjens, I.M.C.M., 2010: Safety assessment of botanicals and botanical preparations used as ingredients in food supplements: Testing an European Food Safety Authority-tiered approach. *Mol. Nutr. Food Res.* 54, 175-185.
- Steinhöfel, O., Fröhlich, B., Zentek, J., Kriesten, A., Männer, K., 2013: Untersuchungen zur Spurenelementversorgung von Milchrindern. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 14, 2, 50 S.
- Van den Berg, S.J.P.L., Serra-Majem, L., Coppens, P., Rietjens, I.C.M.C., 2011: Safety assessment of plant food supplements (PFS). *Food & Function* 2, 760-768.
- Whitford, R., Gilbert, M., Langridge, P., 2010: Biotechnology in agriculture. In: M.P. Reynolds (Editor). *Climate Change and Crop Production*. CABI Wallingford/Cambridge, pp. 219-2.

Anforderungen an die Arbeit des VDLUFA von Seiten der Beratung

J. Opperer

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

1. Einleitung

Die Struktur und die Aufgaben der Ressort-Forschungseinrichtungen der Länder haben sich in den vergangenen Jahren auseinander entwickelt. Das Messen und Bewerten sind wichtige Grundlagen der Beratung. In diesen Bereichen erwarten sich die Ländereinrichtungen eine Unterstützung durch die Arbeiten des VDLUFA, auch wenn eine Beratung nicht durchgehend angeboten wird.

2. Zum Begriff „Beratung“

Beratung leistet Entscheidungshilfen für Ratsuchende durch Kommunikation, damit diese ihre Probleme eigenständig lösen können. Beratung ist damit eine über die Informationsvermittlung hinausgehende, auf eine oder mehrere Adressaten zugeschnittene Aufbereitung des Wissens. Der Berater ist dem Wohl des Beratungssuchenden verpflichtet, ohne die Gemeinwohlinteressen außer Acht zu lassen. Sie ist in der Regel zeit- und personalaufwendig.

3. Landwirtschaftsberatung

Heute wird Beratung für die Landwirtschaft von staatlichen Stellen (stark eingeschränkt), von Kammern, von Beratungs- und Selbsthilfeorganisationen, Firmen, privaten und kirchlichen Einrichtungen angeboten. Steht bei staatlichen Stellen das Gemeinwohl im Vordergrund, darf das bei privaten Einrichtungen und Firmen nicht als selbstverständlich vorausgesetzt werden.

Wenn man eine Bürgergesellschaft will und die Sozialpflichtigkeit des Eigentums ernst nimmt, muss der Staat nicht alles bis ins letzte Detail regeln. Bei der Beratung steht ihm aber eine dirigierende Funktion und aktive Handlungsrolle zu. Dies gilt besonders dann, wenn Beratung wieder als wirksames und ziel-

gerichtetes Instrument für die Einleitung positiver öffentlicher Entwicklungen erkannt wird.

4. Die aktive Rolle des VDLUFA

Das Aufgabenspektrum des VDLUFA wird bei der diesjährigen Jubiläumstagung mit den Worten „Untersuchen, Beraten, Bewerten, Forschen“ plakativ beschrieben. Davon sind aus der Sicht der Länderbehörden (2013) die Bereiche „Untersuchen“ und „Bewerten“ von besonderer Bedeutung.

Im Detail geht es um folgende Aufgaben:

- Methodenentwicklung
- Qualitätssicherung, vor allem über Ringversuche
- Vereinheitlichung von Analysemethoden und darauf basierende Berechnungen
- Erarbeitung von Methoden Kennzahlen
- Festlegung von Nachweis- und Bestimmungsgrenzen

Außerdem werden vom VDLUFA erwartet, dass er

- ein flächendeckendes Angebot von unabhängigen Laboren für Forschung, Hoheitsvollzug und für die Wirtschaft sicherstellt,
- die Ergebnisse von Fachgruppenarbeiten in internationale Gremien einbringt und auf EU-Ebene durchsetzt.

5. Beratung und Forschung

Praxisorientierte Forschung und Beratung stehen in einer engen Wechselbeziehung. Die Forschungsergebnisse werden über die Beratung zielgerichtet an die Kunden weitergegeben. Die Forschung hat ihr Ziel erreicht, wenn ihre Ergebnisse in Innovationen münden. Umgekehrt fließen die Erfahrungen der Praxis in die Formulierung und Umsetzung von Forschungsprojekten ein.

Das Messen und Bewerten bildet in den naturwissenschaftlichen Disziplinen, zu denen die Agrar-, Umwelt- und Veterinärwissenschaften gehören, die Grund-

lage jeder fachlichen Entscheidung (Beratung). Messwerte allein können in der Regel nur einen Teil der Wirklichkeit beschreiben. Erst die Bewertung und Interpretation führt zu brauchbaren Ergebnissen.

6. Erwartungen der Beratung an den VDLUFA

Die Aktivitäten des VDLUFA (Untersuchen und Bewerten) sind in jedem Fall beratungsrelevant.

Sie sollen in den einschlägigen Bereichen mittelbar und unmittelbar ein sicheres Fundament für sachgerechte Antworten liefern. Gewünscht wird ein möglichst hohes Maß an belastbaren Messungen. Schätzungen sollten nur dort erfolgen, wo Messungen aus zeitlichen, finanziellen und technischen Gründen (noch) nicht möglich sind.

Als Dachverband soll der VDLUFA nicht den Einzelfall, z. B. einen einzelnen Betrieb oder ein einzelnes Messergebnis im Fokus haben, sondern Lösungen mit breitem Gültigkeitsspektrum entwickeln. Er soll aber auch darauf hinweisen, wo die Grenzen von Pauschalaussagen liegen. VDLUFA-Standpunkte können diese Ansprüche erfüllen.

Für die Beantwortung akut auftretender Fragen der Beratung müssen die Antworten schnell und möglichst kostengünstig gefunden werden. Dies erfordert zum Beispiel Hochdurchsatz-Untersuchungstechniken. Dafür muss das Spektrum der Kalibrierungen erweitert und mit zeitnah ausgewerteten Ringversuchen abgesichert werden.

Gewünscht ist außerdem eine zügige Anpassung von Methoden an die in die Praxis neu eingeführten Techniken (z. B. Silageuntersuchungen). Gefragt ist aber auch eine nicht manipulierbare Analytik als Voraussetzung für eine objektive Bewertung der Produktions- und Umwelteffizienz unterschiedlicher Produktionsverfahren. Als Ergebnis der stetigen Analyse von Messergebnissen sollen bestehende Lehrmeinungen ständig hinterfragt werden.

Bei weniger populären Hinweisen und Aussagen gegenüber Landwirtschaft, Politik und Gesellschaft soll der VDLUFA eine Rückversicherungsmöglichkeit bieten. In unserem föderalen System soll er eine fachliche Klammer bilden und

dazu beitragen, dass Fakten nicht in Form länderspezifischer Einzelmeinungen, sondern mit einer Stimme artikuliert werden.

Die Länder erwarten vom VDLUFA die Funktion einer nicht angreifbaren fachlichen Instanz, die über Ressortgrenzen hinweg die Richtung vorgibt und den fachlichen Austausch unterschiedlicher Einrichtungen fördert. Gleichzeitig soll er zwischen der Grundlagenforschung an den Universitäten und der angewandten Forschung an den Bundes- und Länderforschungseinrichtungen vermitteln.

7. Zusammenfassung

Die praxisorientierte Forschung und die Beratung hängen unmittelbar miteinander zusammen. Die dafür zuständigen Einrichtungen der Länder sehen die Aufgaben und Stärken des VDLUFA vor allem in der Analysenkompetenz und in der Bewertung von Ergebnissen. In diesen Aufgabenbereichen hat er ein Alleinstellungsmerkmal, was auch künftig eine aktive Mitwirkung der Fachleute der Länder in den Gremien des VDLUFA rechtfertigt.

8. Quellen

Leiter von Länderforschungseinrichtungen, Mitarbeiter/innen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 2013: Befragung, z. T. in Form strukturierter Interviews.

N-Mineraldüngeräquivalente und Humuswirkung von Gärprodukten im Feldversuch

H. Schröter, W. Zorn

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Problemstellung

In den letzten Jahren hat die Erzeugung von Biogas deutschlandweit erheblich zugenommen. Infolge dieser Entwicklung fallen im verstärkten Maße Gärprodukte an, die effizient und umweltverträglich in der Landwirtschaft einzusetzen sind. Im Vordergrund steht dabei die optimale Verwertung des Stickstoffes der Gärprodukte, der einerseits zu einer Einsparung des Zukaufs von mineralischen Stickstoffdüngern und andererseits zu einer Begrenzung der N-Emissionen in die Umwelt ermöglichen soll. Einen kontrovers diskutierten Gesichtspunkt stellt die Wirkung des Kohlenstoffabbaus bei Vergärung der Wirtschaftsdünger in der Biogasanlage auf die Humusreproduktion im Boden dar. Zum Teil werden infolge der geringeren Kohlenstoffzufuhr zum Boden langfristig negative Auswirkungen auf den Humusgehalt befürchtet. Aussagen zu beiden Sachverhalten sind nur auf Grundlage langjähriger Versuche möglich. Der nachfolgende Beitrag berichtet über Ergebnisse aus Thüringer Feld- und Mikroparzellenversuchen zur Humus- und Nährstoffwirkung von Gärresten aus der Biogaserzeugung.

2. Nährstoff- und Kohlenstoffgehalt von Gärprodukten

Die Vergärung der Substrate führt zu einer deutlich geänderten Zusammensetzung. Der Ammoniumanteil am Gesamtstickstoffgehalt erhöht sich im Mittel mehrjähriger Untersuchungen in Thüringer Biogasanlagen von ca. 40 % vor der Vergärung auf ca. 70 % nach der Vergärung. Parallel dazu ist der pH-Wert im Mittel von 6,7 auf 7,9 angestiegen. Die Gärprodukte sind infolge des Trockenmasseabbaus in der Biogasanlage dünnflüssiger als Gülle und können deshalb bei der Ausbringung schneller in den Boden eindringen. Demnach scheint die N-Düngewirkung der Gärprodukte im Vergleich zu Gülle besser kalkulierbar und gegebenenfalls höher zu sein. Andererseits besteht ein erhöhtes Risiko für Ammoniakemissionen in die Atmosphäre, was den Einsatz emissionsarmer Techniken bei der Ausbringung erfordert.

Die Zusammensetzung der Gärprodukte weist in Abhängigkeit von den eingesetzten Substraten eine erhebliche Spannweite auf. Für deren effiziente Verwertung in der Landwirtschaft und Bemessung der Gabenhöhe ist die anlagenspezifische Untersuchung der Gärprodukte auf Trockensubstanz- und Nährstoffgehalt (einschließlich $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt) sinnvoll. Die Erfahrungen zeigen, dass bei einem kontinuierlichen Betrieb der Biogasanlage und einheitlichem Substrateinsatz die Schwankungen der Zusammensetzung der Gärprodukte relativ gering sind.

Einen Hinweis auf die mögliche Streubreite der N-Gehalte und weiterer Parameter geben die Analysendaten der in Feldversuchen eingesetzten Gärprodukte (Tab. 1). Die Gärprodukte aus Speise- und Lebensmittelresten (GP-SLR) sowie aus Schweinegülle (GP-SG) besitzen niedrige Trockensubstanzgehalte von 3,6 bzw. 2,5 %, während die Gärprodukte aus vorwiegend nachwachsenden Rohstoffen und Mist (GP-Nawaro) über einen hohen TS-Gehalt von 12 % verfügen. Der für die Verwertung relevante Ammoniumanteil am Gesamtstickstoffgehalt liegt bei den Gärprodukten aus Speise- und Lebensmittelresten sowie aus Schweinegülle mit 85 bzw. 89 % deutlich höher im Vergleich zu den anderen untersuchten Rindergüllen (RG) und Gärprodukten. Die Nährstoffe Phosphor und Kalium gehen im Biogasprozess nicht verloren. Bei Aufwandmengen von z. B. $40 \text{ m}^3/\text{ha}$ ergeben sich Nährstofffrachten von 40 bis $110 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ bzw. 86 bis $290 \text{ kg K}_2\text{O}/\text{ha}$.

Tab. 1: Zusammensetzung der in den Feldversuchen verwendeten Güllen und Gärprodukte (Mittelwerte in %)

Parameter	Bad Salzung			Dornburg			
	RG	GP-RG	GP-SLR	RG	GP-RG	GP-Nawaro	GP-SG
TS	10,5	6,5	3,6	10,1	5,8	12,0	2,5
oTS	8,5	4,6	1,8	8,0	3,4	8,0	1,7
C_{org}	4,7	2,8	1,3	5,2	2,1	4,2	1,2
N_t	0,40	0,38	0,50	0,42	0,30	0,79	0,45
$\text{NH}_4\text{-N}$	0,21	0,26	0,42	0,21	0,19	0,51	0,40
% von N_t	52	68	85	50	63	65	89
pH-Wert	6,6	7,6	7,9	6,8	7,6	7,7	7,9

3. Versuchsdurchführung

Seit 2009 werden auf 2 Thüringer Ackerstandorten statische Feldversuche zur Ermittlung der Ertrags- und N-Düngewirkung von Gärprodukten im Vergleich zu Gülle und mineralischer N-Düngung (Kalkammonsalpeter) durchgeführt (Tab. 2). Zum Anbau kamen 2009 Silomais, 2010 Winterweizen, 2011 Wintergerste und 2012 Winterraps bzw. Weidelgras. Der N-Bedarf der einzelnen Kulturarten wird nach Stickstoffbedarfsanalyse der TLL (SBA) jährlich zu Vegetationsbeginn auf Grundlage prüfgliedweiser N_{\min} -Untersuchungen ermittelt und die Mengen der jeweiligen organischen Dünger nach ihrem Gesamt-N-Gehalt (N_t) ohne Abzug von Ausbringungsverlusten berechnet. Die Ausbringung der Gülle und Gärprodukte erfolgt mit Schleppschlauchtechnik jeweils in einer Gabe, zu Wintergetreide zum Zeitpunkt der 1. N-Gabe im Frühjahr zwischen die Reihen sowie zu Mais vor der Aussaat mit anschließender Einarbeitung. Die mineralische N-Düngung zu Wintergetreide wird in zwei Gaben geteilt sowie zu Mais als Gesamtgabe vor der Saat appliziert. Alle Versuche erhielten jährlich eine optimale Düngung mit P, K, Mg und S entsprechend der aktuellen Bodenuntersuchung.

Tab. 2: Feldversuche, Standorte und Versuchsvarianten

Standort	Dornburg	Bad Salzungen
Bodentyp	Lößparabraunerde	Braunerde
Bodenart	stark toniger Schluff	lehmiger Sand
Ackerzahl	70	32
Ø Jahrestemperatur	8,3 °C	7,7 °C
Ø Jahresniederschlag	584 mm	566 mm
Versuchsvarianten	1 Rindergülle 3 Gärprodukte Min. N-Düngung	1 Rindergülle 2 Gärprodukte Min. N-Düngung
Org. Düngung	kg N/ha über Brutto-N-Gehalt ¹⁾	
	Silomais: 160	Silomais: 160
100 % N-Bedarf	Winterweizen: 150	Winterweizen: 160
entspricht	Wintergerste: 140	Wintergerste: 130
	Winterraps: 200	2Weidelgras: 325

¹⁾kein Abzug von Ausbringungsverlusten

Die einheitliche Gesamt-N-Zufuhr über Gülle und Gärprodukt bedingt differenzierte $\text{NH}_4\text{-N}$ -Frachten der einzelnen organischen Dünger.

4. N-Mineraldüngeräquivalente in den Feldversuchen

Das N-Mineraldüngeräquivalent (N-MDÄ) der organischen Dünger errechnet sich aus dem Quotienten des Mehrertrages durch organische Dünger und des Mehrertrages durch mineralischen N-Dünger.

Die Tabellen 3 und 4 zeigen die N-MDÄ für beide Versuchsstandorte. Die N-MDÄ der Gärprodukte liegen sowohl in Bad Salzungen als auch in Dornburg über den Werten für die unvergorene Rindergülle. Mit steigendem $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil am Gesamt-N-Gehalt, das heißt auch mit zunehmender $\text{NH}_4\text{-N}$ -Fracht, steigt das N-MDÄ an. Dieser Zusammenhang weist auf die gute Pflanzenverfügbarkeit des $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehaltes der organischen Dünger hin, wobei die Wirkung des organisch gebundenen N der Gärprodukte und Gülle relativ gering ist.

Tab. 3: Jährliche und mittlere N-MDÄ (in %) im Vergleich zum $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil am Gesamt-N (Bad Salzungen 2009-2012)

Variante	% $\text{NH}_4\text{-N}$ an N_t	Silomais 2009	Winter- weizen 2010	Winter- gerste 2011	Weidel- gras 2012	Mittel ^{*)}
min. N	-	100	100	100	100	100
GP-SLR	85	116	98	153	80	98
RG	52	72	60	98	54	62
GP-RG	68	107	65	115	58	77

*) ohne Extremjahr 2011

Beide Versuchsstandorte unterscheiden sich hinsichtlich der Verfügbarkeit des Gärprodukt- bzw. Gülle-N (Abb. 1). Auf dem Buntsandsteinverwitterungsstandort Bad Salzungen liegt das N-MDÄ der organischen Dünger höher als auf der Lößparabraunerde in Dornburg. Das differenzierte Verhalten auf beiden Standorten könnte auf die schnellere Infiltration der organischen Dünger in den Boden in Bad Salzungen und möglicherweise geringere NH_3 -Emissionen zurückzuführen sein. Besonders deutlich trat dieser Effekt im Trockenjahr 2011 in Bad Salzungen in Erscheinung. Hier betrug das N-MDÄ beider geprüften Gärprodukte

über 100 %. Während der gedüngte Kalkammonsalpeter trockenheitsbedingt kaum zur Wirkung kam, war die N-Düngewirkung der trockensubstanzarmen Gärprodukte infolge der besseren Infiltration in den Boden deutlich besser.

Tab. 4: Jährliche und mittlere N-MDÄ (in %) im Vergleich zum $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil an Gesamt-N (Dornburg 2009-2012)

Variante	% $\text{NH}_4\text{-N}$ an N_t	Silo- mais 2009	Winter- weizen 2010	Winter- gerste 2011	Winter- raps 2012	Mittel
Min.. N	-	100	100	100	100	100
RG	50	29	44	37	60	42
GP-RG	63	61	77	51	73	66
GP-Nawaro	65	74	70	40	66	62
GP-SG	89	72	101	73	91	84

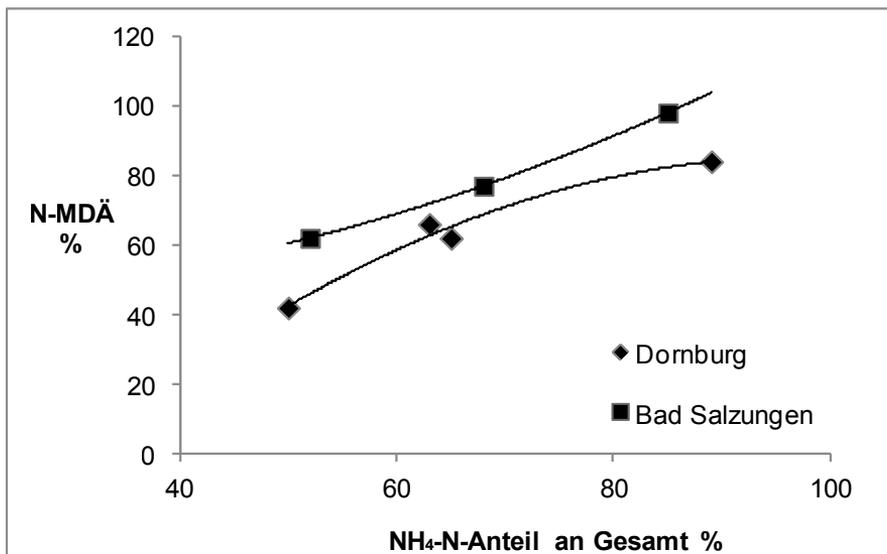


Abb. 1: Mittleres N-MDÄ von Gülle und Gärprodukten in Abhängigkeit vom $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil am Gesamt-N-Gehalt (2009-2012)

5. Humuswirkung im Mikroparzellenversuch

Auf 4 verschiedenen Böden (Löß, Gneis, Muschelkalk, Buntsandstein) wurden Gülle und Gärprodukte des Dornburger Versuches geprüft und bei Bedarf zusätzlich bewässert. Die Böden des Kastenparzellenversuches werden jährlich nach der Ernte der Hauptfrucht auf den Humusgehalt untersucht, um eventuell über die Wirkung langjähriger Gärprodukt- und Gölledüngung auf die Humusdynamik im Boden abzuleiten. Da die Mengenbemessung der organischen auf Grundlage ihres N-Gehaltes erfolgt, werden jährlich unterschiedliche Kohlenstoffmengen dem Boden zugeführt. Deshalb ist einfacher Vergleich der C-Stabilität von Gärprodukten im Vergleich zu Gülle möglich. Nach der Ernte 2011 lagen messbare Differenzen im Gehalt an organischen Kohlenstoff (C_{org}) vor, die weitere Aussagen zur Humusdynamik ermöglichen (Abb. 2).

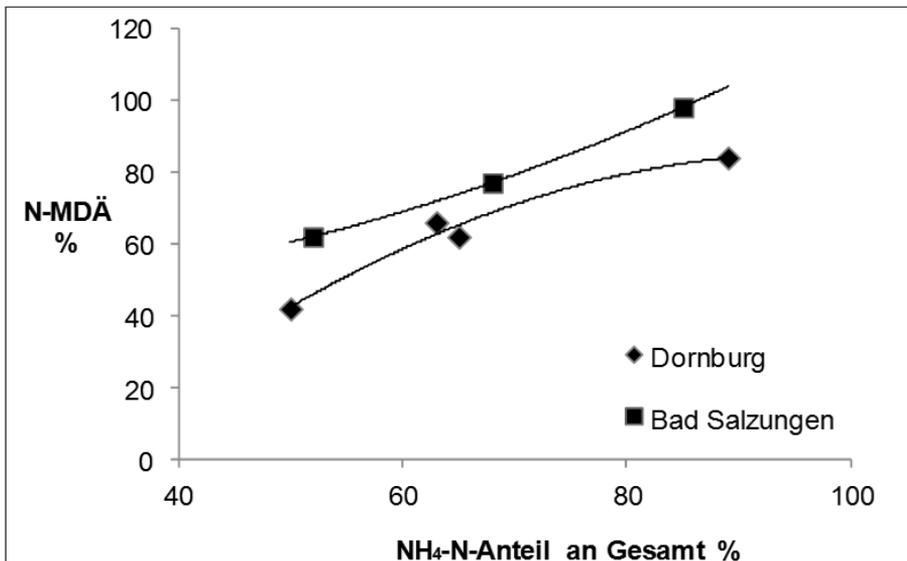


Abb. 2: Änderung des C_{org} -Gehaltes der Böden im Zeitraum 2007 bis 2011 in Abhängigkeit von der C-Fracht

Im Mittel der vier Böden ist der C_{org} -Gehalt der Kontrollvariante ohne organische und mineralische Düngung im Vergleich zur optimalen mineralischen Düngung um 0,14 % gesunken. Die Gülle- und die Gärproduktdüngung hat zu einer Erhöhung der C_{org} -Gehalte geführt. Den höchsten Anstieg hat die Düngung der Rindergülle bewirkt, nur etwas geringer die Gärprodukte aus Rindergülle bzw. Nawaro, nach Ausbringung der trockenmassearmen Schweinegülle-Gärpro-

dukte fällt er dagegen geringer aus. Berücksichtigt man die C-Fracht in den 5 ausgewerteten Jahren, wird deutlich, dass diese bei Rindergülle mit 15,9 t/ha am höchsten und bei der vergorenen Schweinegülle mit 4,3 t/ha am niedrigsten war. Betrachtet man den C-Bedarf zur Erhöhung des C_{org} -Gehaltes um 0,1 %, zeigt sich ein entgegen gesetztes Bild. Zum Aufbau vergleichbarer Humusgehalte im Boden sind geringere C-Zufuhren über Gärprodukte als über Gülle erforderlich (Abb. 3). Dieser Zusammenhang deutet auf die größere Abbaustabilität des Kohlenstoffs des Gärproduktes hin erfordert eine sorgfältige Prüfung der Humuswirkung auch auf anderen Standorten.

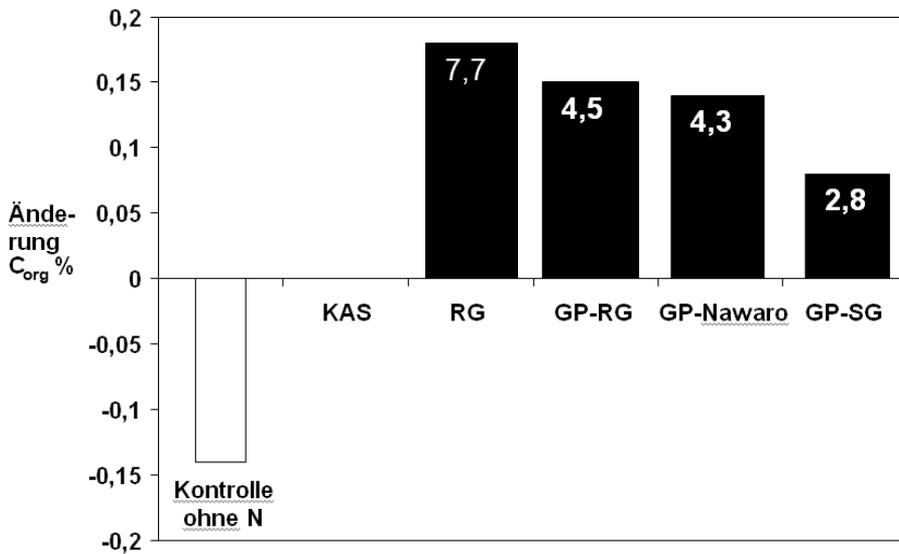


Abb. 3: C-Bedarf zur Erhöhung des C_{org} -Gehaltes im Boden um 0,1 % in t/ha im Vergleich zur mineralischen N-Düngung (KAS)

6. Humuswirkung in den Feldversuchen

In den Feldversuchen zeigt sich nach 4 Jahren Versuchslaufzeit eine differenzierte Entwicklung der C_{org} -Gehalte im Boden. Während in Dornburg noch keine signifikante Wirkung der unterschiedlichen Düngung auf den C_{org} -Gehalt nachweisbar ist, liegt in Bad Salzungen eine beginnende Differenzierung vor (Tab. 5). Die Applikation des trockensubstanzarmen Gärproduktes aus der Speiserestverwertung mit sehr niedrigen C-Frachten hat nur zu einer geringen C-Anreicherung im Boden geführt, während sowohl die unvergorene Rindergülle als

auch der Gärprodukte aus Rindergülle eine deutlich stärkere Erhöhung bewirkt haben. Die zusätzliche mineralische N-Düngung hatte einen zusätzlichen Effekt auf den C-Gehalt.

Tab. 5: C_{org}-Gehalte im Boden nach 4 Jahren Versuchslaufzeit in Abhängigkeit von Gülle- und Gärproduktdüngung (Bad Salzungen)

Düngung	C _{org.} in %	Düngung	C _{org.} in %
ohne OD, KAS	0,79 - 0,81	ohne OD, KAS	0,79 - 0,81
GP-SLR	0,83	GP-SLR + KAS	0,82
RG	0,89	RG + KAS	0,94
GP-RG	0,88	GP-RG + KAS	0,93

7. Wirkung der Gärrestdüngung auf den pH-Wert des Bodens

Für eine erste Bewertung der Wirkung langjähriger Gärprodukt- und Gülledüngung auf die Bodenreaktion sind die Ergebnisse des Feldversuches in Bad Salzungen dargestellt (Tab. 6). Nach 3 Jahren führte die Düngung von KAS zu einem geringen Abfall des Boden-pH-Wertes. Das Gärprodukt aus der Speiserestverwertung verursachte keine signifikante pH-Wertänderung, die Düngung der Rindergülle und der Gärprodukte aus Rindergülle einen tendenziellen Anstieg des pH-Wertes im Boden. Eine versauernde Wirkung mehrjähriger Gärproduktdüngung ist demnach nicht festzustellen.

Tab. 8: Entwicklung des Boden-pH-Wertes in Bad Salzungen

Düngung	vor Anlage	2009	2010	2011
ohne N	5,6	5,6	5,7	5,7
KAS	5,6	5,3	5,3	5,3
GP-SLR	5,7	5,5	5,5	5,6
GP-RG	5,5	5,7	5,7	5,8
RG	5,5	5,7	5,7	5,8

8. Fazit und Schlussfolgerungen

Gärprodukte stellen wichtige Düngemittel für den Ackerbau dar. Hohe Ammoniumgehalte und pH-Werte erhöhen einerseits das Potenzial für Ammoniakverluste in die Umwelt. Andererseits ist bei verlustarmer Gärproduktausbringung im Rahmen der guten fachlichen Praxis eine effiziente Verwertung der Nährstoffe möglich. Gärprodukte aus der Biogaserzeugung können entsprechend dem betrieblichen Nährstoffbedarf gut im Ackerbau verwertet werden und mineralische N-Dünger ersetzen. Voraussetzung dafür ist ein zeitlich und mengenmäßig optimierter Einsatz zu Kulturen mit entsprechendem N-Bedarf. Das N-Mineraldüngeräquivalent der Gärprodukte korreliert mit dem Ammoniumgehalt. Zur Düngeplanung sind regelmäßig Gärproduktanalysen durchzuführen (auch $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt). Der P- und K-Gehalt der Gärprodukte ist mittelfristig zu 100 % pflanzenverfügbar. Deshalb sollten Gärprodukte gezielt auch auf Flächen mit P- und K-Düngebedarf eingesetzt werden. Aus den vorliegenden Ergebnissen folgen Hinweise auf eine nicht zu unterschätzende Abbaustabilität des Gärproduktkohlenstoffs nach Ausbringung im Boden. Zu beachten sind die geringen C-Frachten beim Einsatz trockensubstanzarmer Gärprodukte. Weitere Untersuchungen zur Humusdynamik sind dringend erforderlich. Die langjährige Anwendung von Gärprodukten im Ackerbau hat bisher zu keiner Verschlechterung der Bodenfruchtbarkeit wie Versauerung oder Verschlammung geführt.

Humusreproduktionsleistung von Stalldung im Dauerfeldversuch M4 Groß Kreuz

J. Zimmer^{1,2}, F. Ellmer², B. Kroschewski³

¹LELF Brandenburg, Stahnsdorf, ²Fachgebiet Acker- und Pflanzenbau, Humboldt-Universität zu Berlin, ³Fachgebiet Biometrie und Versuchswesen, Humboldt-Universität zu Berlin

1. Einleitung

Ackerbauliche Bodennutzung erfüllt die Vorsorgepflicht des Bodenschutzes durch Umsetzung der guten fachlichen Bodennutzungspraxis mit dem Ziel der nachhaltigen Sicherung von Fruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens (§ 17 BBodSchG). Die Humusreproduktion ist hierbei von zentraler Bedeutung. Aktuelle Bewertungsmethode ist die Humusbilanzierung auf Basis von allgemeinen, standortunabhängigen Richtwerten für den spezifischen Humusbedarf der Kulturarten sowie der Humus-Reproduktionsleistung organischer Dünger (VDLUFA, 2004). Die Richtwerte beruhen im Wesentlichen auf Erkenntnissen der ostdeutschen Humusforschung vor 1990 und bedürfen daher einer aktuellen Überprüfung am Dauerfeldversuch. Zudem liegen Hinweise vor, dass die Humus-Reproduktionsleistung organischer Dünger auf grundwasserfernen Diluvialstandorten überschätzt wird (Zimmer und Roschke, 2005).

Im Land Brandenburg ist Stalldung mit einem jährlichen Anfall von ca. 1,9 Mio. t (25 % TS, exklusive von Stalldungnutzung als Gärsubstrat) noch immer einer der wichtigsten organischen Dünger, die zur Absicherung der Humusreproduktion zur Verfügung stehen. Im Beitrag werden die Ergebnisse aktueller Auswertungen zur langjährigen Entwicklung der Humifizierungsleistung von Stalldung bei steigenden Stalldunggaben in Kombination mit N-Mineraldüngung und die resultierende Ableitung der Humus-Reproduktionsleistung von Stalldung vorgestellt. Der zugrunde liegende methodische Ansatz geht im Wesentlichen auf Arbeiten von Asmus (u. a. Asmus, 1992; Asmus und Völker, 1984) zur Ermittlung der Humifizierungskoeffizienten von Stalldung und anderen organischen Düngern zurück. Im Gegensatz zu bisherigen Herangehensweisen erfolgte weder eine Vorauswahl einzelner Versuchsvarianten nach vordefinierten Kriterien (z. B. Optimalertrag, ausgeglichene N-Bilanz) noch wurde im Versuchsverlauf das Erreichen eines bewirtschaftungsbedingten Gleichgewichtszustandes der Humusversorgung vorausgesetzt.

2. Material und Methoden

2.1 Dauerfeldversuch M4 Groß Kreuz

Der DFV M4 wurde in Groß Kreuz im Jahr 1967 von Specht zur Untersuchung der Wirkung von organischer und mineralischer Düngung sowie ihrer Kombinationen auf Pflanzenertrag und Bodeneigenschaften angelegt. Der Versuchstandort ist typisch für das Bundesland Brandenburg (Su4, AZ 40/42, 8,9 °C, 537 mm, 42 m NN, Grundwasserstand > 20 m unter Flur) und repräsentiert mit der Bodengruppe 2 (I'S) ca. 48 % der nicht durch Grundwasser und Staunässe beeinflussten Brandenburgischen Ackerböden.

Der Versuch wurde als zweifaktorieller N-Kombinationsversuch mit vier Wiederholungen (randomisierte Blockanlage) ins Feld gestellt, das Versuchsdesign ist bis heute unverändert. Die 25 Prüfglieder des Versuchs ergeben sich aus der Kombination von 5 steigenden organischen N-Düngungsstufen des Prüffaktors Stalldung und 5 steigenden mineralischen N-Düngungsstufen des Prüffaktors Mineraldünger. Für beide Prüffaktoren werden die 5 N-Stufen so bemessen, dass im Durchschnitt der Fruchtfolge stets identisch steigende N-Mengen (0, 50, 100, 150, 200 kg ha⁻¹ a⁻¹ N) verabreicht werden. Versuchsfruchtfolge war zunächst eine vierfeldrige Hackfrucht-Halmfrucht-Fruchtfolge (Kartoffeln-Winterweizen-Zuckerrüben-Sommergerste), die von 1993 bis 2000 schrittweise auf Silomais-Winterroggen-Fruchtwechsel umgestellt wurde. Die organische Düngung mit Stalldung (Rinder-Rottedung) erfolgt prinzipiell zur Hackfrucht bzw. ab 1993 zu Silomais auf Grundlage des vor der Ausbringung bestimmten Stalldung-N-Gehaltes in Ausbringmengen von 100, 200, 300 und 400 kg ha⁻¹ Stalldung-N. Die mineralische Stickstoffdüngung erfolgt fruchtartspezifisch differenziert in einer bis zwei N-Gaben mit Kalkammonsalpeter. Im aktuellen Silomais-Winterroggen-Fruchtwechsel ist der Anteil des Mineral-N-Einsatzes auf 60 % zu Silomais und 40 % zu Winterroggen festgelegt.

Zusätzliche mineralische Düngungsmaßnahmen bewirken eine optimale Kalk-, Phosphor-, Kalium- und Magnesiumversorgung. Lediglich die Nullvariante/Kontrollvariante bleibt vollständig ungedüngt. Bewirtschaftungsstandard ist die wendende Bodenbearbeitung mit Pflug, deren maximale Bodenbearbeitungstiefe ab 1979/80 von zunächst 25 auf nachfolgend 30 cm erhöht wurde. Sämtliche sonstige anbautechnische Maßnahmen werden standortgerecht unter Berücksichtigung der konkreten Witterungs- und Bodenverhältnisse sowie von Kulturart, Schaderregeraufkommen und Unkrautbesatz durchgeführt.

2.2 Datenaufbereitung und -auswertung

In die vorliegenden Auswertungen einbezogen wurden die Werte der seit Versuchsbeginn durchgeführten turnusmäßigen Bodenuntersuchungen der Ackerkrume (1967-78: C_t -Gehalt in 0-25 cm, 1980-2010: C_t -Gehalt in 0-30 cm, $n_{BU-Termin} = 19$, $n_{ges} = 775$) sowie die im Versuchsverlauf in den vier Stallung-Düngungsstufen verabreichten Stallungsmengen ($t\ ha^{-1}$ Stallung-TM, $n_{Gaben} = 88$).

Die Datenerhebung erfolgte für alle Düngungsvarianten auf der Basis der 4 Wiederholungspartellen von 1967 bis 2002 als Mischbeprobung und ab 2004 als Einzelbeprobung. Sämtliche Laboranalysen wurden entsprechend der jeweils geltenden Methodenstandards von anerkannten Laboreinrichtungen vorgenommen (bis 1994 C_t -Bestimmung nach STRÖHLEIN/Labor des Instituts für Düngeforschung Potsdam der AdL der DDR, seit 1994 nach VDLUFA, 1991/heutiges Landeslabor Berlin-Brandenburg). Anhand der analysierten C_t -Gehalte (Mischproben) sowie der mittleren C_t -Gehalte (Einzelbeprobungen) erfolgte die Berechnung der C_t -Vorräte in der Ackerkrume unter Verwendung der Beziehung $TRD = 1,628 e^{-0,084 * C_t\text{-Gehalt}}$ (LBGR, 2010). Zusätzlich war die im Versuchsverlauf vollzogene Ackerkrumenervertiefung zu berücksichtigen. Die Versuchsbewirtschaftung blieb bis zur Ackerkrumenervertiefung 1979/80 ohne nachweisbaren Einfluss auf die Bodeneigenschaften unterhalb der Ackerkrume. Daher wurde für jede Düngungsvariante der mittlere C_t -Gehalt unterhalb der Ackerkrume aus den C_t -Gehalten zweier, in den Jahren 1974 und 1976 als Mischbeprobung in 25-45 cm Bodentiefe durchgeführten Bodenuntersuchungen ermittelt. Mit diesem C_t -Gehalt wurde der C_t -Vorrat in 25-30 cm Bodentiefe bei $TRD = 1,73\ g\ cm^{-3}$ Boden berechnet und dem C_t -Vorrat der Ackerkrume (0-25 cm) zugeschlagen. Zur weiteren Auswertung lagen somit die C_t -Vorräte in einheitlich 0-30 cm Bodentiefe vor.

Typisch für die Zeitreihen der C_t -Vorräte im Versuchsverlauf sind hohe Streuungen der Einzelwerte bei allen Düngungsvarianten. Bei der Auswertung der C_t -Vorräte 2004-2010 (0-30 cm, $MW = 36,8\ t\ ha^{-1}\ C_t$) traten Standardabweichungen von bis zu $10\ t\ ha^{-1}\ C_t$ auf (Zimmer, 2013).

Für jeden Bodenuntersuchungstermin wurde die C_t -Vorratsdifferenz als Differenz zwischen dem C_t -Vorrat einer Stallung-Düngungsstufe mit N-Mineraldüngung und dem C_t -Vorrat bei alleiniger gleicher N-Mineraldüngung ermittelt. Unterstellt wird, dass diese C_t -Vorratsdifferenz den Anteil an der Veränderung

des C_t -Vorrates widerspiegelt, der ausschließlich auf die im Versuchsverlauf verabreichten Stallungsmengen zurückzuführen ist.

Um den C_t -Werten des Bodens die zugeführte Stallungsmenge bis zu einem konkreten Bodenuntersuchungstermin gegenüberzustellen, wurde wie folgt vorgegangen: die seit Versuchsbeginn verabreichte Menge an Stallung-TM wurde kumuliert und deren zeitlicher Verlauf (t = Ausbringungstermine) für jede der vier Stallungsvarianten (50, 100, 150, 200) mit einer nichtlinearen Funktion beschrieben (Funktionswahl: Kriterium minimale Reststreuung). Aus diesen Funktionen wurden nun für die Zeitpunkte der Bodenuntersuchungen die Stallung-Gesamtmenngen als Funktionswerte ermittelt.

Das Verhältnis von C_t -Vorratsdifferenz zu zugeführter Stallungsmenge wird als Humifizierungsleistung definiert und ist je Bodenuntersuchungstermin für jede Stallung-Düngungsstufe mit N-Mineraldüngung berechnet worden. Die Entwicklung der Humifizierungsleistung von Stallung im Versuchsverlauf wurde wiederum mittels einer nichtlinearen Regressionsfunktion beschrieben. Im Ergebnis wurde ein Richtwert für die Humusreproduktionsleistung von Stallung im DFV M4 abgeleitet.

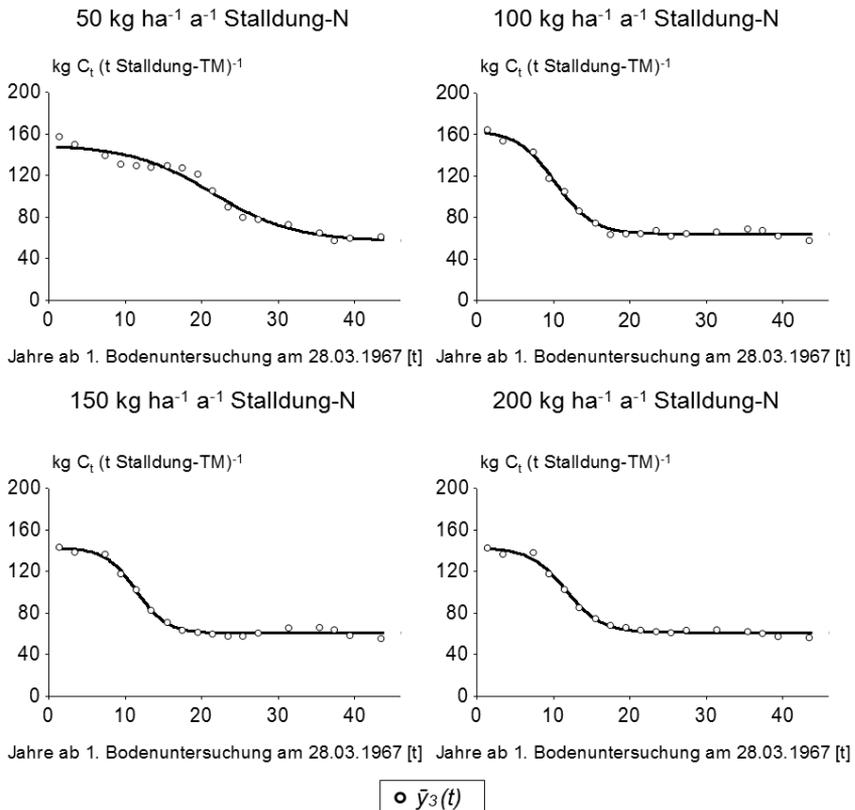
Es wurden die Statistik-Software CADEMO 3.2/WACH (© BioMath GmbH, Groß Lüsewitz, 2009) für die nichtlineare Regressionsanalyse und STATISTICA 10 (© StatSoft, Inc., Tulsa, USA, 1984-2011) für grafische Darstellungen genutzt.

3. Ergebnisse

Die Entwicklung der Humifizierungsleistung von Stallung im DFV M4 Groß Kreuz ist für die vier Stallung-Düngungsstufen (50, 100, 150, 200), immer in Kombination mit mineralischer N-Düngung, in Abbildung 1 dargestellt. Die in der Grafik dargestellten Punkte sind gleitende Mittelwerte (\bar{y}_3) aus den vier N-Mineraldüngungsstufen (50, 100, 150, 200).

Deutlich wird, dass die Humifizierungsleistung von Stallung im Versuchsverlauf nicht als statischer, sondern als dynamischer Prozess zu verstehen ist. Dieser Prozess lässt sich für alle Stallung-Düngungsstufen durch eine vierparametrische Tangenzhyperbolicus-Funktion beschreiben. Zu Versuchsbeginn weisen alle Stallung-Düngungsstufen recht hohe Humifizierungsleistungen

von 142-165 kg C_t (t Stallung-TM)⁻¹ auf, die sich im Verlauf von 44 Versuchsjahren auf 57-64 kg C_t (t Stallung-TM)⁻¹ verringern.



50 kg ha⁻¹ a⁻¹ Stallung-N: $\hat{y}_{\tanh(4)}(t) = 103,1 - 46,3 * \tanh[0,094 * (t-21,4)]$; $s_{\text{Rest}}=6,4$

100 kg ha⁻¹ a⁻¹ Stallung-N: $\hat{y}_{\tanh(4)}(t) = 114,0 - 50,0 * \tanh[0,202 * (t-10,2)]$; $s_{\text{Rest}}=3,8$

150 kg ha⁻¹ a⁻¹ Stallung-N: $\hat{y}_{\tanh(4)}(t) = 101,7 - 41,2 * \tanh[0,249 * (t-11,4)]$; $s_{\text{Rest}}=3,3$

200 kg ha⁻¹ a⁻¹ Stallung-N: $\hat{y}_{\tanh(4)}(t) = 102,0 - 40,7 * \tanh[0,215 * (t-11,6)]$; $s_{\text{Rest}}=3,0$

Abb. 1: Entwicklung der Humifizierungsleistung von Stallung bei kombinierter Ausbringung mit N-Mineraldüngung (DFV M4, 1967-2010, N = 72, n_y = 18, n_{y(t)} = 4)

Aus der Humifizierungsleistung von Stalldung lässt sich ein Richtwert für seine Humusreproduktionsleistung ableiten. Solange sich aber die Humifizierungsleistung im Versuchsverlauf ändert, muss sich auch der Richtwert ändern. Erst nach ca. 20 bis 40 Jahren gleichartiger Versuchsbewirtschaftung wurde im vorliegenden Versuch eine konstante Humifizierungsleistung erreicht. Im Gegensatz dazu zeichnet sich die Praxis der ackerbaulichen Bodennutzung durch permanente Bewirtschaftungsänderungen infolge eines steten Anpassungszwangs an aktuelle ökonomische sowie gesellschaftliche Rahmenbedingungen (Marktpreise/Förderprogramme, Fruchtfolge/Bodenbearbeitung etc.) aus. Aus diesem Grund wurden zur Ableitung eines Richtwertes für die Humusreproduktionsleistung von Stalldung im DFV M4 die Wendepunkte als charakteristische Punkte der angepassten Funktionen genutzt.

Der Wendepunkt der hier angepassten Funktionen (WP) kennzeichnet den Übergang von im Versuchsverlauf zunehmender zu abnehmender Änderung der Humifizierungsleistung in Richtung einer konstanten Humifizierungsleistung. Im Wendepunkt selbst ist diese Änderung maximal. Dieser Punkt wurde in den Stalldung-Düngungsstufen nach 12-21 Jahren mit Funktionswerten im Bereich von 102-114 kg C_t (t Stalldung-TM)⁻¹ erreicht (Tab. 1). Dies entspricht bei 37,5 % C in der Stalldung-TM ($n_{DFV\ M4} = 5$) einem Humifizierungskoeffizienten von ca. 0,28, der als typisch für Stalldung auf grundwasserfernen Diluvialstandorten einzuschätzen ist (Beer et al., 1990). Beachtet werden muss, dass der Zeitpunkt des Übergangs von hoher zu geringer Änderung der Humifizierungsleistung bei geringem Stalldungeinsatz (50 kg ha⁻¹ a⁻¹ Stalldung-N) erst nach 21 Versuchsjahren und damit nach einer doppelt so langen Versuchsdauer wie in den höheren Stalldungstufen (10-12 Versuchsjahre) eintrat. Nur in der unteren Stalldung-Düngungsstufe jedoch sind ausgeglichene N-Bilanzen realisierbar (Zimmer, 2013). In den 21 Versuchsjahren wurden hier insgesamt 212 t Stalldung-FM (25 % TS) verabreicht, was einer durchschnittlichen jährlichen Aufwandmenge von 10 t ha⁻¹ Stalldung-FM (25 % TS) entspricht und mit dem von Körschens (2010) zur optimalen Humusversorgung angegebenen Rottemistbedarf bei organisch-mineralischer Düngung übereinstimmt. Der hier abgeleitete Richtwert für die Humusreproduktionsleistung von Stalldung beträgt 26 kg C_t (t Stalldung-FM bei 25 % TS)⁻¹ und ist somit um 35 % geringer als der VDLUFA-Richtwert mit 40 kg Humus-C (t Stalldung-FM bei 25 % TS)⁻¹ (VDLUFA, 2004). Wird der Zeitpunkt 44 Jahre nach Versuchsbeginn zugrunde gelegt wäre der abzuleitende Richtwert noch sehr viel kleiner.

Tab. 1: Humifizierungsleistung von Stalldung bei kombinierter Ausbringung mit N-Mineraldüngung (DFV M4, 1967-2010, $n_{\hat{y}(t)}=4$)

N-Zufuhr		Humusreproduktionsleistung $\hat{y}_{\tan h(4)}(t)$				
Stalldung	Mineral-N	ab 1. Bodenuntersuchung am 28.03.1967 Wendepunkt				
		$n_{\hat{y}}$	$t = \text{Jahre}$	$\hat{y}(t)$	$\hat{y}(44)$	S_{Rest}
kg N ha ⁻¹ a ⁻¹		kg C _t (t Stalldung-TM) ⁻¹				
50	50-200	72	21	103	57	28
100	50-200	72	10	116	64	20
150	50-200	72	11	102	61	14
200	50-200	72	12	102	61	11
			12-21	105	61	11-28

4. Fazit

- Sichere Ergebnisse zur Humus-Reproduktionsleistung können nur aus lang-jährigen Versuchsanstellungen mit weitgehend gleicher Bewirtschaftung abgeleitet werden.
- Die vorgeschlagene Ableitung der Humus-Reproduktionsleistung von Stalldung aus der Entwicklung der Humifizierungsleistung im Versuchsverlauf des DFV M4 sollte an weiteren Brandenburger Dauerfeldversuchen überprüft werden.
- Im DVF M4 Groß Kreuzt beträgt die Humus-Reproduktionsleistung von Stalldung 26 kg C_t (t Stalldung-FM bei 25 % TS)⁻¹ (VDLUFA-Richtwert: 40 kg C (t Stalldung-FM bei 25 % TS)⁻¹).
- Diese Humus-Reproduktionsleistung wird im Bereich ausgeglichener N-Salden bei Einsatz von jährlich 10 t ha⁻¹ Stalldung-FM (25 % TS) und 50-100 kg ha⁻¹ N-Mineraldüngung nach 21 Versuchsjahren erreicht. Eine entsprechende Anwendung als Richtwert bei der Humusbilanzierung setzt ebenso lange Bilanzierungszeiträume voraus.

5. Literaturangaben

- Asmus, F., 1992: Einfluss organischer Dünger auf Ertrag, Humusgehalt des Bodens und Humusreproduktion. Berichte über Landwirtschaft. Sonderheft 206, 245-250.
- Asmus, F., Völker, U., 1984: Zur Reproduktion der organischen Substanz sandiger Ackerböden durch verschiedene organische Dünger. Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin, 224, 137-143.
- Beer, K., Koriath, H., Podlesak, W., 1990: Organische und mineralische Düngung. Deutscher Landwirtschaftsverlag. 1. Auflage. Berlin. 576 S.
- Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe des Landes Brandenburg (LBGR), 2010: Auswertung des FIS Bodengeologie des Landes Brandenburg zur Beziehung von Lagerungsdichte und Gesamtkohlenstoffgehalt in mineralischen Ap-Horizonten von Standorten ohne Grundwassereinfluss, exklusive anthropogener Substrate. Cottbus, unveröffentlichtes Material.
- Körschens, M., 2010: Soil organic carbon (C_{org}) – importance, determination, evaluation. Arch. Agron. Soil Sci. 56(4c), 375-392.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2004: VDLUFA-Standpunkt „Humusbilanzierung“, 1-12, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1991: Methode A 2.2.5, Verbrennung und Gasanalyse (nach Dumas). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Zimmer, J., Roschke, M., 2005: Humusreproduktion von Stalldung, Stroh und Gülle-Stroh-Kombination auf humusarmen diluvialen Sandböden. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 61, 441-449, Kongressband 2005, Bonn, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Zimmer, J., 2013: Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit ackerbaulich genutzter Böden im Land Brandenburg. Diss. (in Vorbereitung).

Humusaufbau und Stickstoffumsatz im Boden

J. Reinhold¹, R. Kluge²

¹Förderverband Humuse. V., Potsdam, ²Karlsruhe

1. Einleitung

Die organische Bodensubstanz gewinnt für Vermeidungs- und Anpassungsstrategien zum Klimawandel erheblich an Bedeutung. Die Böden sind neben ihrer stark humusabhängigen Fruchtbarkeit in ihrer erwärmungsbedingten Funktion als CO₂-Quelle einzuschränken oder temporär sogar als CO₂-Senke zu nutzen.

Die C_{org}-Stabilisierungen im Boden läuft stets parallel zu einer Anreicherung an Gesamt-N (vorwiegend als N_{org}). Das ruft Bedenken hervor, weil eine nachfolgende Freisetzung dieser N-Mengen durch Mineralisation befürchtet wird, was zu Grundwasserbelastungen durch lösliches N und zur Abgabe von klimarelevantem Lachgas führen kann.

2. Material und Methoden

Aus den Untersuchungen des Kompostprojektes des LTZ Augustenberg wurden Daten zum Humusaufbau erweitert statistisch ausgewertet. Dazu wurden die 12-jährigen Messreihen der C_{org}- bzw. N_t-Gehalte von drei Versuchsstandorten genutzt (1995 bis 2005). Zudem sind durch Einbeziehung von Untersuchungen des N-Entzugs Aussagen zum pflanzenwirksamen Anteil von Kompost-N ableitbar.

Die detaillierten Angaben zu den Versuchsstandorten, zur Versuchsdurchführung (Fruchtfolge: Mais - W.-Weizen - W.-Gerste, Kompostgaben in 4 Stufen, N-Mineraldüngung in 3 Stufen) und zu den Versuchsmesswerten (für diese Auswertungen die Bodengehalte bzw. -vorräte von C_{org} und N_t in der Ackerkrume sowie die N-Entzüge) sind im LTZ-Bericht (Kluge et al., 2008) enthalten. Die drei Bioabfallkomposte können über ihre Mittelwerte wie folgt gekennzeichnet werden:

Tab. 1: Mittelwerte der humusaufbaurelevanten Parameter der an unterschiedlichen Standorten eingesetzten Komposte

Standort	Kompost	C _{org} in TS-%	N _t in TS-%	C:N-Verhältnis	Rottegrad
Forchheim	Fertigkompost aus Biogut	21,2	1,55	13,7	4,3
Weierbach	Fertigkompost aus Grüngut	16,3	1,39	11,7	4,7
Stockach	Frischkompost aus Biogut	37,9	2,79	13,6	1,8

Die ergänzenden Auswertungen erfolgten über eine Vielzahl von einfachen und multiplen Regressionsanalysen.

3. Auswertungsergebnisse

3.1 Organischer Kohlenstoff im Boden

Zielgröße: y – Boden-C_{org}-Menge in t ha⁻¹ in der Ackerkrume (30 cm)

relevante Einflussfaktoren: x_1 – kumulative Kompost-C_{org}-Gaben in t ha⁻¹;

x_2 – Kompost-C_{org}-Gaben in t ha⁻¹ a⁻¹; x_3 – Mineraldünger-N-Gaben in kg ha⁻¹ a⁻¹

Forchheim (grundwasserferne Parabraunerde - lehmiger Sand):

$$y = 48,56 + 0,4342x_1 + 0,001591x_2x_3$$

$n = 479$

$$R_{\text{red}}^2 = 0,5167$$

$$p < 0,000001$$

Aus den nachgewiesenen Zusammenhängen leitet sich eine Dominanz der kumulativen Wirkung der geprüften Fertigkomposte auf den Humusaufbau ab.

Die im jeweiligen Probenahmejahr verabreichten Kompost-C_{org}-Gaben hatten nur bei Aufschluss durch mineralischen N zusätzlich erhöhende Wirkungen auf die Boden-C_{org}-Gehalte. Das weist auf eine stickstoffgeförderte Einbindung von Kompost-C_{org} in die Humusmatrix des Bodens hin.

Weierbach (grundwasserferner Kolluvisol - schluffiger Lehm):

$$y = 61,72 + 0,6680x_1 + 0,00883x_3$$

$n = 479$

$$R_{\text{red}}^2 = 0,3347$$

$$p < 0,000001$$

Bei Fertigkompost aus Grüngut ist eine Dominanz der kumulativen Wirkung auf den Humusaufbau erkennbar. Zusätzlich zeigen die im jeweiligen Probenahme-

mejahr verabreichten Gaben von mineralischem N entsprechend erhöhende Wirkungen auf die Boden-C_{org}-Gehalte. Das weist auf eine stickstoffgeförderte Humusbildung in dem lehmigen Boden am Standort Weierbach hin.

Stockach (grundwasserbeeinflusster Braunerde-Pseudogley - schluffig-toniger Lehm):

$$y = 58,51 + 0,0891x_1 + 0,00490x_2x_3 + 0,2369x_2^2$$

$$n = 479$$

$$R_{\text{red}}^2 = 0,5283$$

$$p < 0,000001$$

Für den am Standort Stockach geprüften Frischkompost aus Biogut wurden andere Wirkprinzipien erkannt als für die Fertigkomposte. Die jeweilige Jahresgabe an Kompost-C_{org} hatte hier größere Bedeutung als die kumulative Kompost-C_{org}-Menge. Dabei ist zu berücksichtigen, dass größere Einzelgaben einen stärker erhöhenden Einfluss auf die Boden-C_{org}-Menge haben. Wird die Kompost-Gabe noch durch gleichzeitige N-Mineraldüngung ergänzt, so steigt deren Wirkungseffekt zusätzlich an. Die N-Mineraldüngung hat einen deutlich positiven Einfluss auf die kurzfristige Kompost-C_{org}-Stabilisierung im Boden.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass eine lineare Abhängigkeit der innerhalb von 12 Jahren im Boden angereicherten C_{org}-Mengen von den kumulativen Kompostgaben besteht. Die durch den Rottegrad ausgedrückte Abbaustabilität der Komposte scheint dabei eine große Rolle zu spielen. Es wurde ein Zusammenhang von mittlerem Kompost-Rottegrad und der Veränderung von Boden-C_{org}-Gehalten erkannt:

Rottegrad 4,7 → + 0,59 C_{org} in TS %

Rottegrad 4,3 → + 0,51 C_{org} in TS %

Rottegrad 1,8 → + 0,30 C_{org} in TS %

Die Unterschiede in der Bodenart erwiesen sich für den Humusaufbau dagegen als wenig bedeutsam.

3.2 Gesamtstickstoff im Boden

Zielgröße: y – Boden-N_t-Menge in kg ha⁻¹ in der Ackerkrume (30 cm)

relevante Einflussfaktoren: x_1 – kumulative Kompost-N_t-Gaben in kg ha⁻¹;

x_2 – Kompost-N_t-Gaben in kg ha⁻¹ a⁻¹; x_3 – Mineraldünger-N-Gaben in kg ha⁻¹ a⁻¹;

x_4 – Kompost-C_{org}-Gaben in t ha⁻¹ a⁻¹

Forchheim (grundwasserferne Parabraunerde - lehmiger Sand):

$$y = 3283,2 + 0,5440x_1 + 1,115x_3 + 19,3x_4^2$$

n = 432

$$R_{\text{red}}^2 = 0,5504$$

p < 0,000001

Die kumulativen Wirkung der geprüften Fertigungskomposte aus Biogut auf die N_t -Anreicherung im Boden wird (wie bei C_{org}) sehr deutlich bestätigt. Zusätzlich zeigen die im jeweiligen Probenahmejahr verabreichten Kompost- C_{org} -Gaben eine ergänzende Auswirkung auf die Boden- N_t -Mengen. Hier ist eine N-Stabilisierung wegen der über dem Boden-C:N-Verhältnis liegenden Kompostwerte anzunehmen. Die Wirkung der mineralischen N-Gaben fällt dagegen deutlich ab.

Weierbach (grundwasserferner Kolluvisol - schluffiger Lehm):

$$y = 6388,7 + 0,987x_1 - 0,017x_2^2 + 0,021x_3^2$$

n = 431

$$R_{\text{red}}^2 = 0,4494$$

p < 0,000001

Eine nachhaltige Wirkung der Fertigungskomposte aus Biogut auf die Anreicherung von N_t im Boden wird bestätigt. Zusätzlich zeigen die im jeweiligen Probenahmejahr verabreichten Kompost- N_t -Gaben eine erhebliche absenkende Auswirkung auf die Boden- N_t -Mengen. Die Wirkung der Versorgung mit Mineraldünger-N fällt dagegen etwas ab. Das deutet auf einen Zusammenhang mit der N-Stabilisierung aus Kompost- N_t .

Stockach (grundwasserbeeinflusster Braunerde-Pseudogley - schluffig-toniger Lehm):

$$y = 5596,1 + 0,3700x_1 + 3,18x_2 + 1,96x_3$$

n = 432

$$R_{\text{red}}^2 = 0,7676$$

p < 0,000001

Die Wirkung der geprüften Fertigungskomposte aus Biogut auf die N_t -Anreicherung ist ähnlich wie bei C_{org} im Boden. Dabei kommt den kumulativen Einflüssen eine etwas größere Bedeutung zu. Die Auswirkungen der Mineraldünger-N-Versorgung fällt deutlich ab, liegt aber über der bei Fertigungskompost aus Biogut am Standort Forchheim.

Insgesamt lässt sich die Veränderung des Bodenvorrats an N_t infolge Bioabfallkompost- bzw. N-Mineraldüngergaben durch multiple Regressionsanalysen nicht so eindeutig abschätzen, wie der Bodenvorrat an C_{org} . Neben den komplexen Wechselwirkungen können dafür auch stärkere Fehlerquellen bei der Messwerterfassung verantwortlich zeichnen. Die Dominanz des linearen Zusammenhangs von kumulativer Kompost-N-Gabe und Anreicherung von Gesamt-N im Boden wurde bestätigt.

3.3 Stickstoffentzug durch die Nutzpflanzen

Zielgröße: y – N-Entzug in $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$

relevante Einflussfaktoren: x_1 – Mineraldünger-N-Gaben in $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$;
 x_2 – Kompost- N_i -Gaben in $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$; x_3 – Boden- N_i -Menge in kg ha^{-1} ;
 x_4 – Kompost- N_i -Gaben in $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$; x_5 – Boden- C_{org} -Menge in t ha^{-1}

Forchheim (grundwasserferne Parabraunerde - lehmiger Sand):

$$y = 17,52 + 0,5008x_1 + 0,00894x_3$$

$$n = 432 \quad R_{\text{red}}^2 = 0,6334 \quad p < 0,000001$$

Die Dominanz der Wirkung der Mineraldünger-N-Gaben auf die N-Entzüge wird bestätigt. Zudem haben sich bei dem sandigen Standort Forchheim auch Wirkungen der im Boden vorhandenen N_i -Mengen gezeigt. Etwa 26 % des N-entzugs kann durch den Boden- N_i -Pool erklärt werden.

Weierbach (grundwasserferner Kolluvisol - schluffiger Lehm):

$$y = 33,22 + 0,3989x_1 + 0,650x_5$$

$$n = 479 \quad R_{\text{red}}^2 = 0,5060 \quad p < 0,000001$$

Die Wirkung der Mineraldünger-N-Gaben auf die N-Entzüge wird bestätigt, fällt aber deutlich geringer aus als bei dem sandigen Standort Forchheim. Zugleich haben sich bei dem lehmigen Standort Weierbach starke Wirkungen der im Boden vorhandenen C_{org} -Mengen gezeigt. Etwa 41 % des N-Entzugs kann durch den Boden- C_{org} -Pool erklärt werden. Über diesen Wirkungspfad lassen sich Einflussmöglichkeiten von Fertigungskompost aus Grüngut auf die N-Entzüge erklären. Im Gegensatz zum Biogut wird bei der Anwendung von Fertigungskompost aus Grüngut der Boden- N_i -Pool nicht wirksam. Das kann im Zusammenhang mit der für Grüngutkompostwirkungen auf den Boden- N_i -Pool gesehen werden. Es sind auch Wirkungen verholzter Anteile in den Ausgangsmaterialien denkbar.

Stockach (grundwasserbeeinflusster Braunerde-Pseudogley - schluffig-toniger Lehm):

$$y = -54,36 + 0,566x_1 + 0,130x_4 - 0,000203x_4^2 - 0,000662x_1x_4 + 2,18x_5$$

$$n = 479 \quad R_{\text{red}}^2 = 0,6729 \quad p < 0,000001$$

Die Wirkung der pflanzenwirksamen N-Gaben aus Mineraldünger und Frischkompost aus Biogut auf die N-Entzüge ist sehr deutlich nachgewiesen worden, stellt sich aber in ihrer Wirkungsstruktur (Nichtlinearität und Wechselwirkungen) als weitaus komplexer dar als bei den Fertigungskomposten. Wesentlich ist, dass eine hohe Reproduktion der organischen Bodensubstanz (C_{org}) möglicherweise

solche auftretenden Negativeffekte auf den N-Entzug weitgehend ausgleichen kann.

Insgesamt wird die dominante Wirkung der N-Mineraldüngung auf die N-Entzüge bestätigt. Bei Fertigkompostanwendung zeigte sich eine ergänzende Wirkung von Bodenhumus, die fallweise über N_i bzw. C_{org} getragen werden kann. Die leichter im Boden abbaubaren Frischkomposte aus Biogut greifen wahrscheinlich deutlich komplexer in die Pflanzenverfügbarkeit von N im Boden ein.

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Um die drei geprüften Komposte bewerten zu können wird von mittleren Versuchsbedingungen ausgegangen. Für die drei geprüften Komposte können folgende Auswirkungen der Zuführung von organischer Kompostsubstanz auf die C_{org} -Bodengehalte abgeleitet werden (Abb. 1).

Es zeigt sich, dass die C_{org} -Stabilisierung im Boden bei Fertigkompostgaben deutlich höher ausfällt, als bei Frischkompost. Für die drei geprüften Komposte können folgende Wiederfindungsraten von organischem Kohlenstoff aus der organischen Düngung über 12 Versuchsjahre in einer 30 cm mächtigen Ackerkrume abgeschätzt werden:

- | | |
|--|------|
| - Fertigkompost aus Grüngut bei schluffigem Lehm: | 59 % |
| - Fertigkompost aus Biogut bei lehmigem Sand: | 47 % |
| - Frischkompost aus Biogut bei schluffig-tonigem Lehm: | 26 % |

Dieser Effekt kann sich als klimaschutzrelevant erweisen, wenn er mittelfristig stabilisiert wird.

Die Auswirkungen der Zuführung von Kompost- N_i -Gaben auf die Boden- N_i -Mengen sind in Abbildung 2 aufgezeigt.

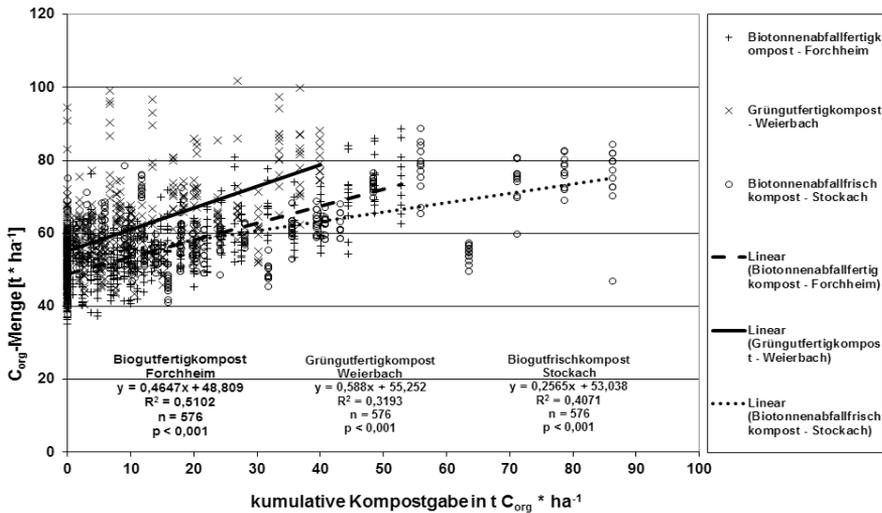


Abb. 1: Einfluss der kumulativen Kompost-C_{org}-Gaben auf die Boden-C_{org}-Mengen bei Einsatz unterschiedlicher Bioabfallkomposte

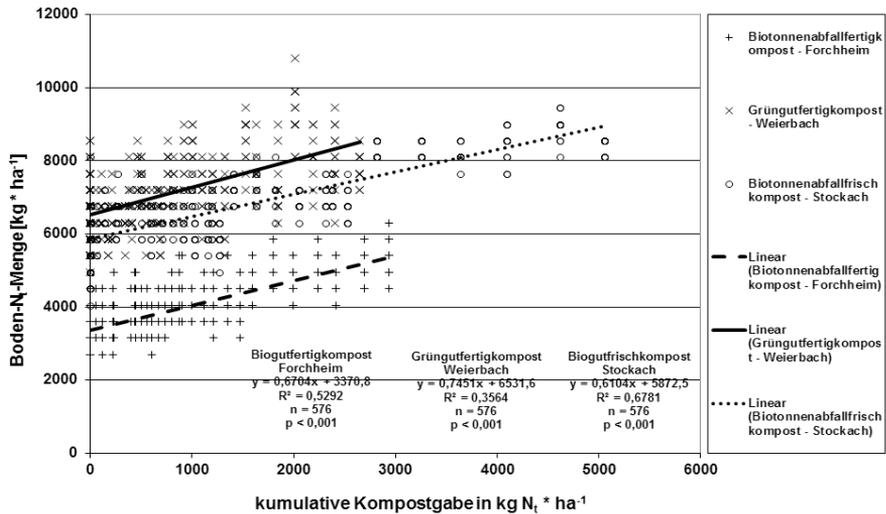


Abb. 2: Einfluss der kumulativen Kompost-N_t-Versorgung auf die Bodenge-samtstickstoffmengen bei Einsatz unterschiedlicher Bioabfallkomposte

Die N_t-Stabilisierung durch Kompostanwendung war in allen Fällen größer als die von C_{org}. Grüngutkomposte zeigen ein höheres N-Stabilisierungspotenzial

im Boden als Komposte aus Biogut. Für die drei geprüften Komposte können folgende Wiederfindungsraten von Gesamtstickstoff aus der kumulativen Kompost-N_f-Gabe über 12 Versuchsjahre in einer 30 cm mächtigen Ackerkrume abgeschätzt werden:

- Fertigungskompost aus Grüngut bei schluffigem Lehm: 75%
- Fertigungskompost aus Biogut bei lehmigem Sand: 57%
- Frischkompost aus Biogut bei schluffig-tonigem Lehm: 61%

Die N-Entzüge werden durch die drei geprüften Komposte folgendermaßen beeinflusst (Abb. 3).

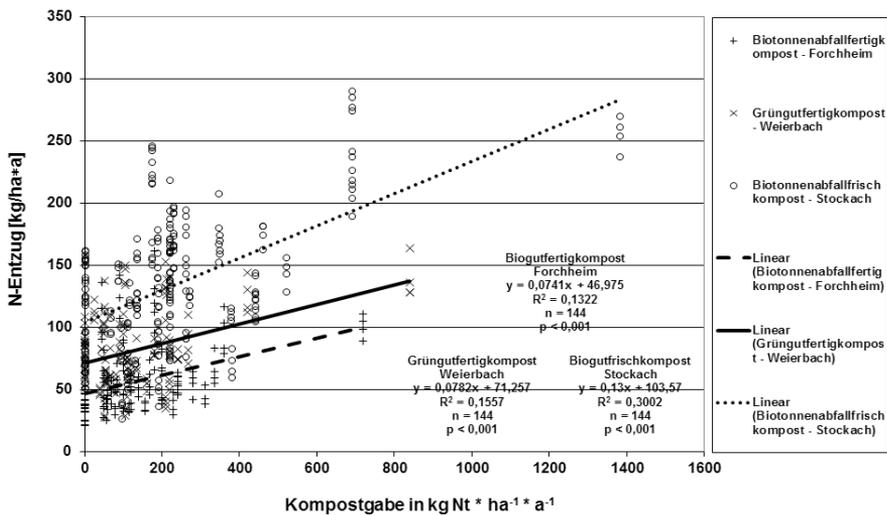


Abb. 3: Einfluss der jährlichen Kompost-N_f-Versorgung auf die N-Entzüge bei Einsatz unterschiedlicher Komposte ohne Mineraldünger-N-Versorgung

Alle drei Bioabfallkomposte zeigen auf den Parzellen ohne Mineraldünger-N-Versorgung statistisch gesicherte Auswirkungen der Kompost-N_f-Gaben auf die N-Entzüge. Für die drei geprüften Komposte können folgende Ausnutzungsraten im Anwendungsjahr von Gesamtstickstoff über 12 Versuchsjahre in einer 30 cm mächtigen Ackerkrume abgeschätzt werden:

- Fertigungskompost aus Grüngut bei schluffigem Lehm: 8%
- Fertigungskompost aus Biogut bei lehmigem Sand: 7%
- Frischkompost aus Biogut bei schluffig-tonigem Lehm: 13%

Um aus den Ausnutzungsraten von Kompost-N_t beim N-Entzug die Mineraldüngeräquivalenz (MDÄ) ableiten zu können, ist die Ausnutzungsrate von Mineraldünger-N ohne Kompostgabe als Bezugsbasis für die drei Versuchsstandorte zu ermitteln. Dazu folgende Darstellung (Abb. 4).

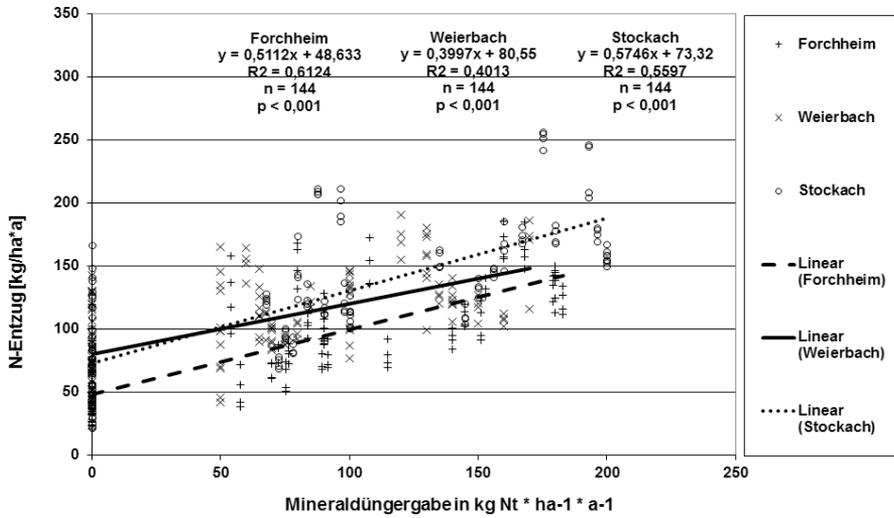


Abb. 4: Einfluss der jährlichen Mineraldünger-N-Versorgung auf die jährlichen N-Entzüge der drei Versuchsstandorte ohne Kompostanwendung

Die Ausnutzung des Mineraldünger-N durch die Nutzpflanzen für die Standorte wie folgt abgeschätzt werden:

- Weierbach bei schluffigem Lehm: 40 %
- Forchheim bei lehmigem Sand: 51 %
- Stockach bei schluffig-tonigem Lehm: 58 %

Die langfristige MDÄ der geprüften Bioabfallkomposte leitet sich nun, unter Berücksichtigung des im Versuch festgestellten kompostbedingten N-Entzugs der Nutzpflanzen, wie folgt ab

- Fertigkompost aus Grüngut bei schluffigem Lehm: 20 %
- Fertigkompost aus Biogut bei lehmigem Sand: 15 %
- Frischkompost aus Biogut bei schluffig-tonigem Lehm: 23 %

Aus der für die geprüften Komposte abgeleiteten langfristigen MDÄ und der N-Stabilisierung im Boden können die maximal möglichen N-Verluste bei der Kompostanwendung wie folgt abgeschätzt werden:

- Fertigungskompost aus Grüngut bei schluffigem Lehm: 6%
- Fertigungskompost aus Biogut bei lehmigem Sand: 19%
- Frischkompost aus Biogut bei schluffig-tonigem Lehm: 12%

Mit Verlusten zwischen 6 bis 19 % können für Kompost-N_t-Gaben hohe Effizienzen bei deren Anwendung bescheinigt werden. Entscheidend sind hier die anteiligen N-Stabilisierungen im Boden. Die Gesamt-N-Verluste bei der Verwertung von Bioabfallkomposten fallen durch die Anwendung auf lehmigen Standorten und durch höhere Abbaustabilitäten (Rottegrade) besonders niedrig aus.

Die hier vorgestellten ergänzenden Auswertungsergebnisse aus den 12-jährigen Versuchen des LTZ Augustenberg verdeutlichen die Eignung von Bioabfallkomposten für einen Humusaufbau, ohne dass mittelfristige N-Freisetzungen zu besorgen sind.

Darüber hinaus werden durch die vorliegenden Ergebnisse Möglichkeiten aufgezeigt, wie die durch landwirtschaftliche Kompostanwendung erfolgte Stickstoffzufuhr in den Nährstoffvergleichen nach Düngeverordnung angemessen zu berücksichtigen sind. Die zumindest mittelfristigen N-Stabilisierungen über die im Boden nach Kompostanwendung stabilisierten organischen Substanzen sollte im N-Vergleich berücksichtigt werden. Diese liegen bei Komposten aus Biogut für die betrachteten Versuchen bei etwa 60 % und für Grüngutkomposte bei etwa 75 % der zugeführten Kompost-N-Mengen. Daraus lässt sich schließen, dass lediglich 40 % der N-Zufuhr durch Biogutkomposte bzw. 25 % der N-Zufuhr durch Grüngutkomposte in den N-Vergleich nach Düngeverordnung einfließen dürften.

5. Zusammenfassung

Eine detaillierten statistischen Auswertungen der 12-jährigen Ergebnisse zur Entwicklung der C_{org}- und N_t-Bodengehalte sowie der N-Pflanzenentzüge aus Kompostversuchen des LTZ Augustenberg haben folgendes gezeigt (siehe Tab.2).

Die Entwicklungen und Beeinflussungen der C_{org} - und N_t -Bodengehalte werden durch die Kompostgaben nachhaltig erhöht. Bezogen auf die Kompostwirkung zeigt sich bei den N_t -Bodengehalten jedoch ein stärkeres Stabilisierungspotenzial als für die C_{org} -Bodengehalte. Die Anwendung von Fertigkomposten (Biogut bzw. Grüngut) führt zu einer stärkeren Erhöhung der C_{org} - und N_t -Bodengehalte als bei Frischkompost. Die Wirkprinzipien des Humusaufbaus sind dabei unterschiedlich. Bei Fertigkomposten dominiert die Höhe der kumulativen Gesamtgabe über den Versuchszeitraum – bei Frischkomposten wirkt sich zusätzlich die Höhe der jeweiligen Jahresgabe stark aus. Eine steigende mineralische N-Düngung hat allein nur geringe Auswirkungen auf die C_{org} - und N_t -Bodengehalte. Sie fördert jedoch die Erhöhung der N_t -Bodengehalte aus Kompostgaben.

Tab. 2: Komprimierte Ergebnisse der erweiterten statistischen Auswertung von Daten aus den Kompostversuchen des LTZ Augustenberg zur Humusaufbau und Stickstoffwirkung

Kompost	Bodenart	Humusaufbau in %		Düngewirkung von Kompost- N_t in %		N-Überschuss in %
		als C_{org}	als N_t	Aufnahme durch Pflanzen	Mineraldüngeräquivalenz	
Grüngutfertigkompost	schluffiger Lehm	59	75	8	20	6
Biogutfertigkompost	lehmgiger Sand	47	57	7	15	19
Biogutfrischkompost	schluffig-toniger Lehm	26	61	13	23	12

Die N-Entzüge werden am stärksten durch die mineralische N-Versorgung beeinflusst. Frischkomposte wirken hier vorwiegend über die Jahresgaben direkt fördernd auf die N-Entzüge. Fertigkomposte wirken vor allem indirekt auf die N-Entzüge über die Erhöhung der organischen Bodensubstanz und deren positive Auswirkungen. Es konnte ein direkter Vergleich der N-Entzüge aus Mineraldüngung und Kompostgaben erfolgen, sodass nicht nur die N-Abfuhr über die Nutzpflanzen, sondern auch die MDÄ der Kompost-N-Wirkung quantifizierbar war.

Die statistischen Detailauswertungen zeigen, dass vorwiegend lineare Einflüsse von Kompostgaben bestehen. Auf dieser Basis können einerseits Quantifizierungen der Einflüsse auf die C_{org} - und N_{f} -Bodengehalte sowie auf die N-Entzüge abgeschätzt werden – andererseits sind innerhalb der 12 Versuchsjahre keine Tendenzen in Richtung der Einstellung eines Fließgleichgewichts beim Humusaufbau mit Komposten erkennbar.

6. Literaturangaben

Haber, N., Kluge, R., Deller, B., Flaig, F., Schulz, E., Reinhold, R. 2008: Nachhaltige Kompostanwendung in der Landwirtschaft, Abschlussbericht 2008, Projektleitung und Hrsg.: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg – LTZ, Karlsruhe, gefördert durch das Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum BW und Bundesgütegemeinschaft Komposte. V., April 2008, 126 Seiten, 36 Abbildungen, 35 Tabellen, Anlagen.

Eintrag von pflanzenbürtigem organischem Kohlenstoff in den Boden in Energieanbausystemen

S. Höcker¹, H. Beßler¹, P. Mewes¹, K. Schweitzer¹, C. Engels¹

¹Humboldt-Universität zu Berlin, FG Pflanzenernährung und Düngung

1. Einführung

Im VDLUFA Standpunkt Humusbilanzierung sind Richtwerte für die anbauspezifischen Veränderungen der Humusvorräte in Böden ausgewiesen, die sich je nach Kulturart stark unterscheiden. In den letzten Jahren hat der Energiepflanzenanbau stark zugenommen. Dabei werden z. T. „neue“ Kulturarten angebaut und es werden auch andere Anbausysteme verwendet. Für die Überprüfung der Versorgung von Ackerböden mit organischer Substanz nach VDLUFA-Methode fehlen die Richtwerte für neu etablierte Energiepflanzenarten wie z.B. Sudangras (*Sorghum sudanense* x *S. bicolor*) oder Zuckerhirse (*Sorghum bicolor*). Auch für den Anbau von Mischkulturen und Zweifrucht-Systeme sind keine Daten vorhanden.

Die vorhandenen Richtwerte basieren auf langjährigen Dauerversuchen, die für die oben genannte Fruchtarten und Anbausysteme noch nicht angelegt worden sind.

Im Rahmen eines Verbund-Projektes, das von der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) finanziert wird, sollen fehlende Richtwerte mit einer anderen Methode ermittelt werden. Dabei wird der Kulturarten- und Anbausystem-spezifische Eintrag von organischem Kohlenstoff (C) in den Boden in Feldversuchen gemessen und die Humuswirkung der pflanzlichen C-Quellen unter standardisierten Bedingungen ermittelt. Die Humuszehrung wird auf Grundlage der Stickstoffaufnahme ermittelt. Der Einfluss unterschiedlicher Standortbedingungen auf die C-Dynamik im Boden wird modelliert. Die so gewonnenen Daten sollen dann als Diskussionsgrundlage für die Überarbeitung des VDLUFA-Standpunktes „Humusbilanzierung“ dienen.

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit dem Eintrag von Pflanzenbürtigem organischem C in den Boden bei verschiedenen Energiepflanzenarten und Energieanbausysteme im Anbaujahr 2012.

2. Material und Methoden

In Berlin-Dahlem wurden in einem Feldversuch folgende Pflanzenarten und Anbausysteme untersucht:

Tab. 1: Untersuchte Pflanzenarten und Anbausysteme mit entsprechenden Aussaat- und Ernteterminen

Pflanzenarten	Anbausystem	Aussaat	Ernte
Mais	Rein Saat	Mai'12	Sep'12
Sudangras	Rein Saat	Mai'12	Sep'12
Zuckerhirse	Rein Saat	Mai'12	Sep'12
Erbse	Rein Saat	Apr'12	Juli'12
Hafer	Rein Saat	Apr'12	Juli'12
Weizen Druschreife	Rein Saat	Okt'11	Aug'12
Mais/Zuckerhirse	Mischkultur	Mai'12	Sep'12
Erbse/Hafer	Mischkultur	Apr'12	Juli'12
Weizen/Mais	Zweiffrucht	Okt'11/Jun'12	Jun'12/Okt'12
Weizen/Sudangras	Zweiffrucht	Okt'11/Jun'12	Jun'12/Okt'12
Weizen/Zuckerhirse	Zweiffrucht	Okt'11/Jun'12	Jun'12/Okt'12

Die Pflanzenarten und Anbausysteme wurden zu praxisüblichen Terminen ausgesät bzw. geerntet (Tab.1). Es wurden von allen Pflanzenarten sowohl während der Vegetationsperiode als auch nach der Ernte Daten zum Pflanzenbürtigen Kohlenstoffeintrag erhoben (Abb. 1).

Während der Vegetationsperiode wurde auf definierten Flächen der oberirdische Bestandes-Abfall durch regelmäßiges Absammeln der Streu ermittelt. Es wurden auch Blätter entfernt, die auf dem Boden auf lagen und stark chlorotisch oder nekrotisch waren. Diese C-Fraktion wird im Folgenden als Bestandes-Abfall (BA) bezeichnet (Abb. 1). Auf den Versuchsflächen wurden Minirhizotron-Systeme installiert. In jeder Wiederholung wurden zwei Röhren eingebracht (zwischen und innerhalb der Pflanzreihen). In jeder Röhre wurde in zwei verschiedene Richtungen bis in eine Tiefe von 30 cm Wurzelbilder aufgenommen. Die Bilder wurden manuell ausgewertet. Es wurde das Erscheinen und Verschwinden von Wurzeln innerhalb von zwei Zeiträumen (drei Aufnahmezeitpunkte) ermittelt und ausgewertet. Aus den gewonnenen Daten wurde der Wurzeltturnover quantifiziert (Abb. 1). Dieser wird im Folgenden als Wurzelumsatz

(WU) bezeichnet. Der Einfluss der Auswaschung löslicher, organischer Verbindungen auf den gesamten C-Eintrag in den Boden kann als geringfügig eingeschätzt werden und wurde nicht erfasst.

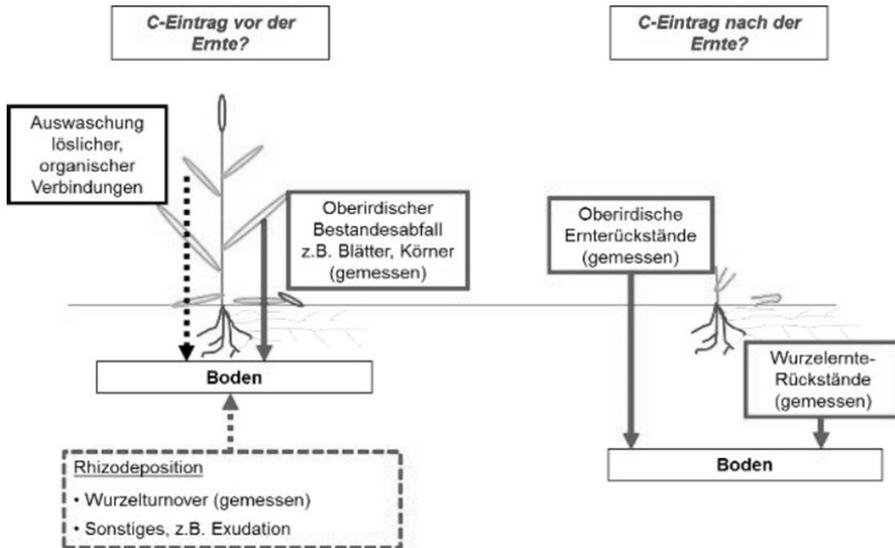


Abb. 1: Eintragspfade von Kohlenstoff (C) in den Boden während der Vegetationsperiode (vor der Ernte) und nach der Ernte. Rot umrandete: C-Quellen wurden gemessen. Schwarz umrandete: C-Quellen wurden nicht gemessen

Nach Ernte der erntefähigen Biomasse wurde die auf dem Feld zurückgebliebene Pflanzenmasse fraktioniert. Stoppeln und oberirdische, durch die Ernte abgefallene Pflanzenreste wurden entfernt bzw. aufgesammelt und werden im Folgenden als oberirdische Ernterückstände (OE) bezeichnet (Abb. 1). Wurzelstöcke wurden unmittelbar nach der Ernte mit Spaten vorsichtig aus dem Boden herausgehoben. Zusätzlich wurden Bohrkern in 0-30 cm Bodentiefe entnommen, um die Feinwurzelmasse zu bestimmen. Beide Fraktionen werden im Folgenden zusammen als Wurzel-Ernte-Rückstände (WER) bezeichnet (Abb. 1). Sämtliche Pflanzenproben wurden gereinigt, getrocknet und gemahlen. Aus repräsentativen Unterproben wurde in vierfacher Wiederholung der C-Gehalt mittels Elementaranalyse (vario MAX, Elementar, Hanau) ermittelt.

3. Ergebnisse

3.1 Reinsaat

Sudangras (SG) und Zuckerhirse (ZH) wiesen mit 2666 und 3311 kg C ha⁻¹ a⁻¹ einen hohen Gesamt-Kohlenstoffeintrag (GCE) in den Boden auf (Tab. 2). Die Einträge lagen deutlich über denen von Mais (1415 kg C ha⁻¹ a⁻¹). Durch Bestandes-Abfall (BA) wurden schon vor der Ernte mit 234 kg C ha⁻¹ a⁻¹ (SG) und 259 kg C ha⁻¹ a⁻¹ (ZH) etwa 8 bis 9 % des GCE in den Boden eingetragen. Beim Anbau von Mais wurden deutlich geringere oberirdische C-Einträge durch BA und oberirdische Ernterückstände (OE) im Vergleich zu SG und ZH gemessen (Tab. 2). Der Anteil des C-Eintrages durch Wurzelumsatz (WU) am GCE war bei allen untersuchten Pflanzenarten gering.

Tab.2: Kohlenstoffeintrag (kg C ha⁻¹ a⁻¹) aller untersuchten Pflanzenarten in Rein Saat und Hauptfruchtstellung in den Boden, aufgeteilt in verschiedene Pflanzenfraktionen. BA: Bestandes-Abfall; OE: oberirdische Ernterückstände; WU: Wurzelumsatz; WER: Wurzel-Ernterückstand; GCE: Gesamt-Kohlenstoffeintrag; für GCE sind die Standardabweichungen angegeben, n=4

Pflanzenart	BA	OE	WU	WER	GCE
Sudangras	234	509	30	1894	2666 (±565)
Zuckerhirse	259	614	45	2393	3311 (±848)
Mais	79	384	30	921	1415 (±208)
Weizen	342	217	37	229	825 (±149)
Erbse	66	28	22	93	209 ⁵ (±20)
Hafer	465	229	15	263	972 (±112)

Der GCE von Mais, Weizen und Erbse unterschied sich stark voneinander. Besonders auffällig war der geringe GCE beim Anbau von Erbse (Tab. 2). Mais brachte etwa die 6fache Menge an GCE im Vergleich zur Erbse und etwa die 2fache Menge an GCE im Vergleich zu Weizen in den Boden. Die Zufuhr an organischem Pflanzenbürtigem C in den Boden war also bei Mais, der nach VDLUFA-Humusbilanzierung der stärkste Humuszehrer ist (- 560 bis - 800 kg C ha⁻¹ a⁻¹), am höchsten. Bei Anbau von Erbsen, nach VDLUFA-Humusbilanzierung ein Humusmehrer mit einem Gewinn von 160 bis 240 kg C ha⁻¹ a⁻¹ Humus-C im Boden, war der GCE dagegen am geringsten.

3.2 Mischkulturen

Der GCE der Mischkultur Mais/Zuckerhirse (MZ) war deutlich höher als der GCE der Mischkultur Erbse/Hafer (EH). Der Anbau von MZ brachte mit $4114 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ etwa 6-mal so viel Kohlenstoff in den Boden ein wie EH mit $683 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Abb. 3). Der Unterschied war hauptsächlich auf den WER zurückzuführen. Diese C-Quelle war bei MZ ($3294 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) etwa 14-mal so hoch wie bei EH ($237 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

Tab. 3: Kohlenstoffeintrag ($\text{kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) der untersuchten Pflanzenarten angebaut als Mischkultur in den Boden, aufgeteilt in verschiedene Pflanzenfraktionen. BA: Bestandes-Abfall; OE: oberirdische Ernterückstände; WU: Wurzelumsatz; WER: Wurzel-Ernte-Rückstand; GCE: Gesamt-Kohlenstoffeintrag; für GCE sind die Standardabweichungen angegeben, $n=4$

Pflanzenart	BA	OE	WU	WER	GCE
Mais/Zuckerhirse	208	566	46	3294	4114 (± 1545)
Erbse/Hafer	256	146	44	237	683 (± 89)

Vergleicht man MZ (Tab. 3) mit Mais und Zuckerhirse in Reinsaat (Tab. 2), fällt auf, dass ein höherer GCE gemessen wurde. Er lag mit

6

$4114 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ über dem gemittelten GCE von Mais ($1415 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und von Zuckerhirse ($3311 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Dies spricht für Wechselwirkungen zwischen diesen beiden Arten, die zu einer erhöhten Wurzelbiomassebildung führen. Der GCE von EH lag mit $683 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Tab. 3) in etwa im Mittel des GCE von Erbse ($209 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und Hafer ($972 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) in Reinsaat (Tab. 2).

3.3 Zweifrucht-Systeme

Grünschnitt-Winterweizen (GWW) wurde im Oktober ausgesät und Anfang Juni geerntet. Er brachte einen Gesamt-Kohlenstoffeintrag (GCE) von $580 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ in den Boden. Die im Anschluss ausgesäten Energiepflanzenarten in Zweifrucht-Stellung (Aussaat Anfang Juni) wiesen einen GCE von $680 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Mais), $1616 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Sudangras) und $1760 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Zuckerhirse) auf (Abb. 2).

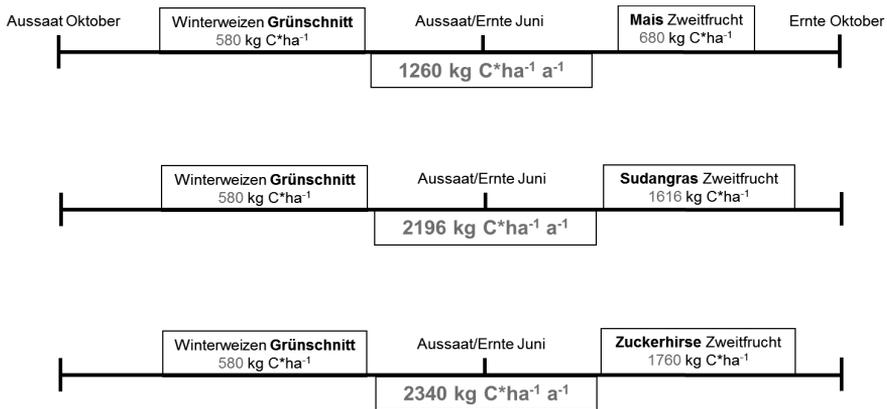


Abb. 2: Gesamter Kohlenstoffeintrag (kg C ha⁻¹ a⁻¹) der untersuchten Zweiffrucht-Systeme in den Boden

Der GCE der Zweiffrucht-Systeme (GWG + Zweitfrucht) lag insgesamt bei allen drei Systemen über 1000 kg C ha⁻¹ a⁻¹ (Abb. 2). Der GCE von Winterweizen Grünschnitt (WWG) gefolgt von Mais lag mit 1260 kg C ha⁻¹ a⁻¹ deutlich unter dem GCE von WWG gefolgt von Sudangras (2196 kg C ha⁻¹ a⁻¹) und Zuckerhirse (1760 kg C ha⁻¹ a⁻¹).

Es gab deutliche Unterschiede des GCE der Zweiffrucht-Systeme zum GCE der einzelnen Pflanzenarten in Hauptfruchtstellung. Der GCE von Weizen in Hauptfruchtstellung war mit 825 kg C ha⁻¹ a⁻¹ geringer als der GCE der Zweiffrucht-Systeme (Tab. 2, Abb. 2). Mais, Sudangras und Zuckerhirse wiesen jedoch einen höheren GCE auf, wenn sie in Hauptfruchtstellung angebaut wurden (Aussaat Mai) verglichen mit dem GCE der Zweiffrucht-Systeme. Besonders der GCE der Zuckerhirse in Hauptfruchtstellung war mit 3311 kg C ha⁻¹ a⁻¹ (Tab. 2) um etwa 40% höher als der GCE des Zweiffrucht-Systems WWG/Zuckerhirse mit einem GCE von 2340 kg C ha⁻¹ a⁻¹ (Abb. 2).

4. Zusammenfassung

Im Anbaujahr 2012 war der Gesamt-Kohlenstoffeintrag (GCE) von Sudangras und Zuckerhirse deutlich höher als der GCE von Mais. Beim Anbau von Zuckerhirse wurde mit durchschnittlich 3311 kg C ha⁻¹ a⁻¹ die höchste Menge an GCE

in den Boden gemessen. Der GCE von Mais, Sudangras und Zuckerhirse lag deutlich über dem GCE von Weizen, Erbse und Hafer. Besonders niedrig lag der GCE beim Anbau von Erbse mit nur $209 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Die verschiedenen Eintragsquellen von Kohlenstoff hatten bezüglich des GCE eine unterschiedlich große Bedeutung. Generell stellten die Wurzelernte-Rückstände (WER) bei Mais, Sudangras und Zuckerhirse den höchsten Anteil am GCE in den Boden dar. Es konnte aber auch schon während der Vegetationsperiode bei allen untersuchten Arten hohe C-Einträge durch Bestandes-Abfall gemessen werden.

Beim Anbau der Mischkulturen Mais/Zuckerhirse wurde etwa die 6-fache Menge an Kohlenstoff in den Boden eingetragen im Vergleich zum Anbau von Erbse/Hafer. Der hohe GCE ($4114 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) von Mais/Zuckerhirse ist vor allem auf den hohen C-Eintrag der Wurzel-Ernte-Rückstände zurückzuführen. Der durchschnittliche GCE beim Anbau von Erbse/Hafer lag im Mittel der durchschnittlichen GCE von Erbse und Hafer in Reinsaat. Mais/Zuckerhirse hatte dagegen einen deutlich höheren GCE als das Mittel des GCE von Mais und Zuckerhirse in Reinsaat, was für eine Wechselwirkung dieser beiden Arten spricht, die zu einer höheren Wurzelbiomasse führt.

Der Anbau von Zweifrucht-Systemen (erst Grünschnitt-Weizen dann Zweitfrucht) führte zu einem deutlich höheren GCE als der Anbau von Weizen geerntet zur Druschreife. Der GCE der Zweifrucht-Systeme mit Sudangras und Zuckerhirse in Zweitfrucht-Stellung war vergleichbar hoch und lag deutlich über dem GCE von Grünschnitt-Weizen gefolgt von Mais in Zweitfrucht-Stellung.

Danksagung

Dieses Projekt wird finanziell durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe unterstützt (FKZ 22401112).

Humuswirkung pflanzlicher Kohlenstoffquellen

P. Mewes, S. Höcker, M. Lobach, K. Schweitzer, C. Engels
Humboldt-Universität zu Berlin, FG Pflanzenernährung und Düngung

1. Einführung

Der Anbau von landwirtschaftlichen und gärtnerischen Nutzpflanzen ist im Allgemeinen mit Humusverlusten verbunden. Diese Humusverluste können durch Zufuhr von organischen Düngern und verschiedene pflanzliche Quellen für organischen Kohlenstoff (C), wie z. B. ober- und unterirdische Ernterückstände, ausgeglichen werden. Die Humuswirkung beschreibt den Anteil des Kohlenstoffs aus pflanzlichen Quellen, der langfristig im Boden verbleibt. Sie wurde herkömmlich auf der experimentellen Grundlage von langjährigen Dauerversuchen bestimmt und in Äquivalenten zur organischen Kohlenstoffquelle Stallmist (ROS) oder zur organischen Bodensubstanz (HE) ausgedrückt.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Quantifizierung der Humuswirkung in einem Schnellverfahren auf der experimentellen Grundlage von Streubeutelversuchen im Feld und in Laborversuchen. Es wird der kurzfristige Abbau der pflanzlichen C-Quelle betrachtet um auf den langfristig im Boden verbleibenden Anteil zu schließen. Dieser Anteil wird in einem Koeffizienten ausgedrückt, der die Humifizierung der pflanzlichen C-Quelle beschreibt und fortan als Humifizierungskoeffizient $H(t)$ bezeichnet wird. Außerdem wird die Eignung verschiedener biochemischer Eigenschaften der pflanzlichen C-Quellen zur Charakterisierung ihrer Humifizierungskoeffizienten überprüft.

2. Material und Methoden

Die untersuchten Pflanzenmaterialien entstammen einem Feldversuch und beinhalten den oberirdischen Bestandsabfall und die Ernte- und Wurzelrückstände in Energiepflanzensystemen sowie Winterweizenstroh als Standard. Es wurden Inkubationsversuche (DIN ISO 16072:2005-6) durchgeführt.

Die pflanzliche C-Quelle wurde bei 60 °C getrocknet, auf 1 mm Partikelgröße vermahlen und in Feinboden aus dem Ap-Horizont des Versuchsstandortes Berlin-Dahlem inkubiert (Inkubationsverhältnis 400 mg C (100 g trocke-

nen Boden)¹⁾. Die Feuchte wurde auf 50 % der Wasserhaltekapazität (ISO 14238:1997) eingestellt und die Temperatur konstant bei 22 °C gehalten. Es wurden 3 Wiederholungen je Prüfglied angesetzt, Bodenatmung und Blindwert (Gefäß ohne Boden) bestimmt. Nach 1, 3, 7, 14, 22, 36, 57, 78 und 99 Tagen wurde die CO₂-C-Freisetzung durch Säure-Base-Titration (0,3 M HCl, 0,15 M NaOH) gemessen. Die CO₂-C-Freisetzung aus der pflanzlichen C-Quelle ergab sich als Differenz der CO₂-C-Freisetzung aus Boden mit und ohne zugefügtem Pflanzenmaterial. Der Humifizierungskoeffizient zum Messzeitpunkt $H(t)$ [mg C (mg C)⁻¹] errechnete sich nach:

$$H(t) = \frac{C_i - C(t)}{C_i}$$

C_i Pflanzliche C-Zugabe [mg C]

$C_{(t)}$ CO₂-C-Freisetzung aus der pflanzlichen C-Quelle [mg C]

Der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der pflanzlichen C-Quellen wurde bestimmt (DIN EN 15900). Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten (WSC) wurde mit der Anthronmethode (Lengerken und Zimmermann, 1991) bestimmt. In einer Weender-Analyse nach van Soest (1967) wurden die Fraktionen NDF (neutral detergent fibre), ADF (acid detergent fibre) und ADL (acid detergent lignin) bestimmt, aus denen die Faserfraktionen Hemicellulose (HEM), Cellulose (CEL) und Lignocellulose (LIC) errechnet wurden.

Die Auswertung erfolgte mit Wolfram *Mathematica*^{®9}.

3. Ergebnisse

Aus der Messwertreihe der CO₂-C-Freisetzung lässt sich zu jedem Messzeitpunkt ein Humifizierungskoeffizient berechnen. Zum Zeitpunkt $t = 99$ Tage charakterisiert er die kurzfristige Humuswirkung und zeigt fruchtartspezifische Unterschiede zwischen den betrachteten C-Quellen auf. Die kurzfristige Humuswirkung von Winterweizen, zur Druschreife geerntet, liegt deutlich über der der Körnerleguminose Erbse und der betrachteten Energiepflanzenarten (Tab. 1).

Tab. 1: Kurzfristige Humuswirkung (99 d Inkubationsdauer) verschiedener pflanzlicher C-Quellen und Fruchtarten; Mittelwerte \pm Standardabweichung, n = 3, WW Winterweizen, HF Hauptfrucht, ZF Zweitfrucht, MF Mischfrucht

Fruchtart	Pflanzliche C-Quelle		
	Bestandsabfall	Ernterückstand	Wurzelmückstand
	Humifizierungskoeffizient [mg C (mg C) ⁻¹]		
Erbse	0,28 \pm 0,01	0,33 \pm 0,05	
MF Erbse / Hafer	0,32 \pm 0,02	0,28 \pm 0,00	0,38 \pm 0,03
Hafer	0,30 \pm 0,01	0,27 \pm 0,01	0,36 \pm 0,04
WW Grünschnitt		0,30 \pm 0,01	0,35 \pm 0,02
WW Druschreife	0,27 \pm 0,02	0,44 \pm 0,02	0,44 \pm 0,03
HF Mais	0,31 \pm 0,01	0,35 \pm 0,01	0,39 \pm 0,00
MF Mais / <i>S. bicolor</i>	0,29 \pm 0,01	0,36 \pm 0,01	0,42 \pm 0,01
HF <i>Sorghum bicolor</i>	0,31 \pm 0,01	0,31 \pm 0,02	0,33 \pm 0,02
HF <i>S. sudanense</i> x <i>bicolor</i>	0,32 \pm 0,01	0,32 \pm 0,01	0,30 \pm 0,03
ZF Mais	0,34 \pm 0,02	0,35 \pm 0,01	0,39 \pm 0,03
Mittelwert C-Quelle	0,31 \pm 0,02	0,33 \pm 0,02	0,37 \pm 0,02

Die kurzfristige Humuswirkung lässt Aussagen über den langfristigen Verbleib des Kohlenstoffs im Boden, der Zeitspannen von Dauerversuchen abdeckt, noch offen. Für die Betrachtung ist die Anpassung eines geeigneten mathematischen Modells an die Messwertreihe, dessen Konvergenz und Intervallschätzung notwendig. Es wurden unterschiedliche Modelle getestet:

$$(1) \quad C_{Exp}(t) = 100 - a t^{-b}$$

Die Anpassung einer Exponentialfunktion mit der abhängigen Variablen in der Basis (1) ist nur zu 96,46 % durch die Messwertreihe bestimmt und lässt keine Extrapolation zu (Tab. 2).

$$(2) \quad C(t) = C_n e^{-k t}$$

$$(3) \quad C_1(t) = C_0 (1 - e^{-k t})$$

$$(4) \quad C_{11}(t) = C_{01} (1 - e^{-k_{01} t}) + C_{02} (1 - e^{-k_{02} t})$$

Ausgehend von der Reaktionskinetik erster Ordnung (2) lassen sich Modelle anpassen, die den Abbau eines C-Pools C_0 mit der Abbaurrate k im Zeitverlauf t beschreiben. Sie können der CO_2 -C-Freisetzung eine Komponente (3) oder zwei Komponenten mit unterschiedlichen Abbauraten (4) zugrunde legen.

Modellanpassungen der Reaktionskinetik erster Ordnung sind sehr gut durch die Messwertreihe bestimmt. Die Güte der Modellanpassung verbessert sich durch die Differenzierung verschiedener Komponenten. Die Hinzunahme einer dritten Komponente führt nur zu einem geringfügig höher bestimmten Modell (Tab. 2).

Tab. 2: Bestimmtheitsmaße verschiedener Modellanpassungen nach 99 d Inkubationsdauer

$C_{\text{exp}}(t)$	$C_1(t)$	$C_{11}(t)$	$C_{111}(t)$
0,9646	0,9904	0,9988	0,9989

Der Grenzwert der Modellanpassung $\lim_{t \rightarrow \infty} C_{11}(t) \lim_{t \rightarrow \infty} C_{111}(t)$ stellt die potentielle CO_2 -C-Freisetzung aus der pflanzlichen C-Quelle dar (Abb. 1).

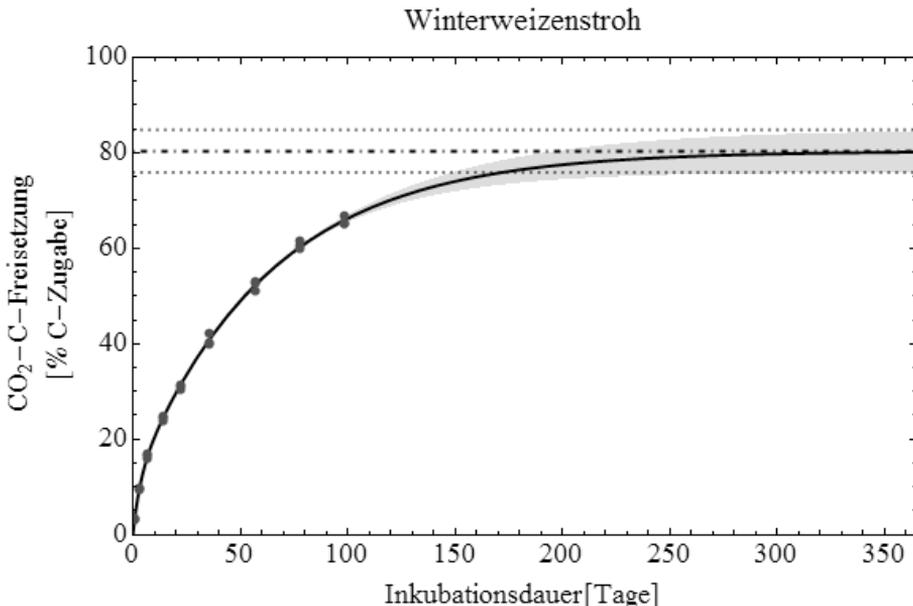


Abb. 1: CO_2 -C-Freisetzung aus Winterweizenstroh. Extrapolation des Zweikomponentenmodells auf einjährigen Versuchszeitraum mit 95 %-Konfidenzintervall und Grenzwertdarstellung.

Der Grenzwert des Humifizierungskoeffizienten beschreibt analog die langfristige Humuswirkung:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} H_{11}(t) = \frac{C_i - \lim_{t \rightarrow \infty} C_{11}(t)}{C_i}$$

Hierfür ergibt sich aus

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} C_{11}(t) &= C_{01} + C_{02} \\ \lim_{t \rightarrow \infty} H_{11}(t) &= \frac{C_i - C_{01} - C_{02}}{C_i} \end{aligned}$$

Unterschiede zwischen den pflanzlichen C-Quellen in der kurzfristigen Humuswirkung sind nicht auf die langfristige Humuswirkung übertragbar. Der hohen kurzfristigen Humuswirkung der Ernte- und Wurzelrückstände steht eine niedrige langfristige Humuswirkung gegenüber (Tab. 1, Tab. 3).

Tab. 3: Langfristige Humuswirkung verschiedener pflanzlicher C-Quellen und Fruchtarten nach dem Zweikomponentenmodell $C_{11}(t)$; Grenzwerte $\pm 95\%$ -Konfidenzintervallgrenzen, $n=3$, WW Winterweizen, HF Hauptfrucht, ZF Zweitfrucht, MF Mischfrucht

Fruchtart	Pflanzliche C-Quelle		
	Bestandsabfall	Ernte- rückstand	Wurzel- rückstand
	Humifizierungskoeffizient [$\text{mg C} (\text{mg C})^{-1}$]		
Erbse	0,25 \pm 0,06	0,28 \pm 0,08	
MF Erbse / Hafer	0,28 \pm 0,03	0,18 \pm 0,03	0,23 \pm 0,02
Hafer	0,27 \pm 0,02	0,15 \pm 0,05	0,18 \pm 0,21
WW Grünschnitt		-0,01 \pm 0,16	-0,06 \pm 0,13
WW Druschreife	0,25 \pm 0,02	0,12 \pm 0,18	0,18 \pm 0,48
HF Mais	0,29 \pm 0,02	0,04 \pm 0,06	0,05 \pm 0,06
MF Mais / <i>S. bicolor</i>	0,25 \pm 0,02	0,03 \pm 0,09	0,20 \pm 0,05
HF <i>Sorghum bicolor</i>	0,26 \pm 0,02	-0,02 \pm 0,13	0,03 \pm 0,15
HF <i>S. sudanense</i> x <i>S. bicolor</i>	0,27 \pm 0,02	0,03 \pm 0,08	0,07 \pm 0,16
ZF Mais	0,21 \pm 0,07	-0,21 \pm 0,27	-0,94 \pm 1,42
Mittelwert C-Quelle	0,27 \pm 0,03	0,13 \pm 0,09	0,14 \pm 0,13

Die Untersuchung verschiedener biochemischer Eigenschaften pflanzlicher C-Quellen hinsichtlich ihrer Eignung für die Abschätzung der Humuswirkung führt zu einem differenzierten Ergebnis. Die Umsatzrate von einem schnell abbaubaren Pool (k_{02}) ist signifikant korreliert mit dem Hemicellulosegehalt und dem C/N-Verhältnis. Für die Abschätzung der kurzfristigen Humuswirkung eignen sich das C/N-Verhältnis, der Cellulose- und der Lignocellulosegehalt. Die langfristige Humuswirkung ist, wie die Poolgröße (C_{01}) und die Umsatzrate (k_{01}) des langsam abbaubaren Pools, nur mit dem C/N-Verhältnis korreliert (Tab. 4).

Tab. 4: Korrelationskoeffizienten biochemischer Parameter mit Modellparametern des Zweikomponentenmodells $C_{11}(t)$ und der kurzfristigen und langfristigen Humuswirkung

Parameter	C/N	Stoffklassenfraktionen			
		WSC	CEL	HEM	LIC
C_{01}	0,41*	0,19	-0,04	-0,33	-0,11
k_{01}	-0,35*	0,2	0,07	0,05	-0,28
C_{02}	0,17	-0,05	0,13	0,3	0,13
k_{02}	0,38*	0,29	0,08	-0,42*	-0,02
$H(t = 99 \text{ d})$	-0,47**	-0,32	0,45*	0,12	0,42*
$\lim_{t \rightarrow \infty} H_{11}(t)$	-0,71***	-0,25	-0,1	0,13	-0,003

4. Zusammenfassung

In dieser Studie wird die Humuswirkung durch einen Koeffizienten charakterisiert, der den Anteil der pflanzlichen C-Quelle beschreibt, welcher über einen definierten Betrachtungszeitraum im Boden verbleibt. Er wird als Humifizierungskoeffizient $H(t)$ bezeichnet. Die im Modellversuch ermittelten Humifizierungskoeffizienten unterscheiden sich stark, je nach mathematischem Modell und Messdauer. Das Zweikomponentenmodell der Reaktionskinetik erster Ordnung beschreibt die Messwertreihe hinreichend gut.

Die im Modellversuch ermittelte Humuswirkung unterscheidet sich je nach pflanzlicher C-Quelle und ist fruchtartspezifisch. Die Humuswirkung kann über einen begrenzten kurzfristigen Zeitraum oder eine unbegrenzt langfristige Zeit-

spanne betrachtet werden. Unterschiede verschiedener pflanzlicher C-Quellen und Fruchtarten in der kurzfristigen Humuswirkung sind nicht auf die langfristige Humuswirkung übertragbar.

Für die Abschätzung der kurzfristigen Humuswirkung (99 Tage) eignen sich das C/N-Verhältnis, der Cellulose- und der Lignocellulosegehalt. Für die Abschätzung der langfristigen Humuswirkung eignet sich das C/N-Verhältnis.

5. Literaturangaben

Lengerken, J., Zimmermann, K., 1991: Handbuch Futtermittelprüfung. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.

Van Soest, P.J., Wine, R.H., 1967: Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. Journal of the Association of Official Analytical Chemists 50, 50-55.

Danksagung

Dieses Projekt wird finanziell durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe unterstützt (FKZ 22401112).

Mangan-Status von Getreide – Einbindung des Mn-Schnelltesters NN-Easy 55 in die Düngeberatung

H. Pralle, A. Borchert, H.-W. Olf

Hochschule Osnabrück

1. Einleitung

Der Mangan-Schnelltester NN-Easy 55 stellt ein innovatives Hilfsmittel dar, mit dem der aktuelle Mn-Versorgungsstatus von Pflanzen bestimmt werden kann. Mit dem Handheld-Gerät lässt sich auf dem Feld die Chlorophyll-Fluoreszenz von Blättern messen, woraus sich eine Aussage zur Mn-Versorgung treffen lässt (NutriNostica, 2009). Aus dem Messergebnis kann direkt eine Empfehlung zur Notwendigkeit einer Mn-Düngung abgeleitet werden. Entwickelt wurde der Schnelltester von der NutriNostica ApS, Kopenhagen, Dänemark, wo er auch schon seit mehreren Jahren erfolgreich eingesetzt wird. Im Rahmen des EFRE-Projektes „Erfassung der Mn-Versorgung landwirtschaftlicher Kulturen zur Optimierung der Mn-Düngestrategie“ wurde an der Hochschule Osnabrück erarbeitet, wie der NN-Easy 55 in die hiesige Düngeberatung integriert werden kann.

2. Erfassung des Mn-Status durch Messung der Chlorophyll-Fluoreszenz mittels des Schnelltesters NN-Easy 55

Das Prinzip der Chlorophyll-Fluoreszenzmessung erfolgt mit dem NN-Easy 55 derart, dass ein jüngstes, vollentwickeltes Blatt zunächst 25 Minuten mittels eines speziellen Messclips partiell abgedunkelt wird, um so die Photosynthese zu stoppen. Anschließend wird das Blatt mit dem Clip am Gerät befestigt und von einer Lichtquelle (LED) mit einem definierten Lichtimpuls (bis $3500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 627 nm) beaufschlagt. Die dabei entstehende Chlorophyll-Fluoreszenz wird von einer Messzelle erfasst und als Messergebnis ein PEU-Wert (Bereich: 1-100) ausgewiesen. Für die Beurteilung der Mn-Versorgung eines Pflanzenbestandes wird eine Messung von 15-25 jüngsten, vollentwickelten Blättern als ausreichend angegeben. Die Messwerte werden via Bluetooth in ein PC-Programm des Herstellers übertragen und dort tabellarisch dargestellt. Dabei werden die gemessenen PEU-Werte sechs Klassen zugeordnet, welche die Intensität des

Mn-Mangels beschreiben (vgl. Tab. 1). Diese Klassen werden auch durch 0 bis 5 Sterne (*) visualisiert. Ein Mn-Mangel beginnt unterhalb der höchsten Klasse (PEU 95-100), aber erst unterhalb der zweithöchsten Klasse (PEU 90-94) ist er so bedeutsam, dass eine Mn-Düngung empfohlen wird. Ein starker Mn-Mangel liegt ab der vierten Klasse (PEU 60-74) vor.

Tab. 1: Beurteilungstabelle des Mn-Status anhand des PEU

PEU	Bewertung	Erläuterung
95-100	*****	Kein Mn-Mangel
90-94	****	Kein oder geringer Mn-Mangel
75-89	***	Moderater Mn-Mangel
60-74	**	Starker Mn-Mangel
40-59	*	Sehr starker Mn-Mangel
< 40		Extremer Mn-Mangel

Das Herstellerprogramm ermöglicht eine Mittelwertberechnung der PEU-Werte der gemessenen Blätter und dient auch der Einstellung der Messparameter Belichtungsintensität und -dauer. Eine Exportmöglichkeit der Ergebnisse in eine csv-Datei ist implementiert, das Hinzufügen weiterer Informationen jedoch nur sehr eingeschränkt möglich.

3. Stuserhebung zur Mn-Versorgung von Getreide

Seit 2012 erfolgt im Rahmen des Forschungsprojektes mit dem NN-Easy 55 eine Stuserhebung zur Manganversorgung von Winterweizen und Wintergerste. Bisher konnten 124 Schläge in Niedersachsen untersucht werden, wobei auch Boden- und Pflanzenproben entnommen und auf ihre Mn-Gehalte untersucht wurden. Die Bestimmung der Mn-Gehalte im Boden erfolgte nach der CAT-Methode (VDLUFA, 1991), für die Pflanzenanalysen wurde die Methode des Mikrowellendruckaufschlusses (300 mg Blattmaterial + 8 ml HNO₃ [konz. 65%] bei 175 °C) eingesetzt.

Die Stuserhebung ergab für rund 30 % der untersuchten Schläge das Vorliegen eines moderaten bis zuweilen auch starken Mn-Mangels (vgl. Abb. 1). Dabei waren Winterweizen und Wintergerste ähnlich stark von einer unzureichenden Mn-Versorgung betroffen. Beim Weizen war jedoch der Anteil Schläge ohne Mn-Mangel mit ca. 62 % deutlich höher als bei der Gerste (50 %).

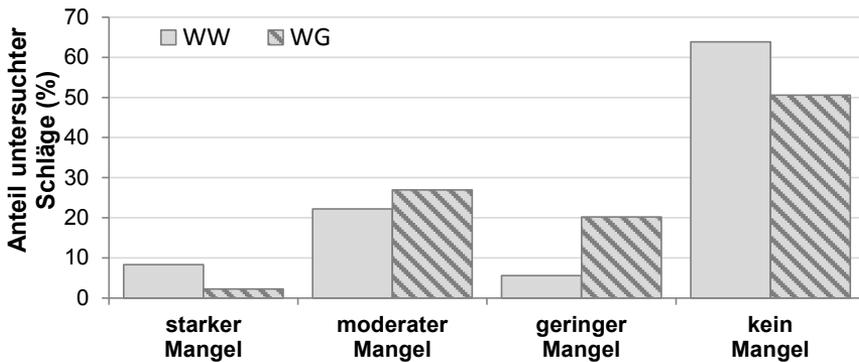


Abb. 1: Manganversorgung untersuchter Winterweizen- und Wintergerstenschläge 2012 und 2013 (n = 124)

Diese Statuserhebung macht deutlich, dass Mn-Mangel kein marginales Problem ist, sondern in einer umfassenden Düngeberatung durchaus Bedeutung hat.

4. Eignung des Schnelltesters für den Praxiseinsatz

Im Feldeinsatz erwies sich der NN-Easy 55 als einfach und praxistauglich anwendbar, wobei das Auslesen der Daten zumeist problemlos verlief. Wie vom Hersteller beschrieben, ist das Messergebnis weitgehend frei von Störeinflüssen wie z. B. Mangel an anderen Nährstoffen. Fehlmessungen in Form zu niedriger Messergebnisse entstehen jedoch bei vorliegendem abiotischen Stress der Pflanzen, insbesondere hervorgerufen durch Temperaturen unter 5 °C sowie längere Trockenheit.

Dem Problem des Trockenstresses lässt sich nur dadurch begegnen, dass zu solchen Zeitpunkten auf den Einsatz des NN-Easy 55 verzichtet wird. Messungen bei Temperaturen unterhalb von 5 °C sind dagegen schwerer zu umgehen, da solche Temperaturen häufig bei beabsichtigten Mn-Düngeterminen im Herbst oder zeitigen Frühjahr vorherrschen. Werden unter diesen Bedingungen Blätter mit dem NN-Easy 55 gemessen, fallen die PEU-Werte zu niedrig aus, was eine Mn-Düngeempfehlung trotz ausreichender Versorgung zur Folge hat. Dies bestätigen auch die Ergebnisse eines Gefäßversuches mit Wintergerste. Die PEU-Werte optimal versorgter, warm stehender Gerstenpflanzen fielen schon nach 24-stündiger Lagerung bei 0 °C von 94 auf 82 ab. Die anschließende

Lagerung der Blätter bei Zimmertemperatur (20 °C) führte zum Wiederanstieg der PEU-Werte bis fast zurück auf das Ausgangsniveau. Für die Praxisanwendung ergibt sich daraus, dass bei Temperaturen unterhalb von 5 °C zwar Blätter entnommen werden können, diese vor der Messung jedoch ausreichend lange (10-15 h) für eine Wiedererwärmung bei Zimmertemperatur gelagert werden müssen. Die Probenlagerung sollte derart erfolgen, dass die entnommenen Blätter zusammen mit einem angefeuchteten Blatt Haushaltspapier locker in einem geschlossenen Kunststoffbeutel aufbewahrt werden. So verpackt sind die Blätter sogar mehrere Tage lagerfähig, dies allerdings nicht bei Zimmertemperatur sondern im Kühlschrank. Solch eine Probenlagerung ermöglicht z. B. auch die Beprobung mehrerer Schläge, die erst später gemeinsam gemessen werden sollen. Vor der Messung ist dann wiederum eine ausreichende Wiedererwärmung der Proben sicher zu stellen.

Die vom Hersteller vorgenommene Einstufung der Messergebnisse in die PEU-Klassen ist übersichtlich, verständlich und ermöglicht eine Entscheidung für oder gegen eine Mn-Düngung. Als kritisch angesehen wird jedoch die empfohlene Stichprobengröße von 15-25 Blättern, die pro Schlag oder Teilstück repräsentativ zu entnehmen sind. Bei der Statuserhebung der Praxisschläge zeigte sich, dass die PEU-Messwerte der einzelnen Blätter eines Schlages häufig deutlich voneinander abweichen. Dies kann bei unglücklicher Probenahme leicht dazu führen, dass bei nur 25 entnommenen Blättern ein Schlag hinsichtlich seiner Mn-Versorgung sowohl über- als auch unterschätzt wird. Entsprechende Datensätze wurde derart simuliert, dass für unterschiedliche Stichprobengrößen jeweils nur die höchsten bzw. niedrigsten Einzelwerte für die Mittelwertbildung herangezogen wurden. Dabei ergab sich, dass sich im Mittel von 48 ausgewerteten Schlägen die Mittelwerte kleiner Probengrößen (25-15 Blätter) um bis zu 6-8 PEU von den Mittelwerten aus Probengrößen von 50 Blättern abweichen. Die Entscheidung für oder gegen eine Mn-Düngung wäre somit völlig gegensätzlich ausgefallen. Daher wird zu einer Stichprobengröße von 50 Blättern pro Schlag geraten, wodurch sich das Risiko einer solchen Fehleinschätzung deutlich verringert. Der erforderliche Mehraufwand für die größere Stichprobe ist nur geringfügig.

Die häufig beobachtete Streuung der Einzelwerte lässt darüber hinaus auch die alleinige Betrachtung des Mittelwertes – auch von 50 gemessenen Blättern – kritisch erscheinen. Dies gilt ebenso für den Grenzwert bei PEU 90, welcher über die Notwendigkeit einer Mn-Düngung entscheidet. Bei den beprobten Schlägen

der Stuserhebung ergaben sich oftmals aus völlig unterschiedlich verteilten Einzelwerten sehr ähnliche Mittelwerte. Liegen diese im Bereich um PEU 90, so können wenige hohe oder niedrige Einzelwerte den Ausschlag für oder gegen das Vorliegen eines Mn-Düngebedarfs geben. Zur Umgehung dieses Problems sind mehrere statistische oder mathematische Lösungsansätze denkbar, z. B. die Eliminierung von Ausreißern oder die Betrachtung des Medians statt des arithmetischen Mittelwertes. Da sich jedoch aus der Zusammensetzung der Einzelwerte ein Informationsgewinn erzielen lässt, erscheint die gemeinsame Betrachtung von Mittelwert und Verteilung der Einzelwerte als die geeignetere Methode, den Mn-Status eines Schläges zu beurteilen.

5. Optimierte Vorgehensweise zur Ableitung des Mn-Düngebedarfs

Die Umsetzung der oben beschriebenen Vorgehensweise lässt die Notwendigkeit eines Zusatzprogrammes erkennen, wodurch ein Einsatz des NN-Easy 55 in der Düngeberatung optimierter erfolgen kann. Mit dem „NN-Easy Tool“ wurde ein solches auf Excel® basierendes Zusatzprogramm entwickelt. Es liefert in Form von grafischen Darstellungen eine benutzerfreundlichere Auswertung der Messergebnisse und ermöglicht darüber hinaus auch die Ergänzung der Messdaten um weitere Angaben (z. B. Kultur, Sorte, BBCH-Stadium, Schlagbezeichnung, etc.). Die wichtigste Funktion des NN-Easy Tools besteht jedoch darin, aus den vorliegenden Daten eine sichere Beurteilung des Mn-Status abzuleiten.

Das Programm führt den Anwender (Berater) durch die erforderlichen Arbeitsschritte, beginnend mit der Eingabe der Schlagdaten. Nach dem Einlesen der Messdaten aus einer Exportdatei der Herstellersoftware weist es einen grafischen Schnellüberblick der Einzelwerte aus. Dabei erscheint ein Warnhinweis, falls ein erheblicher Anteil sehr niedriger PEU-Werte vorliegt, was auf die Möglichkeit einer Messwertverfälschung durch abiotischen Stress hinweist. Die anschließende Auswertung der Messwerte liefert ein Histogramm zur Verteilung der Einzelwerte auf die sechs Versorgungsklassen, sowie eine Einschätzung zum Mn-Versorgungsstatus des beprobten Pflanzenbestandes. Das hierfür verwendete mathematische Modell basiert auf mehreren Schwellenwerten (PEU-Grenzwerte, minimal bzw. maximal zulässige Anteile von Einzelwerten in den einzelnen Klassen), die zueinander in Beziehung gesetzt werden, um daraus zunächst eine von drei möglichen Fallunterscheidungen zu treffen:

Fall 1: Mn-Versorgung im Bereich deutlichen Mangels

Fall 2: Mn-Versorgung Grenzbereich

Fall 3: Mn-Versorgung eindeutig ausreichend

Fall 1 ergibt sich, wenn der PEU-Mittelwert unter 75 liegt (vgl. Tab. 1) und auch die Verteilung der Einzelwerte keinen Anlass für eine abweichende Entscheidung liefert. In gleicher Art wird bei hohen PEU-Werten die Fallentscheidung 3 getroffen. Beide Fälle lassen klare Handlungsoptionen erkennen und weisen diese auch in einer Empfehlung gegen bzw. für eine Mn-Düngung aus.

Ergibt sich aus Mittelwert und Verteilung der vorliegenden Einzelwerte jedoch keine klare Aussage für oder gegen einen Mn-Mangel (Fall 2), werden für eine endgültige Entscheidung zur Notwendigkeit einer Mn-Düngung weitere pflanzenbauliche Parameter hinzu gezogen. Der Anwender wird in diesem Fall zu einer Abfrage von Gründen für oder gegen eine Mn-Düngung geführt. Diese werden vom Programm bewertet, mathematische gesehen findet eine Korrektur des PEU-Mittelwertes nach oben oder unten statt. Aus diesem korrigierten Wert leitet sich dann die Düngebedarfsempfehlung ab. Die Entscheidung über die Düngung selber (Produkt, Menge, Termin) verbleibt jedoch beim Anwender. Im letzten Programmschritt kann eine Protokolldatei erstellt werden, welche alle Schlaginformationen, Messdaten, das Beratungsergebnis, die Behandlungsentscheidung sowie individuelle Hinweise beinhaltet. In Abbildung 2 ist die gesamte Vorgehensweise schematisch dargestellt.

Die bisher im NN-Easy Tool implementierten und bewerteten pflanzenbaulichen Parameter, welche gegen eine Mn-Düngung sprechen, sind:

- Erwartete Freisetzung von Mn in Folge von Bodenbearbeitung
- Verbesserung der Mn-Verfügbarkeit im Boden durch pH-Wert Absenkung (z. B. aufgrund sauer wirkender Dünger (Petersen, 2009)) oder Niederschlag
- Mögliche Nachwirkung bereits erfolgter Mn-Düngung

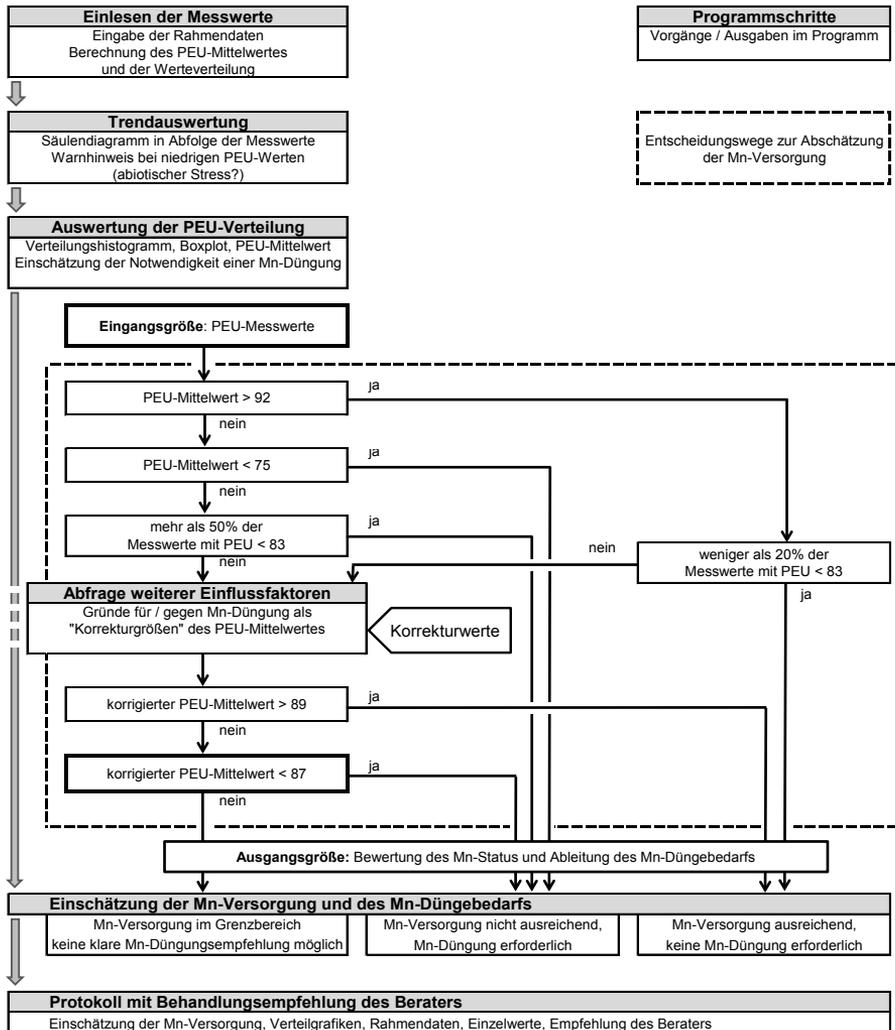


Abb. 2: Ablaufschema und Entscheidungswege des NN-Easy Tools

Die Gründe für eine Mn-Düngung im Versorgungsgrenzbereich sind:

- Verschlechterung der Mn-Verfügbarkeit im Boden durch pH-Wert-Anhebung oder Trockenheit (Brümmer, 2010; Marschner, 2012)
- Hohe Ertragserwartung oder Notwendigkeit zur Verbesserung der Winterhärte (Hanhart, 2011)
- Bekannter Mn-Mangelstandort
- Anbau einer Mn-ineffizienten Sorte (Hebbern et al., 2005)

Die Abfrage dieser Parameter anhand vorgegebener Antwortmöglichkeiten berücksichtigt insbesondere solche Faktoren, welche eine kurz- oder mittelfristige Veränderung der aktuellen Mn-Versorgungssituation der Pflanzen bewirken können. Bei einer sich verbessernden Versorgungslage kann im Grenzbereich zwischen ausreichendem und ungenügendem Mn-Status der Pflanzen eine Mn-Düngung unterbleiben. Umgekehrt sollte bei einer sich verschlechternden Versorgungslage auch bei z. B. PEU 91 eine Mn-Düngung erfolgen. Die Bewertung der einzelnen Faktoren hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Einschätzung des Mn-Düngebedarfs erfolgt aufgrund vorhandener Literatur sowie eigener Forschungsergebnisse. Hierfür wurde eine Vielzahl von Exaktversuchen (mindestens in dreifacher Wiederholung) sowohl im Freiland als auch im Gewächshaus durchgeführt. Die Berechnung der Grenzdifferenzen bei den statistischen Auswertungen erfolgte mittels LSD- oder Tukey-Test ($p=0,05$).

Beispielhaft seien hier nur einige der gewonnenen Ergebnisse genannt: So kann ein Niederschlagsereignis innerhalb weniger Tage zu einer deutlichen Verbesserung der Mn-Versorgung führen. Zwei Gerstenversuche, welche auf einem in der Mn-Versorgungsstufe „E“ (Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2008) liegenden Standort angebaut wurden, zeigten vor Versuchsbeginn keinen (PEU 92) bzw. leichten (PEU 89) Mn-Mangel. Nach einem Niederschlag von 10 mm stiegen die PEU Mittelwerte innerhalb eines Tages auf 96 an, so dass eine Düngung somit nicht mehr notwendig gewesen wäre.



Abb. 3: Zeitliche Veränderung der Mn-Versorgung von Wintergerste nach einer Mn-Blattdüngung (Bestimmung mittels N-Easy55)

Die verzögerte Wirkung einer Mn-Bodendüngung ist bekannt. In einem weiteren Versuch konnte gezeigt werden, dass in Wintergerste auch Blattapplikationen erst nach mehreren Tagen wirksam werden (vgl. Abb. 3).

Zur Überprüfung der Auswirkung von pH-Wert-Veränderungen im Boden auf die Mn-Versorgung der Pflanzen wurden zweifaktorielle Versuche in Winterweizen und Wintergerste mit je 2 Sorten und 3 pH-Wert-Stufen angelegt. Aufgrund der pH-Wert-Anhebung mittels Kalkung verschlechterte sich signifikant die Mn-Versorgung der Pflanzen (Borchert et al. 2013). Als interessanter Effekt wurde hierbei eine unterschiedlich starke Reaktion der Sorten sowohl hinsichtlich der mittels NN-Easy 55 bestimmten Mn-Versorgung als auch der analytisch bestimmten Mn-Gehalte in den Pflanzen bzw. jüngsten Blättern beobachtet.

Tab.2: Manganversorgung unterschiedlicher Wintergerstensorten in den Landessortenversuchen 2012 und 2013 der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (PEU-Werte und Mn-Konzentrationen in den Blättern)

	2012		2013	
	PEU MW 29/30 PEU	Mn Pflanze 29/30 mg/kg	PEU MW 29/30 PEU	Mn Pflanze 29/30 mg/kg
Leibnitz	83,6 a	18,6	83,9 a	20,2 a
Otto	88,3 ab	20,7	89,8 bcd	21,9 ab
Zzoom	91,0 bcd	18,5	90,7 bcd	23,9 ab
Nerz	91,1 bcd	18,7	89,0 b	20,1 a
Antonella	91,7 bcd	21,9	92,4 cdef	24,4 ab
Lomerit	91,8 bcd	20,5	90,2 bcd	22,0 ab
SY Leoo	92,7 bcd	20,0	92,2 cdef	23,8 ab
Matros	92,7 bcd	19,9	89,5 bc	20,9 ab
Titus	93,7 cd	19,9	91,7 bcdef	21,7 ab
Hobbit	93,8 cd	24,0	94,3 f	25,4 b
KWS Meridian	93,9 cd	21,9	91,4 bcdef	23,4 ab
KWS Tenor	94,0 cd	19,3	93,7 ef	22,9 ab
GD (5%; Tukey)	5,3	<i>o. Wdh</i>	3,05	5,11

Diese Ergebnisse könnten darauf hindeuten, dass es Sorten gibt, welche eine ausreichende Versorgung auch mit niedrigen Mn-Gehalten erreichen, also als „Mn-effizient“ bezeichnet werden könnten.

Umfangreiche Mn-Blattanalysen und Messungen mit dem NN-Easy 55 in den Landessortenversuchen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen bestätigen das Vorliegen solcher Sortenunterschiede. So wiesen die Sorten Leibnitz und Otto in 2-jährigen Ergebnissen stets schlechtere Mn-Versorgungen und niedrigere Mn-Gehalte in den Blättern auf. Meridian und Tenor waren dagegen durchweg gut versorgt. Es wird daher vermutet, dass die Sorten über ein unterschiedlich ausgeprägtes Mn-Aneignungsvermögen verfügen. Allerdings waren andere Sorten trotz hoher Mn-Gehalte in den Blättern dennoch laut NN-Easy 55 inadäquat mit Mangan versorgt oder umgekehrt (vgl. Tab. 2).

6. Offene Fragen und Forschungsbedarf

Der Frage des Sorteneinflusses für den Mn-Düngungsbedarf wird weiter nachgegangen, entsprechende Versuche werden im Herbst 2013 angelegt. Darüber hinaus ist aber auch die Bedeutung von Düngerformulierung und Applikationsmenge für eine erfolgreiche Düngungsberatung zu klären. Interessante Ergebnisse hierzu erbrachte ein Versuch in Wintergerste, bei dem im Vergleich zu einer Kontrolle fünf unterschiedliche Mn-Blattdünger eingesetzt wurden. Der im Frühjahr 2013 mittels NN-Easy 55 bestimmte Mn-Status lag im Bereich eines leichten Mn-Mangels. Daher wurde von allen Produkten nur die jeweils niedrigste empfohlene Aufwandmenge ausgebracht. Die Mn-Versorgung nach der Applikation wurde durch kontinuierliche Messungen mit dem NN-Easy 55 verfolgt. Keine der untersuchten Varianten zeigte nach der Behandlung einen Mn-Mangel. Die Düngung mit Mn-Chelaten führte jedoch zu einem signifikant höheren Ertrag sowohl im Vergleich zur Kontrolle als auch zur Düngung mit Mn-Sulfat, obwohl in der mit Mn-Sulfat gedüngten Variante die 2,5-fache Mn-Menge ausgebracht wurde. Hieraus lässt sich ableiten, dass die Formulierung von größerer Bedeutung als die applizierte Mn-Menge ist (vgl. Abb. 4).

Von großem Interesse ist auch die Frage, wie ertragsrelevant temporärer Mn-Mangel ist. Bei kontinuierlicher Betrachtung eines Wintergerstenschlages auf einem in Mn-Versorgungsstufe „E“ (pH 5,4 und 20 mg Mn/kg Bd.) versorgten Standort waren zwischen Vegetationsbeginn bis zum Ährenschieben mehrmals Mn-Mangelsituationen zu erkennen. Dabei ist unklar, wie ertragsrelevant Mangelsituationen zu unterschiedlichen Terminen (Entwicklungsstadien) sind oder ob ein optimaler Ertrag sogar nur dann erreichbar ist, wenn in allen Mangelsituationen eine Mn-Düngung erfolgt.

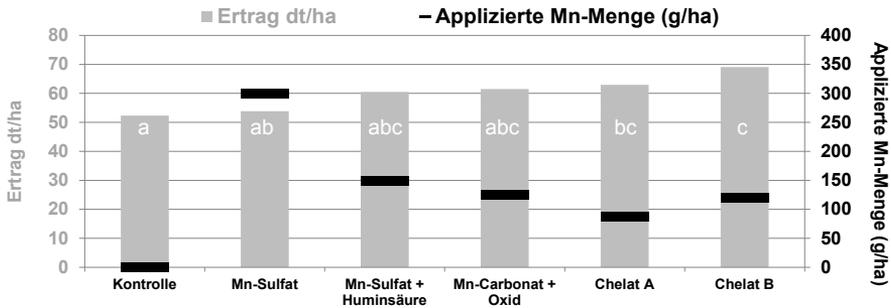


Abb. 4: Kornerträge eines Versuches mit unterschiedlichen Mn-Düngern (Mn-Formulierungen und -Mengen)

7. Fazit

Der NN-Easy 55 überzeugt insgesamt durch seine einfache und praxistaugliche Handhabung. Das Gerät lässt sich flexibel einsetzen und liefert ein schnelles Ergebnis in Bezug auf den Mn-Versorgungszustand der Pflanzen. Für eine sichere Beratung ist ein Bestand mit mindestens 50 Blättern repräsentativ zu beproben. Die Blätter werden direkt auf dem Feld mit dem NN-Easy 55 gemessen, alternativ kann die Messung bei entsprechender Lagerung auch einige Tage später erfolgen.

Eine bessere Einbindung des NN-Easy 55 in die Düngeberatung wird durch das entwickelte Zusatzprogramm NN-Easy Tool erreicht. Es optimiert die Auswertung der Messwerte, um dem Berater eine möglichst sichere Entscheidung hinsichtlich der Notwendigkeit einer Mn-Düngung zu liefern. Dies wird insbesondere dadurch erreicht, dass bei einem Schlagmittelwert im kritischen Bereich um PEU 90 das Messergebnis mit Hilfe zusätzlicher pflanzenbaulicher Parameter interpretiert wird. Darüber hinaus erlaubt das NN-Easy Tool auch das Hinzufügen weiterer schlagspezifischer Informationen sowie die Speicherung aller Daten und Angaben in einem Beratungsprotokoll. Eine Empfehlung bezüglich Düngerart, Düngermenge und Düngungstermin liefert das NN-Easy-Tool nicht, die diesbezüglichen Entscheidungen verbleiben beim Berater.

Das Programm NN-Easy Tool wird im Verlauf des Forschungsprojektes bereits eingesetzt, die hinterlegten Algorithmen bedürfen jedoch einer weiteren Evaluierung, wobei auch noch spezielle Ansprüche seitens der Berater berücksichtigt werden sollen.

8. Literaturangaben

- Borchert, A., Pralle, H., Olf, H.-W., 2013: Auswirkungen des Boden-pH-Wertes auf die Mangan-Versorgung von zwei Winterweizen- und Wintergerstensorten: Evaluierung mittels Pflanzenanalyse und Schnelltester NN-Easy 55. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 69, Kongressband 2013 Berlin, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Brümmer, G.W., 2010: Spurenelemente. In: Blume, H.-P., Brümmer, G.W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M., 2010: Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 430-433.
- Hanhart, H., 2011: Winterfestigkeit der Gerste mit Mangan verbessern. Getreidemagazin 16, 32-36.
- Hebborn, C.A., Pedas, P., Schjoerring, J.K., Knudsen, L., Husted, S., 2005: Genotypic differences in manganese efficiency: a field trial with winter barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Soil* 272, 233-244.
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2008: Richtwerte für die Düngung: Gehaltsklassen für Bor, Mangan, Kupfer und Zink (mg/kg Boden (CAT-Methode). <http://www.lufa-nord-west.de/data/documents/Downloads/IFB/duengeempfehlungmikronaehrstoffe.pdf> (Download vom 22.09.2013).
- Marschner, H., 2012: Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, San Diego (USA), 359-360.
- NutriNostica, 2009: NN-Easy 55 Operations manual. NutriNostica ApS, Kopenhagen (Dänemark).
- Petersen, J., 2009: Placeret ammoniumgødning om efteraret til forebyggelse af manganmangel. https://www.landbrugsinfo.dk/Plantavl/Goedskning/Naeeringsstoffer/KvaelstofN/Kvaelstofgoedninger/Sider/PLK09_res_F4_1_J_Petersen.pdf?download=true (Download vom 22.09.2013).

VDLUFA, 1991: Methode A 6.4.1, Bestimmung von Haupt- und Spurennährstoffen in einem Auszug (Magnesium, Natrium, Kupfer, Mangan, Zink und Bor; CAT-Auszug). In: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.): Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Danksagung

Dieses Projekt wurde finanziell unterstützt durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (Fördernummer WA3-80125128) und die NBank. Für die umfangreiche Unterstützung bei der Durchführung der Versuche gilt unser Dank den Projektpartnern und Mitarbeitern der Hochschule Osnabrück.

Verfügbarkeit von Mikronährstoffen im Ackerbau – Ergebnisse aus Rheinland-Pfalz

F. Fritsch

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Bad Kreuznach

1. Einleitung

Von der landwirtschaftlichen Praxis wird häufig bei der Pflanzenbauberatung nachgefragt, ob eine Düngung mit den Mikronährstoffen Bor, Mangan, Kupfer oder Zink sinnvoll und notwendig ist. Pflanzen- oder Bodenuntersuchungen auf diese Mikronährstoffe werden im Ackerbau jedoch selten veranlasst.

Die Versorgung mit den Mikronährstoffen Bor, Mangan, Kupfer und Zink im Ackerbau von Rheinland-Pfalz wurde daher anhand eines Monitorings in Praxisflächen untersucht. Daneben sollte die Eignung der CAT-Methode zur Beurteilung der Mikronährstoff-Verfügbarkeit geprüft werden.

2. Vorgehensweise

Seit dem Jahr 2004 wurden jährlich etwa 20 Boden- und zeitgleich die räumlich dazugehörigen Pflanzenproben (vorwiegend Winterweizen (oberirdische Pflanze, ES 32), Mais (vollentwickelte Blätter, ES 32) und Winterraps (vollentwickelte Blätter (ES 53-60)) aus Praxisflächen entnommen. Die Probeflächen repräsentieren die wichtigsten Ackerbauregionen von Rheinland-Pfalz.

Von der LUFA Speyer wurden die Pflanzenproben auf die Konzentrationen an N, P, K, Mg, S sowie B, Mn, Cu und Zn analysiert, die Bodenproben nach den Standardmethoden auf den pH-Wert, verfügbares P, K und Mg sowie nach der CAT-Methode auf B, Mn, Cu und Zn.

Die Bewertung der Messwerte erfolgte nach Zorn und Marks (2008).

3. Verfügbarkeit der Mikronährstoffe

3.1 Bor

Mangel an B scheint verbreitet zu sein, während die Verfügbarkeit mit zunehmendem pH-Wert eher ansteigt, als – wie vermutet – abfällt. Auf den Lössböden liegen die höchsten Werte vor, sowohl nach der CAT-Methode in den Böden als auch in den Pflanzen (Abb. 1).

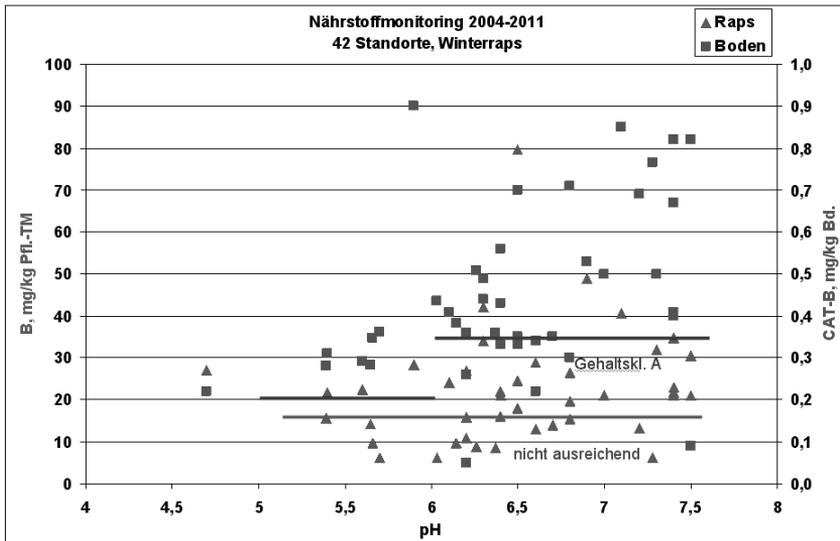


Abb. 1: Bodenreaktion und Verfügbarkeit von Bor im Boden und bei Winterraps

Die CAT-Methode gibt die Bor-Verfügbarkeit für die Pflanze nur eingeschränkt wider, allerdings erfuhren einige Pflanzenbestände eine B-Blattdüngung (Abb. 2).

Auch im Winterweizen scheint Bormangel weit verbreitet zu sein, da an vielen Standorten (und dabei vorrangig in Böden ohne freien Kalk bzw. mit pH-Werten unterhalb 7) nicht einmal ein kritischer Gehalt von 2,5 mg B/kg Spross-TM erreicht wird.

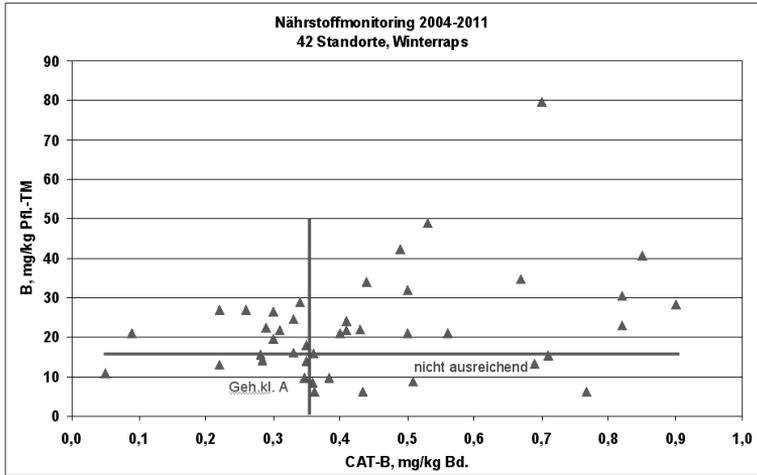


Abb. 2: Verfügbarkeit von Bor im Boden und bei Wintereraps

3.2 Mangan

Die CAT-Methode vermag die Verfügbarkeit von Mn nicht widerzuspiegeln. Im Winterweizen tritt Mangel (bzw. Gehalte unter 28 mg Mn/kg Spross-TM) nur selten auf. Auf den kalkhaltigen Lössböden ist die Mn-Verfügbarkeit besonders gut (Abb. 3).

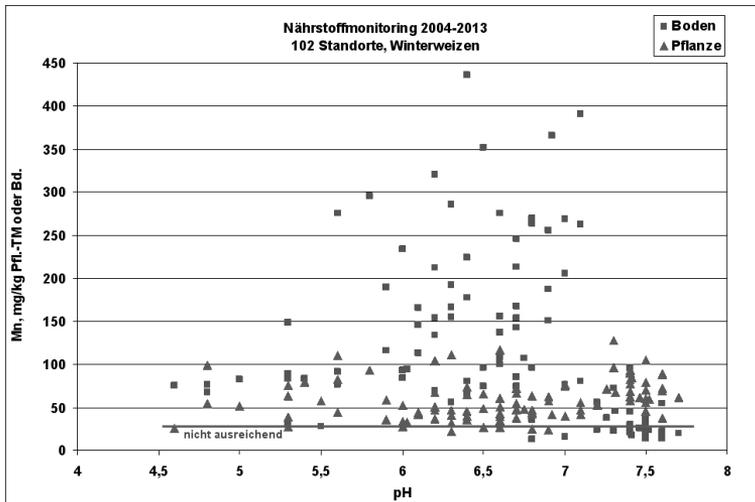


Abb. 3: Bodenreaktion und Verfügbarkeit von Mangan im Boden und bei Winterweizen

3.3 Kupfer

Die Bodenreaktion hat offensichtlich keinen Einfluss auf die Verfügbarkeit von Cu und es liegen überwiegend ausreichende Gehalte in den Böden sowie im Winterweizen ($> 3,6$ mg Cu/kg Spross-TM) vor (Abb. 4). Die CAT-Bodenuntersuchung kann die Cu-Verfügbarkeit für die Pflanze kaum anzeigen. Allerdings wird die Verfügbarkeit vom bodenbildenden Gestein beeinflusst (Hauenstein, 2008). Auf Böden aus Löss ist die Verfügbarkeit meist ausreichend, während nicht ausreichend versorgte Bestände häufig auf Böden aus devonischen Schiefen (bzw. des Rheinischen Schiefergebirges) zu finden sind (Abb. 5). Weizenbestände, in denen das kritische Cu : N-Verhältnis (mg Cu/kg / % N, jeweils in Spross-TM) von 1,3 unterschritten wird, stehen fast ausnahmslos auf Böden aus devonischen Schiefen.

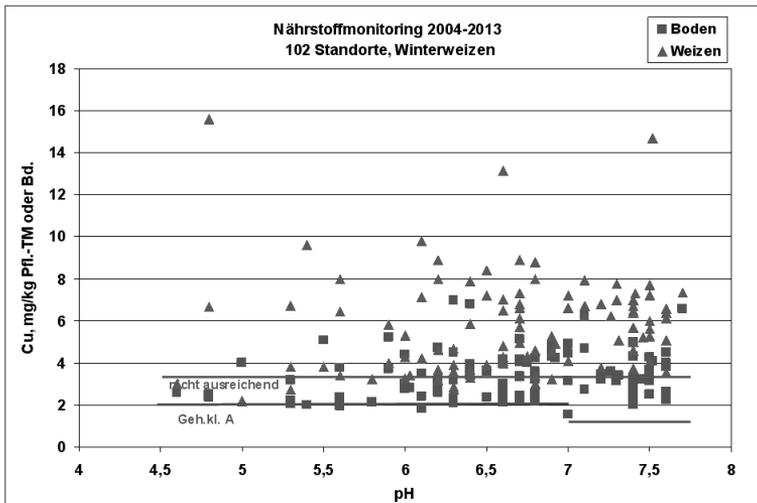


Abb.4: Bodenreaktion und Verfügbarkeit von Kupfer im Boden und bei Winterweizen

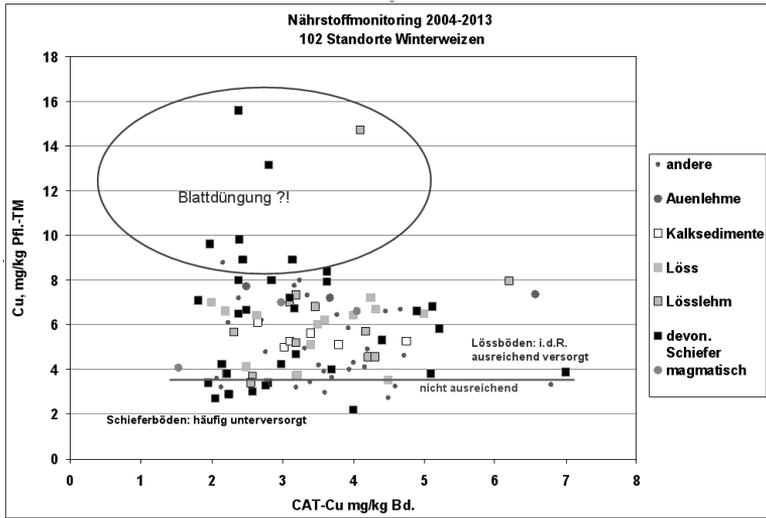


Abb. 5: Verfügbarkeit von Kupfer im Boden und bei Winterweizen

3.4 Zink

Die Verfügbarkeit des Zinks geht mit zunehmendem pH deutlich zurück, sowohl für die Pflanzen (mind. 18 mg Zn/kg Spross-TM) als auch im CAT-Extrakt (Abb. 6).

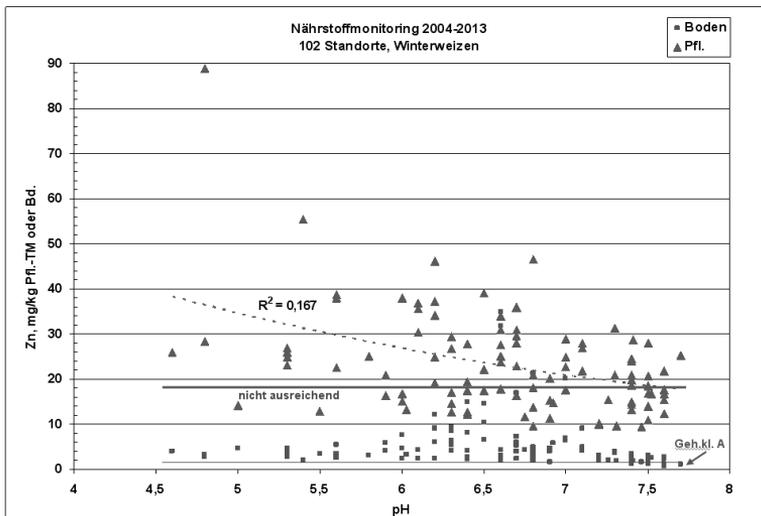


Abb.6: Bodenreaktion und Verfügbarkeit von Zink im Boden und bei Winterweizen

Der Einfluss zunehmender P-Gehalte im Boden auf die Zn-Konzentrationen der Pflanzen ist dagegen nur schwach ausgeprägt.

Die Bodenuntersuchung auf Zink kann unter anderem durch die Anwendung von Mäuseködern mit Wirkstoff Zinkphosphid zu verfälschten Werten führen.

4. Fazit

Auf rheinland-pfälzischen Ackerstandorten ist die Versorgung mit Bor häufig nicht ausreichend, vor allem bei Raps und Getreide, jedoch weniger auf den kalkhaltigen Lössböden.

Manganmangel wurde bei den untersuchten Beständen bzw. Standorten kaum angetroffen.

Die Versorgung mit Kupfer ist allenfalls auf einigen Böden aus devonischen Schiefen kritisch.

Die Verfügbarkeit von Zink geht mit zunehmenden pH-Werten zurück und scheint auch durch eine hohe P-Versorgung etwas beeinträchtigt zu werden.

Die CAT-Methode erscheint überhaupt nicht geeignet, die Mangan-Verfügbarkeit zu beschreiben. Auch bei Kupfer zeigt sie deutliche Schwächen, während sie bei Bor und Zink, gegebenenfalls unter Hinzuziehung weiterer Standortparameter, besser abschneidet. Allerdings können insbesondere beim Zink Störfaktoren (z. B. Zn-haltige Rodentizide) auftreten.

Pflanzenanalysen erscheinen daher besser geeignet, die Verfügbarkeit der Mikronährstoffe und einen eventuellen Düngebedarf aufzuzeigen. Sie sollten daher verstärkt angeboten werden, wobei die anzustrebenden Nährstoffkonzentrationen weiterhin überprüft werden müssen.

5. Literaturangaben

Hauenstein, M., 2008: Hintergrundwerte der Böden von Rheinland-Pfalz. Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz, Rheinland-Pfalz.

Zorn, W., Marks, G., 2008: Mikronährstoffdüngung im Ackerbau Thüringens.
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.

Bioenergie vom Rieselfeld: Ansätze zur Etablierung von Energiepflanzen auf Schwermetallbelasteten Böden

H. Beßler, A. Adam, F. Camp, Y. Guetta, N. John, C. Sobioch, C. Engels

Fachgebiet Pflanzenernährung, Humboldt-Universität zu Berlin

1. Einleitung

Im Berliner Umland wurde im 19. und 20. Jahrhundert häusliches und industrielles Abwasser zur Reinigung auf Rieselfelder ausgebracht. Dies führte zur Anreicherung von Schwermetallen (z. B. Cd, Pb) in den Rieselfeldböden. Der Anbau von Pflanzen für die Nahrungs- oder Futtermittelproduktion ist auf diesen Flächen deshalb häufig untersagt (ISU, 2013). Für die landwirtschaftliche Nachnutzung dieser Flächen bietet sich daher der Anbau von Pflanzen für die energetische Verwertung an. Erste Anbauversuche mit Pappel und Weide auf ehemaligen Rieselfeldern in Wandsdorf erbrachten jedoch nur lückige Bestände aus schlecht wachsenden Pflanzen mit Symptomen von Ernährungsstörungen. Ähnliche Symptome und Wachstumsdepressionen traten auch an Mais auf, der in Gefäßen mit Rieselfeldboden angezogen wurde (Abb. 1).

Um Empfehlungen für die Etablierung von produktiven Energiepflanzenbeständen auf ehemaligen Rieselfeldern zu erarbeiten, geht dieser Beitrag folgenden Fragen nach:

- Worauf sind die Wachstumsdepressionen auf Rieselfeldboden zurückzuführen?
- Welche Pflanzenarten wachsen auf Rieselfeldboden noch vergleichsweise gut?
- Welche Düngungsmaßnahmen verbessern das Pflanzenwachstum auf Rieselfeldboden?

Dazu werden Ergebnisse aus drei Gefäßversuchen vorgestellt.



Abb. 1: Pappel (links), Weide (Mitte) und Mais (rechts) auf Wansdorfer Rieselfeldböden im Feld- und Gefäßversuch.

2. Worauf sind die Wachstumsdepressionen auf Rieselfeldboden zurückzuführen?

2.1 Versuchsansatz

Das schlechte Wachstum von Pappeln, Weiden und Mais auf dem Rieselfeldboden ging mit Chlorosen an jungen Blättern einher (Abb. 1). Ähnliche Symptome sind von Pflanzen bekannt, die unter Fe-Mangel leiden (Bergmann, 1993). Im ersten Versuch wurde daher untersucht, ob die Wachstumsdepressionen auf Fe-Mangel zurückzuführen sind. Dazu wurde die Entwicklung von Mais auf Ackerboden und auf Rieselfeldboden mit und ohne Fe-Düngung verglichen.

2.2 Material und Methoden

Die Böden (Bodenart Sand) stammen von einem Acker und einem Rieselfeld in Wansdorf. Der Rieselfeldboden wurde langjährig mit Abwasser aus einer Region mit Cu-Folienfertigung beaufschlagt, und weist entsprechend hohe Gehalte an Cu aber auch an Zn, Ni und Cd auf (Tab. 1). Die Böden wurden für den Versuch gedüngt (mg kg^{-1} : N 100, P 160, K 200, Mg 60), in 17 cm hohe und 5,5 cm breite Gefäße gefüllt, auf eine Trockenrohdichte von $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ verdichtet und auf 65 % Feldkapazität befeuchtet. Danach wurde Mais (Sorte Torres) in die Gefäße gesät. Nach Aufgang wurde die Hälfte der auf Rieselfeldboden kultivierten Pflanzen regelmäßig mit 0,2 % FeEDTA-Lösung über die Blätter gedüngt. Die anderen Pflanzen erhielten keine Fe-Düngung. Die Pflanzen wurden nach

23 Tagen im 5- bis 6-Blatt-Stadium geerntet. Gemessen wurden der Chlorophyllgehalt im jüngsten, voll entwickelten Blatt mit einem SPAD-Meter sowie die Trockenmasse und Mineralstoffgehalte von Spross und Wurzeln.

Tab. 1: pH-Werte (CaCl₂), Humus- (Glühverlust) und Schwermetallgehalte (NH₄NO₃-Extrakt) der Versuchsböden.

	pH	Humus (%)	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
					(mg kg ⁻¹)			
Rieselfeldboden	5,3	3,3	3,2	3,2	0,3	0,07	<0,01	
Ackerboden	5,5	3,1	0,2	0,7	<0,1	0,02	<0,01	

2.3 Ergebnisse

Auf dem Ackerboden wuchs der Spross von Mais gut und zeigte keine Symptome von Ernährungsstörungen. Auf dem Rieselfeldboden ohne Fe-Düngung zeigte Mais ein deutlich schlechteres Sprosswachstum und Chlorosen an den jüngsten Blättern, die mit suboptimalen Fe-Gehalten einhergingen (Tab. 2). Der mit Fe-gedüngte Mais entwickelte auf dem Rieselfeldboden keine Chlorosen. Dies zeigt, dass die Chlorosen (Abb. 1) auf Fe-Mangel zurückzuführen sind. Induziert wird dieser Mangel vermutlich durch Überschuss an anderen Schwermetallen, die die Fe-Aufnahme hemmen (Michaud et al., 2008). Trotz besserer Fe-Versorgung wuchs der mit Fe gedüngte Spross von Mais auf dem Rieselfeldboden nicht besser (Tab. 2). Dies deutet darauf hin, dass das schlechte Sprosswachstum auf dem Rieselfeldboden nicht auf Fe-Mangel zurückzuführen ist. Unabhängig von der Fe-Düngung durchwurzelte Mais den Rieselfeldboden (Durchwurzelungstiefe: 1/3 des Gefäßes) deutlich schlechter als den Ackerboden (gesamtes Gefäß durchwurzelt). Das schlechte Wurzelwachstum im Rieselfeldboden ging mit sehr hohen Gehalten Cu, Zn und Ni in den Wurzeln einher (Tab. 2). Dabei lagen vor allem die Cu-Gehalte deutlich im toxischen Bereich (> 100-350 mg Cu kg⁻¹ Wurzel-TM; Keltjens und van Beusichem, 1998; Madejon et al., 2009).

2.4 Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass das Spross- und Wurzelwachstum auf Rieselfeldboden deutlich gehemmt wird. Das schlechte Sprosswachstum ging mit Fe-Mangel einher, konnte durch Fe-Düngung aber nicht verbessert werden. Es wird

deshalb vermutetet, dass das Sprosswachstum durch mangelnde Versorgung mit anderen Nährstoffen, Wasser oder Wachstumsfördernden Phytohormen über das schlecht entwickelte Wurzelsystem gehemmt wird. Ursache für das schlechte Wurzelwachstum sind hohe, für Wurzeln toxische Gehalte an Cu, Ni und/oder Zn im Rieselfeldboden.

Tab. 2: Wachstum, Chlorophyllgehalt (SPAD-Wert für das jüngste, voll entwickelte Blatt) und Mineralstoffgehalte von Mais auf unbelastetem Ackerboden und Schwermetallbelastetem Rieselfeldboden mit und ohne Fe-Blattdüngung. Mit gleichen Buchstaben markierte Mittelwerte ($n = 4$) in einer Zeile sind nicht signifikant ($P > 0,05$) voneinander verschieden.

	Ackerboden	Rieselfeldboden	
		Ohne Fe-Gabe	Mit Fe-Gabe
Sprossmasse (g TM)	2,64 ^a	0,86 ^b	1,15 ^b
SPAD-Wert	33 ^a	13 ^c	28 ^b
Fe (mg kg ⁻¹ Spross TM)	139 ^b	33 ^c	827 ^{a*}
Wurzelmasse (g TM)	0,60 ^a	0,20 ^b	0,18 ^b
Cu (mg kg ⁻¹ Wurzel TM)	85 ^a	1648 ^c	1211 ^b
Zn (mg kg ⁻¹ Wurzel TM)	153 ^a	364 ^b	401 ^b
Ni (mg kg ⁻¹ Wurzel TM)	18 ^a	87 ^c	61 ^b

* Der hohe Gehalt kommt durch Fe-Düngerreste auf der Blattoberfläche zustande.

3. Welche Pflanzenarten wachsen auf Rieselfeldboden noch vergleichsweise gut?

3.1 Versuchsansatz

Im zweiten Versuch wurde getestet, welche Pflanzenarten auf Rieselfeldboden noch vergleichsweise produktiv sind und sich damit für den Energiepflanzenanbau eignen könnten. Da die landwirtschaftliche Nachnutzung der Rieselfelder auch zur Sicherung der Schwermetallbelasteten Böden vor Erosion und Auswaschung dient, bietet sich der Anbau von Pflanzenarten mit ganzjähriger Bodenbedeckung an. Im Versuch wurden deshalb verschiedene Grünlandarten getestet.

3.2 Material und Methoden

Getestet wurden neun Grünlandarten die bereits zur energetischen Nutzung auf unbelasteten Böden angebaut werden (Deutsches Weidelgras, Knaulgras, Rotklee, Weißklee, Welsches Weidelgras, Wiesenlieschgras) oder für die es Hinweise auf vergleichsweise gutes Wachstum auf Schwermetallbelasteten Böden gibt (Hornklee, Landreitgras, Rotschwingel; Escaray et al., 2012; Lehmann und Rebele, 2004; Tordoff et al., 2000). Die Arten wurden in Gefäßen mit Rieselfeldboden oder Ackerboden angezogen (siehe 2.) und je nach Wüchsigkeit nach 23 bis 41 Tagen geerntet.

3.3 Ergebnisse

Auf dem Ackerboden wuchsen alle Arten gut und zeigten keine Symptome von Ernährungsstörungen. Auf dem Rieselfeldboden entwickelten alle Pflanzenarten Chlorosen und wuchsen schlechter. Zwischen den Arten gab es jedoch deutliche Unterschiede im Ausmaß der Wachstumsdepressionen (Tab. 3). Knaulgras, Rotschwingel, Wiesenlieschgras, Deutsches Weidelgras und Landreitgras bildeten auf Rieselfeldboden nur 2-8 % der Sprossbiomasse auf unbelastetem Ackerboden. Im Gegensatz zu diesen Arten bildeten Hornklee und Rotklee 15-16 %, Weißklee und Welsches Weidelgras sogar 26-35 % der Sprossbiomasse auf unbelastetem Ackerboden, und waren damit resistenter. Eine mögliche Ursache für die höhere Resistenz liegt in der weniger exzessiven Aufnahme von Cu in die Wurzeln dieser Arten ($657\text{-}829\text{ mg kg}^{-1}$ Wurzel-TM) als bei den empfindlicheren Arten ($2219\text{-}4461\text{ mg kg}^{-1}$).

3.4 Fazit

Es bestehen große Pflanzenartunterschiede im Wachstum auf Rieselfeldboden, die bei der Artenwahl für den Energiepflanzenanbau ausgenutzt werden können. Überdurchschnittliches Wachstum auf Rieselfeldboden ging mit unterdurchschnittlicher Cu-Aufnahme in die Wurzeln einher. Ob dies die Ursache für die Pflanzenartunterschiede im Wachstum auf Rieselfeldboden ist, muss in weiteren Versuchen geklärt werden.

Tab.3: Wachstum von Grünlandarten auf unbelastetem Ackerboden und Schwermetallbelastetem Rieselfeldboden. Gezeigt sind Mittelwerte (n = 4). In Klammern ist die Pflanzentrockenmasse (TM) auf Rieselfeldboden in % der TM auf Ackerboden angegeben.

Art (Sorte)	Spross (g TM)		Wurzeln (g TM)	
	Ackerboden	Rieselfeldboden	Ackerboden	Rieselfeldboden
Gräser				
Knaulgras (Revolin)	2,25	0,05 (2)	0,84	0,02 (2)
Rotschwingel (Lifalla)	1,06	0,02 (2)	0,35	0,01 (3)
W.lieschgras (Fidanza)	2,15	0,07 (3)	0,94	0,06 (6)
Dt. Weidelgras (Trivos)	1,63	0,09 (6)	0,80	0,02 (3)
Landreitgras	1,15	0,09 (8)	0,46	0,03 (7)
W. Weidelgras (Fabio)	3,36	1,18 (35)	1,42	0,28 (20)
Leguminosen				
Rotklee (Milvus)	1,90	0,29 (15)	0,59	0,10 (17)
Hornklee	2,15	0,35 (16)	0,79	0,09 (11)
Weißklee (Liflex)	1,68	0,44 (26)	0,54	0,14 (26)

4. Welche Düngungsmaßnahmen verbessern das Pflanzenwachstum auf Rieselfeldboden?

4.1 Versuchsansatz

Die Ergebnisse des zweiten Versuchs deuten daraufhin, dass der Anbau von resistenteren Arten und Sorten zur Etablierung von produktiven Energiepflanzenbeständen auf Rieselfeldern beitragen kann, als alleinige Maßnahme aber nicht ausreicht um eine ähnliche Biomasseproduktion wie auf unbelasteten Böden zu erzielen. Im dritten Versuch wurde deshalb getestet, mit welchen Düngungsmaßnahmen die Pflanzenverfügbarkeit von Cu, Zn und Ni im Rieselfeldboden verringert, und damit das Pflanzenwachstum verbessert werden kann.

4.2 Material und Methoden

Folgende Düngungsmaßnahmen wurden im Rieselfeldboden (Tab. 1) getestet (Gabe in g FM kg⁻¹ Boden): Kalkung (1,2 g CaO kg⁻¹), Zugabe von Biogasgülle

(14,8), Torf (3), Zeolith (25), Holzkohle aus hydrothormaler Karbonisierung (10; „HTC-Kohle“), pyrogene Holzkohle (10; „Holzkohle“), pyrogene Holzkohle aus Abluftfiltern von Biogasanlagen (10; „Filterkohle“). Die Böden wurden anschließend mit N,P,K gedüngt, in Gefäße gefüllt, verdichtet und befeuchtet (siehe 2.) Nach 7-tägiger Inkubation wurde in die Böden Mais (Sorte Torres) gesät. Nach weiteren 23 Tagen wurden die Pflanzen geerntet und die Gehalte mobiler (NH_4NO_3 -extrahierbarer) Schwermetalle im Boden gemessen.

4.3 Ergebnisse

Wie im ersten Versuch (siehe 2.) wuchs Mais auf Rieselfeldboden deutlich schlechter als auf Ackerboden (Tab. 4). Die Zugabe von Biogasgülle, Torf, HTC-Kohle oder Zeolith zum Rieselfeldboden verbesserte das Wachstum nicht. Die Zugabe von Kalk, Filterkohle oder Holzkohle verbesserte das Wachstum auf Rieselfeldboden hingegen deutlich. Das bessere Wachstum ging mit deutlich geringeren Gehalten an mobilem Zn, Ni und Cu (Filterkohle, Holzkohle) im Rieselfeldboden einher.

4.4 Fazit

Tab. 4: Einfluss unterschiedlicher Düngungsmaßnahmen auf das Wachstum von Mais und den Gehalt an mobilem (NH_4NO_3 -extrahierbarem) Cu, Zn, Ni im Rieselfeldboden. Mit gleichen Buchstaben markierte Mittelwerte ($n = 4$) in einer Spalte sind nicht signifikant ($P > 0,05$) voneinander verschieden.

Boden	Spross	Wurzel	Zn	Ni	Cu
Düngungsmaßnahme	(g TM)		(mg kg ⁻¹ Boden)		
Ackerboden	3,9 ^c	1,1 ^{bc}	1,2 ^{cd}	0,1 ^d	0,3 ^c
Rieselfeldboden					
keine	1,4 ^a	0,3 ^a	4,6 ^{ab}	0,6 ^{ab}	3,9 ^a
Biogasgülle	1,5 ^a	0,3 ^a	5,2 ^a	0,7 ^a	4,1 ^a
Torf	1,7 ^a	0,4 ^a	4,8 ^a	0,6 ^{ab}	3,9 ^a
HTC-Kohle	1,2 ^a	0,3 ^a	3,7 ^b	0,5 ^b	3,5 ^a
Zeolith	1,2 ^a	0,2 ^a	4,6 ^{ab}	0,6 ^{ab}	3,6 ^a
Kalk	2,9 ^b	0,8 ^b	0,2 ^e	0,1 ^d	3,7 ^a
Filterkohle	3,2 ^{bc}	0,8 ^b	2,1 ^c	0,3 ^c	2,3 ^b
Holzkohle	4,2 ^c	1,2 ^c	0,4 ^{de}	0,1 ^d	1,8 ^b

Die Ergebnisse zeigen, dass das Pflanzenwachstum auf dem Rieselfeldboden durch Kalkung oder durch Einarbeitung von Holz- oder Filterkohle deutlich verbessert werden kann.

5. Schlussfolgerungen

Phytotoxische Gehalte an Cu, Ni und/oder Zn im Böden ehemaliger Rieselfelder können das Pflanzenwachstum erheblich hemmen und damit die Nachnutzung dieser Flächen für den Energiepflanzenanbau erschweren. Die vorgestellten Gefäßversuche zeigen, dass das Pflanzenwachstum auf Rieselfeldboden durch Einarbeitung von pyrogener Kohle oder Kalk in den Boden und durch Anbau von resistenteren Arten (z. B. Welsches Weidelgras Sorte Fabio) deutlich verbessert werden kann. Ob die Etablierung von produktiven Energiepflanzenbeständen mit diesen Maßnahmen im Feld gelingt, ist in künftigen Versuchen auf ehemaligen Rieselfeldern zu prüfen.

6. Literaturangaben

- Bergmann, W., 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 3. Aufl., Gustav Fischer Verlag Jena.
- Escaray, F.J., Menendez, A.B., Gárriz, A., Pieckenstain, F.L., Estrella, M.J., Castagno, L.N., Carrasco, P., Sanjuán, J., Ruiz, O.A., 2012: Ecological and agronomic importance of the plant genus *Lotus*. Its application in grassland sustainability and the amelioration of constrained and contaminated soils. *Plant Science* 182, 121-133.
- ISU, 2013: Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin.
- Keltjens, W.G., van Beusichem, M.L., 1998: Phytochelatins as biomarkers for heavy metal toxicity in maize: Single metal effects of copper and cadmium. *Journal of Plant Nutrition* 21(4), 635-648.
- Lehmann, C., Rebele, F., 2004: Evaluation of heavy metal tolerance in *Calamagrostis epigejos* and *Elymus repens* revealed copper tolerance in a copper smelter population of *C. epigejos*. *Environmental and Experimental Botany* 51, 199-213.

- Madejón, P., Ramírez-Benítez, J.E., Corrales, I., Barceló, J., Poschenrieder, C., 2009: Copper-induced oxidative damage and enhanced antioxidant defenses in the root apex of maize cultivars differing in Cu tolerance. *Environmental and Experimental Botany* 67, 415-420.
- Michaud, A.M., Chappellaz, C., Hinsinger, P., 2008: Copper phytotoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.). *Plant Soil* 310, 151-165.
- Tordoff, G.M., Baker, A.J.M., Willis, A.J., 2000: Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere* 41, 219-228.

Danksagung

Diese Arbeit wurde von der Berliner Stadtgüter GmbH gefördert.

Wirkungsweise und Quantifizierung des Nitrifikationsinhibitors 3,4-Dimethylpyrazolphosphat in Böden

G. Benckiser, E. Christ, T. Herbert, A. Weiske, J. Blome, M. Hardt

Institut für Angewandte Microbiologie, Justus Liebig Universität Gießen

1. Einleitung

Stickstoffdünger stimulieren Bodenmikroflora, Fauna und organischen Substanzabbau, verbessern Erträge deutlich und fördern insbesondere in pflanzfreier Zeit nach Saat und Düngung mit zu Nitrat oxidiertem Ammonium das Grundwasser, und belasten mit gasförmigem NO_2 , NO , N_2O – Zwischenprodukte der anaeroben Nitratatmung (Denitrifikation) – die Atmosphäre (Benckiser, 1994; Martens-Habbena et al., 2009; Ravishankara et al., 2009; Jarell et al., 2011; Kleineidam et al., 2011; Ladha et al., 2011).

Möglichkeiten zur Begrenzung von Stickstoffverlusten und Umweltbelastung sind (a) pflanzengerechte Düngung, (b) Auswahl von Pflanzen mit dem Potential, biologische Umsetzungen zu unterbinden und (c) $\text{C}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{NO}_3$ -Management mittels Kompostdüngung bzw. Nitrifikationsinhibitoren ((NI)-stabilisierte, vor ca. 40 Jahren eingeführte N Dünger: Alzon = Dicyandiamid (DCD) – stabilisierter N-Dünger; ENTEC = 3,4 Dimethylpyrazolphosphat (DMPP) –stabilisierter N-Dünger mit steigendem Marktanteil, siehe Abb. 1) (Amberger, 1986; Zerulla et al., 2001; Weiske et al., 2001a und b; Hatch et al., 2005; Subbarao et al., 2012).

DMPP, in 10-fach geringerer Konzentration (ca. $0,4 \mu\text{g g}^{-1}$ tr. Boden) ausgebracht als DCD, zeigte in Labor- und Felduntersuchungen eine längere Hemmung der Nitrifikation als DCD bei gleichzeitig geringeren N-Verlusten durch NH_3 -Verflüchtigung, NO_3^- -Auswaschung, NO - und N_2O -Emission (Pasda et al., 2001; Weiske et al., 2001a und b; Wissemeier et al., 2002; Chaves et al., 2006). Auch wird von einer besseren DMPP-Pflanzenverträglichkeit im Vergleich zu DCD sowie höheren Erträgen nach DMPP-Anwendung berichtet.

DCD-Ausbringung in warmen humiden Regionen scheint N-Verluste noch zu erhöhen (Mahmood et al., 2011).

Akut toxische Effekte (LC_{50}) zeigten Ratten erst nach Inhalation von $5,5 \text{ mg DMPP L}^{-1} 4 \text{ h}^{-1}$. *Brachydanio rerio* (Fisch), *Daphnia magna* (Wasserfloh), *Scenedesmus subspicatus* (Alge) (LC/EC_{50}) sowie *Pseudomonas putida* (typisches heterotrophes Boden und Wasserbakterium; EC_{50}) zeigten erst ab $> 100 \text{ mg L}^{-1} 96 \text{ h}^{-1}$, $> 100 \text{ mg L}^{-1} 48 \text{ h}^{-1}$, $67,7 \text{ mg L}^{-1} 72 \text{ h}^{-1}$ bzw. $231 \text{ mg L}^{-1} 170 \text{ h}^{-1}$ toxische Symptome (Andreae, 1999) und steigende DMPP-Konzentrationen Böden zugesetzt ergaben, dass erst bei wesentlich höheren DMPP-Zusätzen als die für das Feld empfohlenen Aufwandmengen (ca. 16 % DCD oder 1,6 % DMPP bezogen auf $\text{NH}_4^+\text{-N}$ bzw. $0,8 \text{ mg DMPP L}^{-1}$) Nebeneffekte zu beobachten waren (Tindaon et al., 2012). Die empfohlenen DMPP-Aufwandmengen scheinen allerdings nur nitrifizierende Bakterien nicht aber nitrifizierende Archaeen zu hemmen (Kleineidam et al., 2011).

Eine bewährte Methode zur Extraktion von DCD aus Böden existiert bereits (Rajbanshi et al., 1992) aber nicht für DMPP, die erst von uns auf Basis von DIN-ISO-5725 (VDLUFA, 2008) entwickelt werden musste und im Folgenden beschrieben wird. Die quantitative Extraktion von DMPP aus landwirtschaftlich genutzten Böden ermöglicht Aussagen über das Schicksal von DMPP und die damit zusammenhängenden Treibhausgasemissionen.

2. Material und Methoden

2.1 Feldexperiment und Bodennahme

Bodenproben wurden mit einem Bohrstock bis zu 15 cm Bodentiefe in $10 \times 8 \text{ m}$ randomisiert verteilten Versuchsflächen (4 pro Behandlungsvariante) entnommen. Die Versuchsflächen wurden innerhalb eines auf der Versuchsstation des Instituts für Pflanzenbau, Justus Liebig Universität, Gießen, 1982 langfristig angelegten Experiments zur Bewertung verschiedener Anbausysteme hinsichtlich ihres N_2 Fixierungspotentials angelegt. Der Boden des dreijährigen Feldexperiments zum Studium des Verhaltens von DMPP in unterschiedlich behandelten Flächen war eine allochtone Braunerde entstanden aus Flusssediment (FAO Klassifikation: Fluvisol, Deutsche Klassifikation: Vega mit tonig lehmigen Oberboden 0-35 cm: Ton 31 %, Schluff 60 %, Sand 5 %, $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ 6,0, C_t 1,35-1,48 %, N_t 0,15-0,16 %, P 160-450, K 120-330 mg kg^{-1} tr. Boden).

Die Kontrollflächen wurden nur mit ASN gedüngt und wie jene die DMPP oder DCD stabilisierten N-Dünger erhielten am 12. März 1997 zur Sommergersten-

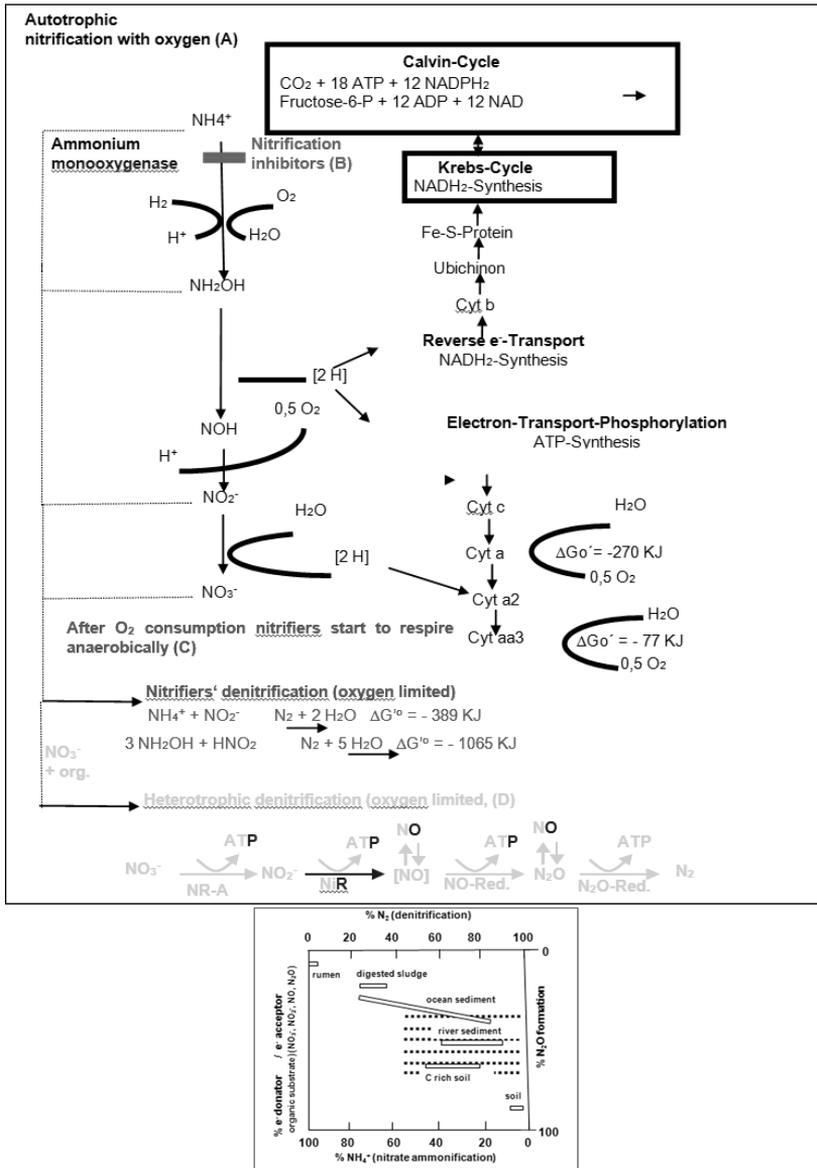


Abb. 1: Nitrit und Nitratbildung während autotropher Nitrifikation (A), Kontrolle durch Nitrifikationsinhibitoren, z. B. DMPP (B), Nitrifikations-Denitrifikation (C), heterotrophe Denitrifikation (D), Nitratammonifikation (E), und die Abhängigkeit von Nitratatmungsprozessen vom leicht verfügbaren Kohlenstoff/Nitratverhältnis (F; verändert nach Tiedje, 1988; Poth und Focht, 1985; Poth, 1986; Benckiser, 1997; Strous et al., 1997; Philips et al., 2002; Strohm et al., 2007).

saat (*Hordeum vulgare* L.) 90 kg ASN-N ha⁻¹, am 5. Mai 1998 zu Mais (*Zea mays* L.) 160 kg ASN-N ha⁻¹ und am 18. März 1999 zu Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) 180 kg ASN-N ha⁻¹. In diesen Versuchsflächen wurden über die 3 Versuchsjahre regelmäßig Bodenproben genommen, die bis zur DMPP Extraktion und HPLC-Bestimmung tiefgefroren aufbewahrt wurden. Mit nitrifizierenden Mischkulturen, angereichert aus Boden der nur mit ASN gedüngten Flächen, wurden die DMPP-Hemmwirkung auf die Zielgruppe „Nitrifikanten“ getestet. Transmissionselektronenmikroskopische Aufnahmen und NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻-Analysen ermöglichten die konzentrationsabhängige Hemmwirkung von DMPP zu beschreiben (Benckiser et al., 2013). Das Bodentrockengewicht wurde bei 105°C bestimmt (Schlichting et al., 1995).

2.2 Extraktion und Quantifizierung von DMPP aus Vega-Boden

2.2.1 Geräte und Chemikalien

Zentrifuge (4000 rpm), Kühlschrank, Waage ($\mu\text{g-g}$ -Bereich), Überkopfschüttler, Reagenzglasrührer, pH-Meter, Vakuumpumpe, Hochdruckflüssigkeitschromatograph (HPLC: Discovery C18 Säule, 5 μm (15 cm x 4,6 mm) + Vorsäule: Supelco, Cataloguenr. 504955, UV-Detektor: Wellenlänge 220 nm, 50 und 10-15 ml verschließbare, nach unten konisch zulaufende Polypropylenzentrifugengläser, HPLC-Gläschen + Glas oder PVC Mikrogläschenvials um das Volumen in den HPLC-Gläschen zu reduzieren, gedrückte Plastikstopfen mit Loch, 1 und 10 ml Pipettenspitzen, H₂O (dest), K₃PO₄ (pA), DMPP und DMP (purity 99,9 und 96 %), DCD (purity 96 %), CaCl₂ (pA), NaOH (pA), Butyl-Methyl-Ether (MTBE, pA), Na₂SO₄ (wasserfrei), Methanol (HPLC purity), H₃PO₄ (pA), KH₂PO₄.

2.2.2 DMPP Extraktion

Die einzelnen Verfahrensschritte zur Quantifizierung von DMPP in Böden fasst das Fließschema (Abb. 2) zusammen. Zur Standardisierung der Methode: Oberboden vom Feld, das noch nie DMPP, nur ASN erhalten hatte (0,5 kg) wurde entnommen, auf 2 mm gesiebt und tiefgefroren. Hiervon wurden nach Auftauen 10 g-Portionen in 50 ml dicht verschließbare, nach unten konisch zulaufende Zentrifugengläser (Nunc, Dänemark) eingewogen, 0,01, 0,02, 0,04, 0,8 oder 1,6 $\mu\text{g DMPP g}^{-1}$ Boden (Reinheit 99,9 %) gelöst in 1 ml destilliertem Wasser hinzugefügt und mit einem Spatel gut homogenisiert. Das in unterschiedlicher Konzentration zugesetzte DMPP konnte dann in einen Kühlschrank gestellt, 24 h mit der Bodenmatrix interagieren bevor versucht wurde die

0,0127, 0,0255, 0,051, 0,2548, 0,5096, 1,0191 oder 2,0382 $\mu\text{g DMPP g}^{-1}$ trockenem Boden wie folgt quantitativ zu extrahieren.

- a) Zu 10 g tonig-schluffigem Oberboden, der in 50 ml unten konisch zulaufende Reagenzgläser eingewogen wird, werden 10 ml destilliertes H_2O (DMPP Extraktionsmittel) und 0,2 ml einer pA 1M K_3PO_4 Lösung (Dispergierung des Bodens, Voraussetzung für eine zufriedenstellende Extraktion) hinzugefügt und die Reagenzgläser (je 10 Wiederholungen) dicht verschlossen.
- b) Die verschlossenen Reagenzgläser wurden 2 h bei 30 upm überkopfgeschüttelt.
- c) Durch Zugabe von 0,2 ml pA 1M CaCl_2 zur dispergierten Bodenlösung und eine weitere Stunde bei 30 upm Überkopfschütteln soll Huminsäurefällung erreicht werden. Die nun weitgehend dispergierten Bodenproben haben jetzt eine Pudding ähnliche Konsistenz (bessere DMPP Desorption von Bodenaustauschern).
- d) Zu den 10 g frischer Boden, 10 ml H_2O , 0,2 ml 1M K_3PO_4 , 0,2 ml 1M CaCl_2 ; Dann wird 1 ml pA 1M NaOH gegeben und zur Verteilung der zugegebenen Lauge 30 min bei 30 upm überkopfgeschüttelt. Der pH in der Pudding ähnlichen Bodensuspension steigt auf 8 und es wird Disproportionierung zwischen DMPP und DMP ($[\text{DMP}]^+$ und H_2PO_4^-) erreicht.
- e) Nach Zugabe von 15 ml t-Butyl-Methyl-Ether (MTBE) wird 1 h bei 30 upm überkopfgeschüttelt und anschließend zur DMP Überführung in die MTBE-Phase 5 min bei 3000 upm zentrifugiert.
- f) Die Abtrennung der DMP enthaltenden MTBE- von der wässrigen Bodensuspensionsphase kann auf zwei Wegen erreicht werden:
 - (a) durch Ausfrieren und
 - (b) durch Aussalzen.Zum Ausfrieren des Wassers werden die 50 ml-Zentrifugengläser für 24 h in eine Tiefkühltruhe bei -20°C gestellt, zum Aussalzen des Wassers werden 13 g wasserfreies Na_2SO_4 zugegeben und zur Vermeidung von Na_2SO_4 -Klumpenbildung und zur homogenen Salzverteilung per Hand kräftig in die MTBE-Wasserphase hineingeschlagen. Es bildet sich eine semi-solide Salzsäule, die 5 min bei 3000 upm zentrifugiert wird um die MTBE- von der Wasserphase noch besser zu trennen.
- g) Die von der Wasserphase separierte, DMP enthaltende MTBE-Phase (ca. 10 ml) wird mittels Pipette in frische Reagenzgläser überführt, die dicht mit einem Stopfen verschlossen und als DMP-Vorratslösung im Kühlschrank bis zu den nächsten DMP-Quantifizierungsschritten im Kühlschrank aufbewahrt werden.

- h) Nun werden 0,2 ml HPLC Eluent (170 g @ 212 ml Methanol, 788 ml eines 1mM H_3PO_4 -5mM KH_2PO_4 -Puffers L^{-1} , pH 2,8) in unten konisch zulaufende 5 ml Zentrifugengläschen pipetiert, 2 ml Aliquots der aus der Bodensuspension extrahierten DMP-MTBE-Vorratslösung hinzugefügt.
- i) Die 5 ml Zentrifugengläschen werden mit Plastikstopfen, in die ein Loch zum Hineinstecken einer 1 ml Pipettenspitze gebohrt wurde, verschlossen und die 1 ml Pipettenspitze wird über einen Plastikschlauch mit einer Vakuumpumpe verbunden. Unter Vakuum und DMP durch Verdampfen des Ether in die HPLC-Eluentenphase überführt. Unter dem Abzug und mittels eines Whirlmix, über dem sich ein Fön befindet, werden die 5 ml Zentrifugengläschen rotiert und dabei durch Verdampfen des Ether unter Vakuum DMP in den HPLC-Eluenten überführt.
- j) Die 2 ml Ether sind nach ca. 1 min verdampft und die Prozedur ist beendet, wenn Ether nicht mehr zu riechen ist und liophile, am Reagenzrand abgelagerte Komponenten der Bodensuspension (Zellmembranen etc.) zu sehen sind.
- k) Wird nur eine geringe DMPP-Konzentration in der Bodenprobe vermutet, können weitere 2 ml Aliquots aus der DMP-MTBE-Vorratslösung ins abgedampfte Reagenzglas pipetiert werden und die unter i und j beschriebene Prozedur wird wiederholt, was mehrmals geschehen kann.
- l) Während des Verdampfens der MTBE-Phase verschwindet auch der Methanolanteil des HPLC-Eluenten, wodurch letztendlich nur noch ca. 160 μl Eluent übrig bleiben, von denen ein 100 μl -Aliquot mittels Probenaufgeber in einen HPLC injiziert werden. Damit der Probenaufgeber problemlos die 100 μl injizieren kann ist es ratsam, zu den 160 μl in den konisch zulaufenden Reagenzgläschen ein Microvial zuzugeben um den Flüssigkeitsstand etwas anzuheben.
- m) Zur Kalkulation der DMP Konzentration pro Bodentrockengewicht ist es wichtig, das Gewicht der Reagenzgläschen, die durch umgekehrtes Hängen in eine rotierende Zentrifuge (4000 upm, ca. 30 sec) getrocknet werden können, vor dem Einfüllen der DMP-MTBE-Vorratslösung und nach dem Abdampfen des Ethers zu wiegen, um den Rückstand von der Bodensuspension zu erfassen.

2.2.3 DMPP Quantifizierung

Wir quantifizierten DMP mit einer HPLC (Gynkotheek, Germany), die mit einer Supelco C 18 Discovery Säule (5 μm ; 15 cm x 4,6 mm), einer Vorsäule

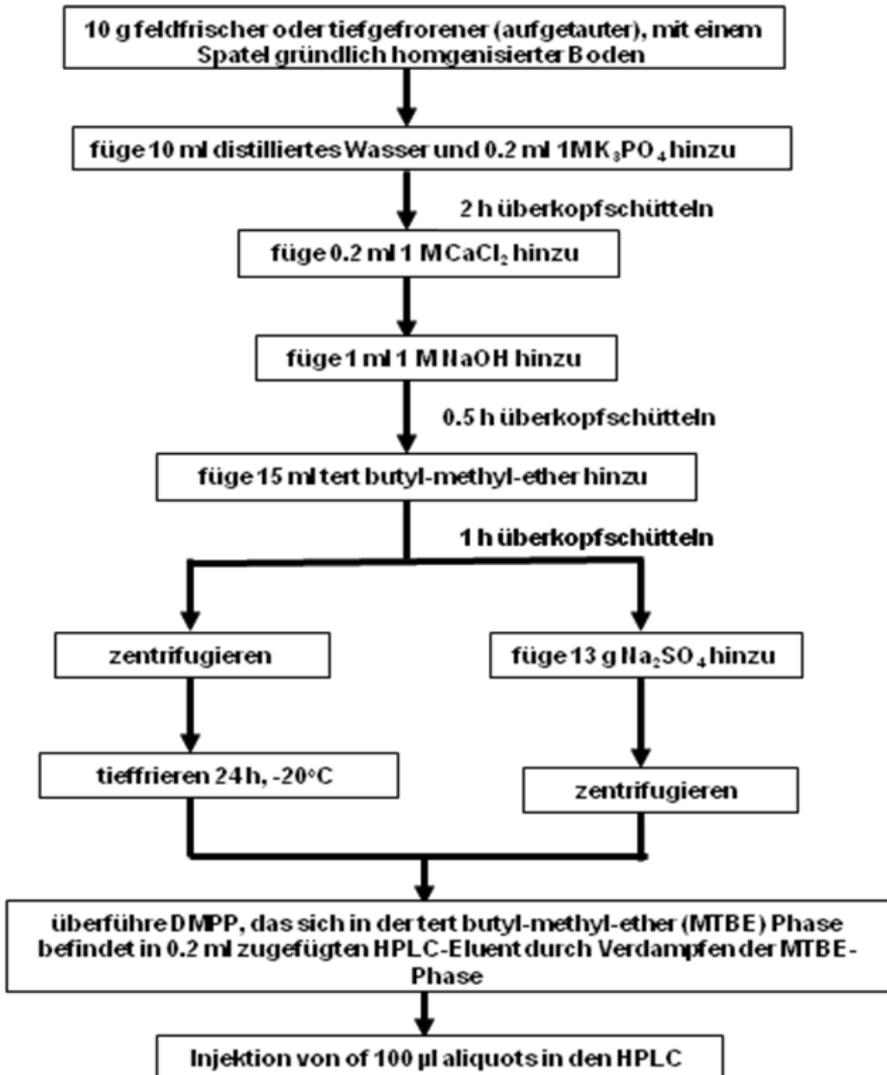


Abb.2: Fließschema einer neu entwickelten Methode zur Quantifizierung von 3,4-Dimethylpyrazolosphat (DMPP) in Böden. $(A-c_0) \times M_k \times 10 \times 7,5 \times 2,02 \text{ DMPP } (\mu\text{g g}^{-1} \text{ trockener Boden} = c_1 \times B$
 $(A = \text{Peakfläche}; c_0 = \text{Schnittpunkt der Ordinate}; M_k = \text{DMPP Konzentration } \mu\text{g ml}^{-1}; 10 = \text{Faktor: injizierte } 100 \mu\text{l zu ml}; 7,5 = \text{Verdünnungsfaktor durch die Etherphase von 2 ml}; 2,02 = \text{mol Gewicht DMPP/DMP}; c_1 = \text{Steigung}; B = \text{Bodentrockengewicht in g})$

(Supelco C 18 Discovery; 5 μm ; 2 cm x 4,0 mm), einer Pumpe (Gynkotheek P 560 HPG), einem Detektor (Gynkotheek UVD 170 S), einem Probenaufgeber (Gynkotheek GINA 50), einer Entgasungseinheit (Gynkotheek DG 1310) ausgestattet war und verwendeten zur Auswertung die Computersoftware (Chromeleon Version 4.20). Zur Findung einer Möglichkeit, auf Böden ausgebrachtes DMPP quantifizieren zu können, stellte uns der Forschungspartner BASF eine HPLC, DMP, DMPP und den von der BASF entwickelten DMPP-stabilisierten Dünger zur Verfügung. DMP-Standards von 0,05, 0,1 und 0,2 $\mu\text{g ml}^{-1}$ wurden hergestellt (DMP-Reinheit 96 %) und hierzu zunächst 0,1001 g in 100 ml HPLC-Eluent verdünnt (1000 $\mu\text{g DMP ml}^{-1}$). Von dieser Vorratslösung wurden 25 ml in 500 ml Eluent (50 $\mu\text{g DMP ml}^{-1}$) und davon 2 ml in 50 ml Eluent verdünnt, von dem 25, 50 und 100 μl in den HPLC injiziert wurden. Die Flächen der erhaltenen DMP-Peaks wurden mit der Computersoftware Chromeleon Version 4.20 (Softron GmbH, Germany) integriert und mit nachfolgender Formel in $\mu\text{g DMPP g}^{-1}$ trockener Boden berechnet.

2.3 Messung von DMPP-Schwund und Treibhausgasemissionen im Feld

In einem 3-jährigen Feldexperiment (4 Wiederholungen) wurde das Verschwinden von DMPP über die Vegetationsperiode hinweg sowie CO_2 -, N_2O -, und CH_4 -Emissionen mit der geschlossenen Kammermethode nach Ausbringung von DMPP-stabilisiertem ASN Dünger gemessen (methodische Details zur DMPP-Quantifizierung siehe oben, zur Gasmessung: Weiske et al, 2001 a und b). Die jeweils gefundenen DMPP-Mengen im Boden wurden in $\mu\text{g DMPP g}^{-1}$ trockener Boden und die einzelnen N_2O -, CO_2 - und CH_4 Messwerte ($\text{g ha}^{-1} \text{Jahr}^{-1}$; n = 4) in CO_2 -Äquivalente umgerechnet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Ein aus Feldversuchsboden, der kein DMPP erhalten hatte, angereichertes, nitrifizierendes Bakterienkonsortium wurde hinsichtlich der DMPP Hemmwirkung in fürs Feld empfohlenen und einer 10-fach höheren Konzentration in Kulturlösung untersucht (Benckiser et al., 2013). Nach Zusatz der fürs Feld empfohlenen DMPP begann nach ca. 35-tägiger Hemmung die Umwandlung von Ammonium in Nitrit und Nitrat wieder, während bei 10-fach höherer DMPP Konzentration keine NH_4^+ -Oxidation mehr zu beobachten war. In Böden dage-

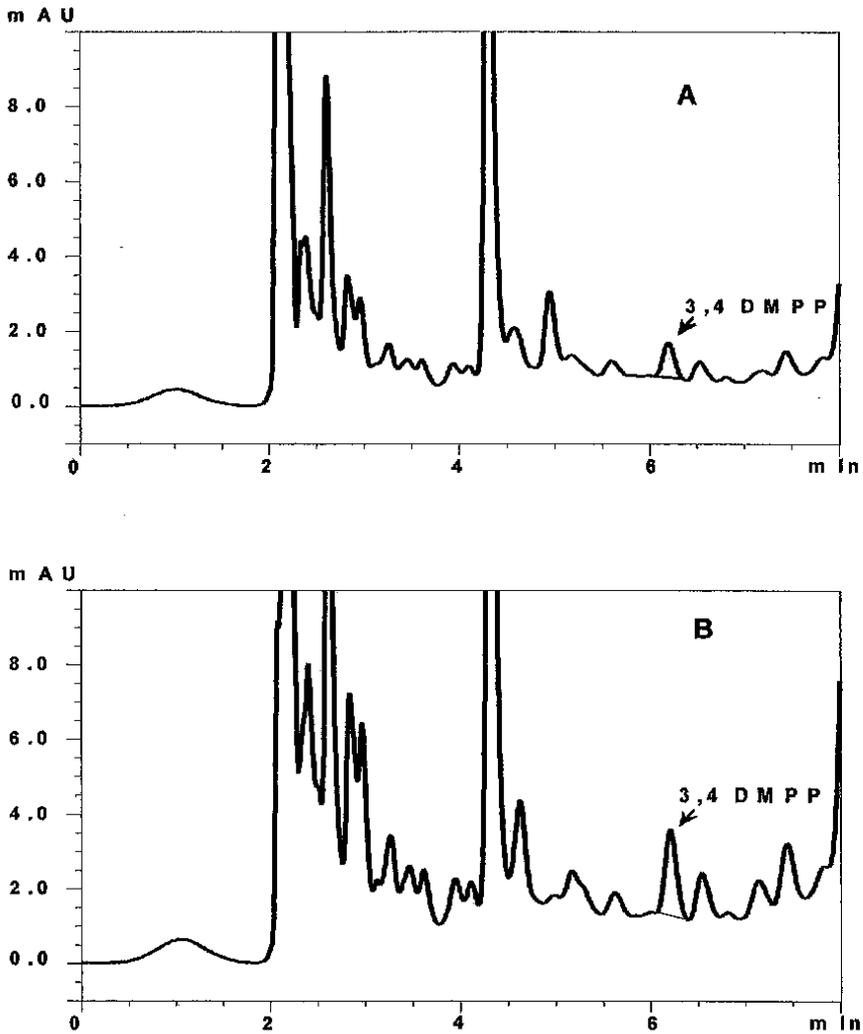


Abb. 3: DMP-Retentionszeit nach Extraktion und Anreicherung im HPLC-Eluenten (pH 3,4) einer tonig lehmigen Bodenprobe vom Versuchsfeld, die mit $0,01 \mu\text{g DMPP g}^{-1}$ feldfrischen Bodens angereichert wurde (A, B).
(B) zeigt den DMP Peak nach Zudosierung von weiteren 2 ml DMP enthaltener MTBE-Voratslösung. Die Peakfläche hat sich in etwa verdoppelt.

gen scheinen erst wesentlich höhere ausgebrachte DMPP Mengen ökotoxikologischen Einfluss zu nehmen (Tindaon et al., 2013), was auf ein Interagieren von DMPP mit der Bodenmatrix hinweist und zu berücksichtigen ist, wenn das Schicksal von DMPP in Böden verfolgt werden soll. Abbildung 2, 3 und 4 dokumentieren die Anwendbarkeit der von uns entwickelten und hier ausführlich beschriebenen Methode zur Extraktion und Quantifizierung von DMPP in Böden. Die etwas bessere DMPP-Ausbeute nach Aussalzen des Wassers (Abb. 3) zeigt, dass methodische Verbesserungen beim Verfolgen des DMPP-Schwundes im Feld noch Ziel sein sollen. Wir bevorzugten jedoch während des 3-jährigen Feldversuches (Abb. 5) Schritt f (Ausfrieren des Wassers), da Einfrieren die DMPP Bodenkonzentration nicht veränderte und durch Ausfrieren des Wassers ein höherer Probendurchsatz und eine bessere Standardisierung als beim Aussalzen zu realisieren war.

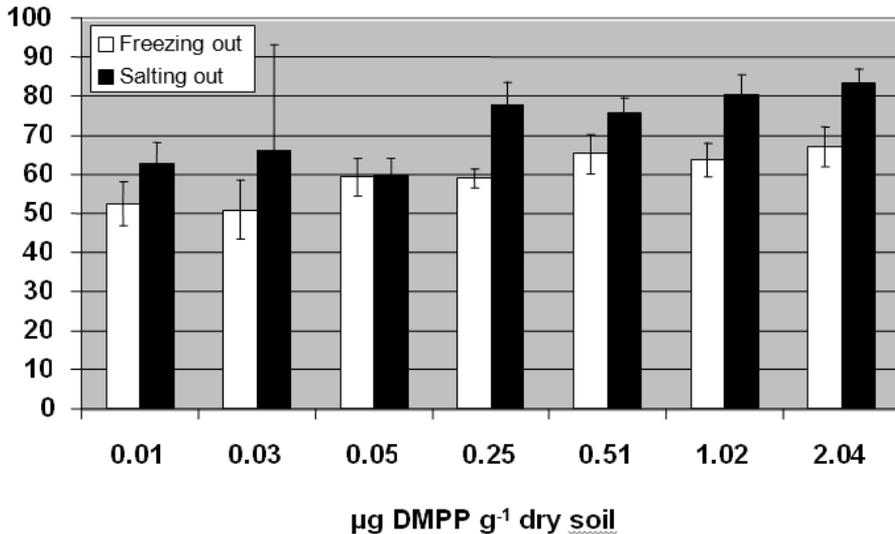


Abb. 4: Evaluierung der analytischen Möglichkeiten Ausfrieren und Aussalzen der Wasserphase während der Quantifizierung des dem tonig-schluffigen Feldboden unterschiedlich konzentriert zugesetzten Nitrifikationsinhibitor 3,4-Dimethylpyrazolophosphate (DMPP; Schritt f, Abb.2).

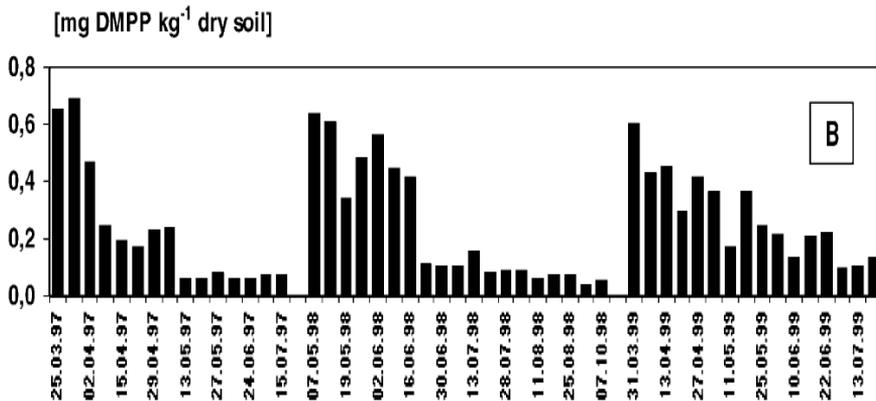


Abb. 5.: DMPP-Schwund im Oberboden der Feldexperiment Parabraunerde (0-15 cm), die 1997 0,48 mg DMPP kg⁻¹ trockenem Boden zur Sommergersten, 1998 0,81 mg DMPP kg⁻¹ trockenem Boden zu Mais und 1999 0,88 mg DMPP kg⁻¹ trockenem Boden zu Winterweizen als N-Düngergranulat erhielt (Weiske et al., 2001 a und b).

Mit der hier beschriebenen – und soweit wir wissen der bisher einzigen routinemäßig und reproduzierbar durchführbaren Methode zur Quantifizierung von DMPP in Böden – konnte DMPP bis zu einer Konzentration von 0,01 $\mu\text{g g}^{-1}$ trockenem Boden detektiert werden (Abb. 2, 3 und 5; Weiske et al., 2001a und b). Die Verfügbarkeit einer solchen Methode erlaubt neben Prozessmessungen (N_2O -Emissionen) auch besser die Hemmeffizienz von DMPP unter Feldbedingungen, sein Diffusionsverhalten und letztendlich seinen Schwund aus dem System zu verfolgen. Im 3-jährigen Feldversuch verringerte DMPP die über 3 Wachstumsperioden aufsummierte N_2O -Emission um 48,4 % (Weiske et al., 2001a und b) und die von uns gefundenen Wiederfindungsraten von 50-70 %, die auf Bodenmatrixinteraktionen zurückgeführt werden, werden von GC-MS Analysen bestätigt (Knoch, 1999).

Messungen zur Diffusion von DMPP in Böden unter Verwendung der vorgestellten Methode zeigten, dass die Diffusionsneigung geringer ist als die von Ammonium oder DCD (Azam et al., 2001; Weiske et al., 2001 a and b). Im feuchten, tonig-schluffigen Feldexperimentboden verblieb nach einer 10-tägigen Inkubationszeit ca 80 % des ausgebrachten DMPP in der Zone 0 bis 5 mm um das Düngergranulat, 5 bis 15 %, je nach Feuchtegehalt, diffundierte in die Zone

5 bis 20 mm und <3 % in die Zone 25 bis 40 cm während NH_4^+ ca. 4 cm weit diffundierte. Nitrifizierende Bakterien und Archaeen können in etwa 4 cm Entfernung vom DMPP-stabilisierten N Düngergranulat aktiv sein, was die N_2O -Emissionen trotz DMPP-Ausbringung bestätigen (Weiske et al., 2001a und b). Wie aus Abbildung 5 ersichtlich wird, kann DMPP-stabilisierter N-Dünger bis über die pflanzenfreie Zeit hinaus wirken, wenngleich unter Klimabedingungen wie beispielsweise in Pakistan (heiß und feucht) DMPP viel schneller abgebaut werden dürfte (Ali et al., 2008; Mahmood et al., 2011) und nitrifizierende Archaeen von NI wie DMPP nicht wirklich gehemmt zu werden scheinen wohin erste Hinweise deuten (Di et al., 2010; Kleineidam et al. 2011).

4. Literaturangaben

- Amberger, A., 1986: Potentials of nitrification inhibitors in modern N-fertilizer management. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.* 149, 469-484.
- Ali, R., Iqbal, J., Tahir, G.R., Mahmood, T., 2008: Effect of 3,5-Dimethylpyrazole and nitrapyrin on nitrification under high soil temperature *Pak. J. Bot.*, 40, 1053-1062.
- Andreae, M., 1999: ENTEC (DMPP – ein neuer Ammoniumstabilisator: Ökotoxikologische Bewertung. In: Düngen mit einer neuen Technologie – Innovation in der Düngung. Wissenschaftliches Kolloquium Agrarzentrum der BASF Limburgerhof, 17. bis 18. Mai, 1999, 3-10.
- Azam, F., Benckiser, G., Müller, C., Ottow, J.C.G., 2001: Release, movement and recovery of 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP), ammonium, and nitrate from stabilized nitrogen fertilizer granules in a silty clay soil under laboratory conditions. *Biol. Fertil. Soils* 34, 118-125.
- Benckiser, G., 1997: Organic inputs and soil metabolism. In: Benckiser, G. (ed.): *Fauna in soil ecosystems*. Marcel Dekker, New York, USA.
- Benckiser, G., Christ, E., Herbert, T., Weiske, A., Blome, J., Hardt, M., 2013: The nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole-phosphate (DMPP) - quantification and effects on soil metabolism. *Plant Soil* DOI 10.1007/s11104-013-1664-6.
- Chaves, B., Opoku, A., De Neve, S., Boeckx, P., Van Cleemput, O., Hofman, G., 2006: Influence of DCD and DMPP on soil N dynamics after incorporation of vegetable crop residues. *Biol. Fertil. Soils* 43, 62-68.

- Di, H.J., Cameron, K.C., Shen, J.P., Winefield, C.S., O'Callaghan, M., Bowatte, S., He, J.Z. 2010: Ammonia-oxidizing bacteria and archaea grow under contrasting soil nitrogen conditions. *FEMS Microbiology Ecology*, 72, 386-394.
- Hatch, D., Trindade, H., Cardenas, L., Carneiro, J., Hawkins, J., Scholefield, D., Chadwick, D. 2005: Laboratory study of the effects of two nitrification inhibitors on greenhouse gas emissions from a slurry-treated arable soil: impact of diurnal temperature cycle. *Biol. Fert. Soils* 41, 225-232.
- Jarell, K.F., Walters, A.D., Bochiwal, C., Borgia, J.M., Dickinson, T., Chong, J.P.J. 2011: Major players on the microbial stage: why archaea are important. *Microbiol.* 157, 919-936.
- Kleineidam, K., Košmrlj, K., Kublik, S., Palmer, I., Pfab, H., Ruser, R., Fiedler, S., Schloter, M., 2011: Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazolephosphate (DMPP) on ammonia-oxidizing bacteria and archaea in rhizosphere and bulk soil. *Chemosphere* 84, 182-186.
- Knock, E., 1999: Aerobic soil metabolism: 3,4-dimethylpyrazole-5-¹⁴C)-phosphate. Institut Fresenius, Chemische und biologische Laboratorien GmbH, Isotope Laboratory, Herten. Studynr. IF-97/07972-00, investigation authorized by BASF AG, Limburgerhof, unpublished.
- Ladha, J.K., Reddy, C.K., Padre, A.T., van Kessel, C., 2011: Role of nitrogen fertilization in sustaining organic matter in cultivated soils *J. Environ. Qual.* 40, 1756-1766.
- Mahmood, T., Ali, R., Latif, Z., Ishaque, W., 2011: Dicyandiamide increases the fertilizer N loss from an alkaline calcareous soil treated with 15N-labelled urea under warm climate and under different crops. *Biol. Fert. Soils* 47, 619-631.
- Martens-Habbena, W., Berube, P.M., Urakawa, H., de la Torre, J.R., Stahl, D.A., 2009: Ammonia oxidation kinetics determine niche separation of nitrifying Archaea and Bacteria. *Nature* 461, 976-979.
- Pasda, G., Hähndel, R., Zerulla, W., 2001: The effect of fertilizer with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazolephosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biol. Fert. Soils* 34, 85-97.
- Philips, S., Wyffels, S., Sprengers, R., Verstraete, W. 2002: Oxygen-limited autotrophic nitrification/denitrification by ammonia oxidisers enables upward motion towards more favourable conditions. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 59, 557-566.

- Poth, M., 1986: Dinitrogen production from nitrite by a *Nitrosomonas* isolate. *Appl. Environ. Microbiol.* 51, 957-959.
- Poth, M., Focht, D.D., 1985: ^{15}N kinetic analysis of N_2O production by *Nitrosomonas europaea*: an examination of nitrifier denitrification. *Appl. Environ. Microbiol.* 49, 1134-1141.
- Rajbanshi, S.S., Benckiser, G., Ottow, J.C.G., 1992: Effects on concentration, incubation temperature and repeated applications on degradation kinetics of dicyandiamide (DCD) in soils. *Biol. Fertil. Soils* 13, 61-97.
- Ravishankara, A.R., Daniel, J.S., Portmann, R.W., 2009: Nitrous oxide (N_2O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science* 326, 123-125.
- Schlichting, E., Blume, H.P., Stahr, K., 1995: *Bodenkundliches Praktikum*. Blackwell, Berlin.
- Schmidt, J.M., 1971: Prosthecate bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* 25, 93-110.
- Strous, M., van Gerven, E., Zheng, P., Kuenen, J.G., Jetten, M.S.M., 1997: Ammonium removal from concentrated waste streams with the anaerobic ammonium oxidation (Anammox) process in different reactor configurations. *Water Res.* 31, 1955-1962.
- Strohm, T.O., Griffin, B., Zumft, W.G., Schink, B., 2007: Growth yields in bacterial denitrification and nitrate ammonification. *Appl. Environ. Microbiol.* 73, 1420-1424.
- Subbarao, G.V., Sahrawat, K.L., Nakahara, K., Rao, I.M., Ishitani, M., Hash, C.T., Kishii, M., Bonnett, D.G., Berry, W.L., Lata, J.C., 2012: A paradigm shift towards low-nitrifying production systems: the role of biological nitrification inhibition (BNI). *Annals of Botany* doi: 10.1093/aob/mcs230.
- Sutton, M.A., Oenema, O., Erisman, J.W., Leip, A., van Grinsven, H. Winiwarter, W., 2011: Too much of a good thing. *Nature* 472, 159-161.
- Tiedje, J.M., 1988: Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium. In: *Biology and anaerobic organisms*, Zehnder A.J.B., Ed. John Wiley & Sons: New York, 179-244.
- Tindaon, F., Benckiser, G., Ottow, J.C.G., 2012: Evaluation of the effect of the nitrification inhibitors 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP), 4-chloro methylpyrazole (CIMP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on non-target microbial activity in soils as assessed by dehydrogenase- and dimethylsulfoxide reductase activity. *Biol. Fertil. Soils* 48, 643-650.

- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2008: Methode 12.2.2, Bestimmung von 3, 4-Dimethyl-1H-pyrazol-Phosphat. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. II.I, Die Untersuchung von Düngemitteln, 4. Ergänzungslieferung, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Weiske, A., Benckiser, G., Herbert, T., Ottow, J.C.G., 2001a: Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. *Biol. Fertil. Soils* 34, 109-117.
- Weiske, A., Benckiser, G., Ottow, J.C.G. 2001: Effect of the new nitrification inhibitor DMPP in comparison to DCD on nitrous oxide (N₂O) emissions and methane (CH₄) oxidation during 3 years of repeated applications in field experiments. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 60, 57-64.
- Wissemeier, A., Linzmeier, W., Gutser, R., Weigelt, W., Schmidhalter, U., 2002: The new nitrification inhibitor DMPP (ENTEC®) – Comparisons with DCD in model studies and field applications. *Plant Nutri. Develop. Plant Soil Sci.* 92, Symposium 10, 702-703, DOI: 10.1007/0-306-47624-X_340.
- Zerulla, W., Barth, T., Dressel, J., Erhardt, K., Horchler von Locquenghien, K., Pasda, G., Rädle, M., Wissemeier, A.H., 2001: 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *An Introduction Biol. Fertil. Soils* 34, 79-84.

Danksagung

Wir bedauern sehr, dass Prof Johannes C. G. Ottow nicht mehr unter uns ist und danken Dr. Pasda, Dr Zerulla und Prof Dr. Wissemeier, BASF, für ihre stete Unterstützung.

Wirkung ammoniumstabilisierter N-Dünger im Vergleich zu ihren nicht stabilisierten Formen in unterschiedlicher Gabenteilung auf Kornertrag, Rohproteingehalt und N-Saldo von Winterweizen auf Löss-Schwarzerde

L. Boese

Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLFG) Sachsen-Anhalt, Bernburg (Saale)

1. Einführung

Ammoniumstabilisierte N-Dünger werden mit verschiedenen Argumenten beworben. So sei der in Ammonium- oder Amidform enthaltene Stickstoff durch den Zusatz von Nitrifikationsinhibitoren über einen gewissen Zeitraum vor Nitrifikation und damit vor Verlagerung und Auswaschung geschützt. Dies ermögliche die Zusammenlegung und Vorziehung von Düngergaben, Einsparung von Überfahrten und damit Kostensenkung. Eine verbesserte Ausnutzung senke überdies den N-Überhang. Die verringerte Nitratkonzentration im Boden vermindere N-Verluste durch Denitrifikation und die Bildung klimarelevanter Stickoxide (Lachgas). Die spezifische Ammoniumernährung habe überdies ernährungsphysiologische Vorteile. Gelegentlich wird über Ertragssteigerungen berichtet. Da stabilisierte N-Dünger in der Regel teurer sind als die jeweils nichtstabilisierte Form, haben Landwirte ein Interesse an der vergleichenden Prüfung der Wirkung dieser Dünger in unabhängigen Einrichtungen.

2. Feldversuche

An der LLFG wurden am Standort Bernburg (Löss-Schwarzerde, 511 mm mittlere Jahresniederschlagssumme) über vier Jahre die beiden stabilisierten festen N-Dünger Alzon 46 und ENTEC 26 im Vergleich zu ihren nichtstabilisierten Formen Harnstoff bzw. Ammonsulfatsalpeter (ASS) sowie zu Kalkammonsalpeter (KAS) in Versuchen mit zwei Sorten Winterweizen geprüft. In die Prüfung einbezogen wurden entsprechend den Empfehlungen der Hersteller neben der Standardaufteilung (drei Teilgaben) auch die zweigeteilte und die ungeteilte Applikation (zu Vegetationsbeginn) der in allen Fällen einheitlichen Gesamt-

menge in Höhe von 220 kg/ha N. Mit im Mittel 28 kg/ha N in 0-90 cm waren die N_{\min} -Gehalte im Frühjahr im Boden niedrig. Die S_{\min} -Gehalte (Mittel 51 kg/ha S) ließen nicht von vornherein eine Wirkung des S-Anteils von ASS und ENTEC 26 erwarten. In einem Jahr mit niedrigerem S-Bodengehalt wurde eine zusätzliche Kieseritgabe verabfolgt. Die beiden Sorten Cubus und Akteur zeigten insgesamt keine wesentlich voneinander abweichenden Wirkungen, so dass im Folgenden nur Mittelwerte über beide Sorten dargestellt werden.

3. Ergebnisse

Im Mittel über alle Jahre und die drei Teilungsvarianten führte Kalkammonsalpeter mit 94 dt/ha zum höchsten **Kornertrag** (Abb. 1). Die Ertragsdifferenz zu Alzon 46 betrug 4 dt/ha. In den Einzeljahren gab es in der Rangfolge Unterschiede. Im direkten Vergleich der stabilisierten zur jeweils nicht stabilisierten Form waren die Differenzen nur gering. Im Mittel lag ENTEC 26 eine Dezitonne vor ASS und Alzon 46 eine Dezitonne hinter gewöhnlichem Harnstoff.

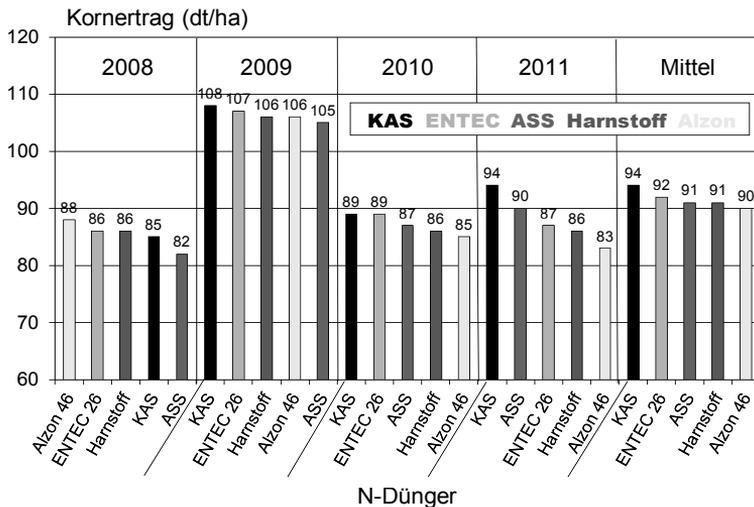


Abb. 1: Kornertrag von Winterweizen in Abhängigkeit vom N-Dünger in vier Versuchsjahren (Mitteldrei Teilungsmuster, zwei Sorten)

Die unterschiedliche Aufteilung wirkte sich im Mittel der Dünger und Jahre entgegen der Erwartung nur sehr gering aus (Abb. 2). Grund dafür war vor allem die Umkehrung der Wirkung im Jahr 2011 mit anhaltender Trockenheit im April

und Mai. Die Applikation der gesamten N-Menge in einer Gabe zu Vegetationsbeginn führte in diesem Versuchsjahr mit Abstand zum höchsten Kornertrag. In den übrigen Jahren brachte die übliche Dreiteilung (Vegetationsbeginn, Schossbeginn, Ährenschnellen) im Vergleich zur ungeteilten Ausbringung Mehrerträge von 2-5 dt/ha. Vor allem ein trockener April scheint die normalerweise positive Wirkung der Teilung zu vermindern.

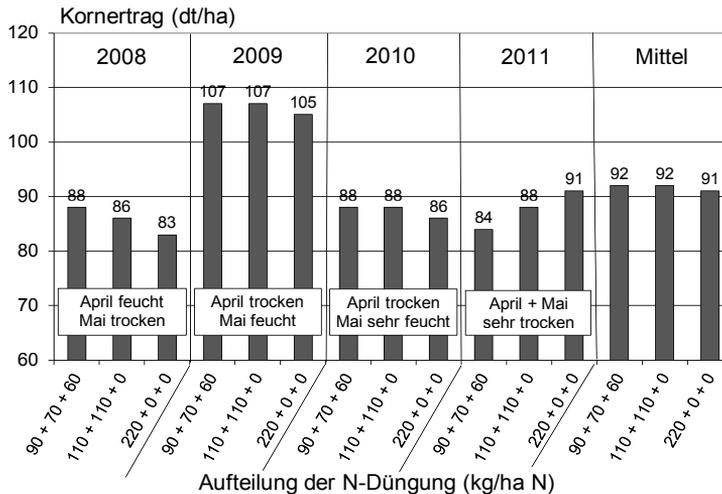


Abb. 2: Kornertrag von Winterweizen in Abhängigkeit von der Aufteilung der N-Düngung in vier Versuchsjahren (Mittel fünf Dünger, zwei Sorten)

Entscheidend ist die Wechselwirkung zwischen Düngerform und Teilung. Nach der Hypothese müssten die beiden stabilisierten Dünger weniger negativ auf die Zusammenziehung bzw. Vorziehung von Teilgaben auf frühe Applikationstermine reagieren als ihre entsprechenden nichtstabilisierten Formen oder KAS. Dies war in dieser Versuchsserie nicht der Fall (Abb. 3). Alle Dünger zeigten ähnliche, wenn nicht gleiche Reaktionen. Einzig ASS reagierte stärker negativ. Mit allen Düngern, auch mit KAS, war eine Zusammenziehung von Teilgaben bis hin zur Einmaldüngung zu Vegetationsbeginn möglich, allerdings in „Normaljahren“ unter Inkaufnahme eines Ertragsverlustes von im Mittel 3 dt/ha (3,2 %) gegenüber der Standardteilung. Die stabilisierten Dünger zeigten hierin keinen Vorteil. Abbildung 3 zeigt das Ergebnis im Mittel der Jahre 2008-10. Im vierjährigen Mittel unter Einbeziehung des Trockenjahres 2011 betrug der Ertragsverlust durch Verzicht auf Teilung im Durchschnitt der Dünger nur 1 dt/ha (1,1 %). Bei KAS und Harnstoff führten alle Teilungsvarianten in diesem Fall zum gleichen Kornertrag.

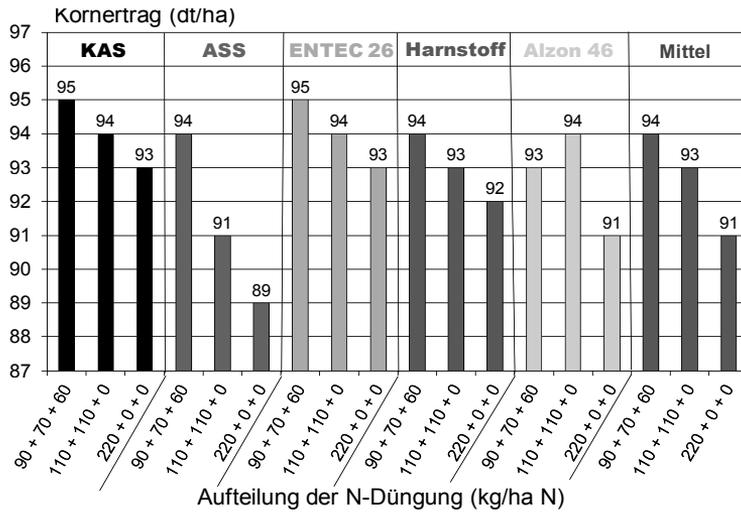


Abb. 3: Kornertrag von Winterweizen in Abhängigkeit von der Aufteilung der N-Düngung und der Düngerform (Mittel drei Jahre, zwei Sorten)

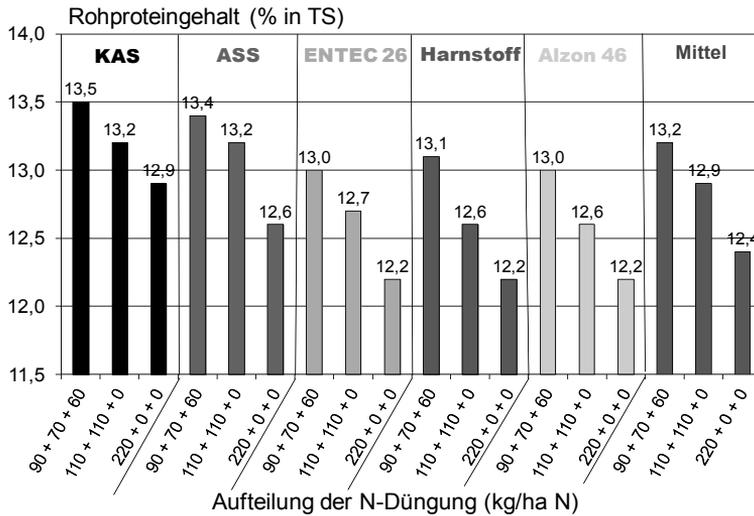


Abb. 4: Rohproteingehalt von Winterweizen in Abhängigkeit von der Aufteilung der N-Düngung und der Düngerform (Mittel vier Jahre, zwei Sorten)

Aus der applizierten N-Menge auf der einen Seite und der N-Abfuhr als Produkt aus Kornertrag und N-Gehalt im Korn auf der anderen wird der N-Überschuss (**N-Saldo**) berechnet. Für eine hohe Effektivität der Düngung und zum Schutz der Umwelt sollte er möglichst niedrig sein. Nach Düngeverordnung sollte er 60 kg/ha N im Mittel des Betriebes über drei Anbaujahre nicht überschreiten. Dieser Schwellenwert wurde in allen Düngungsvarianten eingehalten (Abb. 5). Durch die höhere N-Abfuhr, verursacht durch höhere Erträge und Proteingehalte, waren die N-Salden bei dreigeteilter Applikation bei allen Düngern am niedrigsten. Die Differenz zu „ungeteilt“ betrug im Mittel aber nur 12 kg/ha. KAS schnitt vor allen anderen Düngern wieder am günstigsten ab. Auch in diesem umweltrelevanten Merkmal lässt sich kein Vorteil der Anwendung ammoniumstabilisierter Dünger bei reduzierter Gabenzahl gegenüber den nichtstabilisierten ableiten.

Jeweils nach der Ernte wurden die **Rest-N_{min}-Gehalte im Boden** in drei Schichten bis 90 cm Tiefe gemessen (Abb. 6). Im Gesamtmittel betragen diese 19 + 8 + 3 = 30 kg/ha N. Die Differenzen zwischen den Düngerformen und Teilungsvarianten waren mit maximal 5 kg/ha sehr gering. Stabilisierte und nicht stabilisierte Dünger wiesen im Prinzip die gleichen N-Überhänge auf. Die Dreiteilung führte zu minimal höheren Werten als Zweiteilung oder „ungeteilt“.

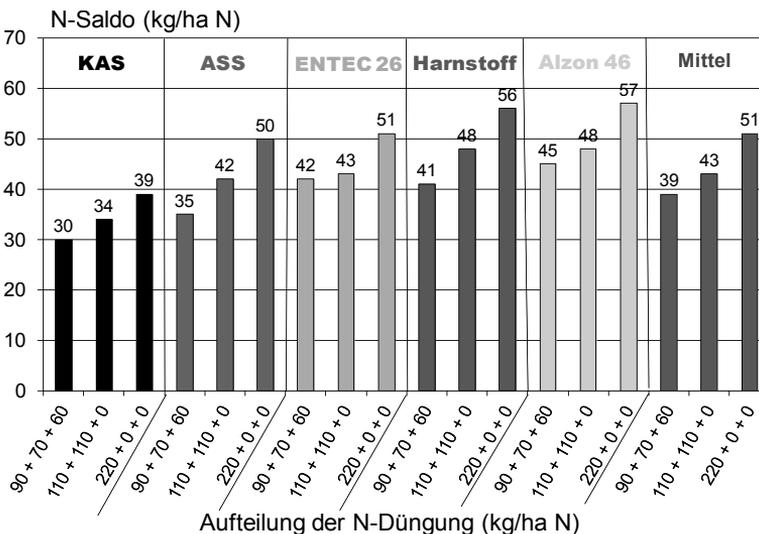


Abb. 5: N-Saldo von Winterweizen in Abhängigkeit von der Aufteilung der N-Düngung und der Düngerform (Mittel vier Jahre, zwei Sorten)

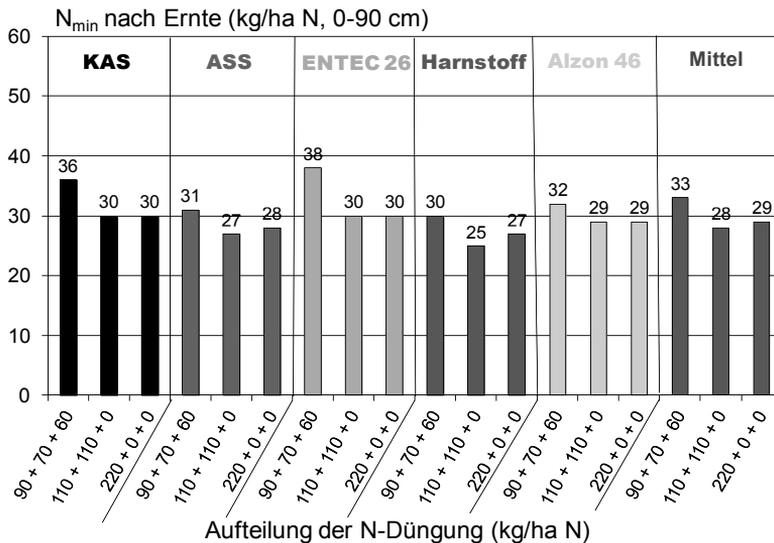


Abb. 6: N_{\min} im Boden nach der Ernte von Winterweizen in Abhängigkeit von der Aufteilung der N-Düngung und der Düngerform (Mittel vier Jahre, zwei Sorten)

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen kann für den Schwarzerdestandort Bernburg weder aus pflanzenbaulicher noch ökologischer Sicht ein Vorteil aus der Anwendung der beiden geprüften ammoniumstabilisierten N-Dünger zu Winterweizen im Vergleich zur entsprechenden konventionellen Düngerform oder zu KAS abgeleitet werden. Dies gilt insbesondere bei Zusammenlegung von Teilgaben zu frühen Applikationsterminen. Dass die Anwendung von Nitrat- oder nichtstabilisierten Ammonium- bzw. Amiddüngern in diesem Fall zu höheren N-Verlusten durch Verlagerung und Auswaschung führt, konnte anhand der vorliegenden Daten nicht nachgewiesen werden. Es erscheint auch eher unwahrscheinlich angesichts einer Feldkapazität der Bodenfeuchte am Standort von 300 mm im 1-m-Profil, davon 200 mm pflanzenverfügbar. Letzteres bedeutet: Es müssten nach der Düngung 300 mm Regen fallen und die Bestände dürften kein Wasser entziehen, um die Hälfte des auf die Oberfläche applizierten Stickstoffs aus dem Profil auszuwaschen.

5. Zusammenfassung

Vierjährige Versuche mit fünf festen N-Düngern in unterschiedlichen Teilungsvarianten zu Winterweizen auf Löss-Schwarzerde ließen keinen Vorteil der Anwendung der ammoniumstabilisierten Dünger ENTEC 26 und Alzon 46 im Vergleich zu den entsprechenden nichtstabilisierten Formen ASS und Harnstoff sowie zu KAS erkennen. Dies galt insbesondere für die zweigeteilte und die Applikation in einer Gabe zu Vegetationsbeginn. Die gemessenen N_{\min} -Überhänge im Boden nach der Ernte und die berechneten N-Salden gaben keinen Hinweis auf erhöhte N-Verluste durch Verlagerung oder Auswaschung nach Anwendung der gewöhnlichen Dünger. Auf späte Teilgaben sollte insbesondere bei der Produktion von Qualitätsweizen nicht verzichtet werden, da sie ohne zusätzlichen N-Aufwand den Rohproteingehalt erhöhen und die Möglichkeit der Anpassung der Düngung an Witterungsverlauf, Ertragserwartung sowie örtlich unterschiedliche Versorgung („precision farming“) ermöglichen.

Einfluss von N-Düngung, Nitrifikationshemmstoff und Abfuhr der Ernterückstände auf die N₂O-Freisetzung zweier gemüsebaulich genutzter Böden

P. Seiz¹, R. Schulz¹, A. Heger², M. Armbruster², T. Müller¹, F. Wiesler², R. Ruser¹

¹Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, FG Düngung und Bodenstoffhaushalt, Universität Hohenheim, Stuttgart, ²Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer

1. Einleitung

Lachgas (N₂O) ist ein klimarelevantes Spurengas, welches zum einen am Abbau des stratosphärischen Ozons beteiligt ist (Crutzen, 1981) und zum anderen mit 7,9 % zum anthropogenen Treibhauseffekt beiträgt (IPCC, 2007). Vom O₂-Partialdruck des Bodens abhängig, erfolgt die Bildung von N₂O in Böden sowohl durch Nitrifikation unter aeroben Bedingungen, als auch während Denitrifikation unter anaeroben Bedingungen. Somit sind Ammonium und Nitrat, gängige Komponenten schnelllöslicher mineralischer N-Dünger, die Substrate für lachgasbildende Prozesse. McSwiney und Robertson (2005) zeigten, dass zunehmende N-Überschüsse in der Landnutzung mit einem zunehmenden Anstieg der N₂O-Emissionen einhergehen. Bedingt durch die im Gemüsebau zwangsläufig vorkommenden hohen N_{min}-Gehalte zum Erntezeitpunkt in Kombination mit der Einarbeitung von N-reichen Ernterückständen werden dem Boden in kurzer Zeit hohe N-Mengen zugeführt. Gleichzeitig werden durch die frischen und krautigen Pflanzenteile nicht nur N- sondern auch schnell verfügbare C-Verbindungen bereitgestellt. Diese Substratkombination ist Basis für einen hohen Umsatz der Denitrifikation, welche stark erhöhte N₂O-Emissionen zur Folge haben kann. Laut aktuell geltender Düngerverordnung sind im Gemüsebau bei Kulturen der Kategorie III (Starkzehrer) vor Winter 120, im Einzelfall bis zu 160 kg N ha⁻¹ a⁻¹ N-Überschüsse zulässig. Geeignete N-Managementmaßnahmen sollen helfen, diese Überschüsse so gering wie möglich zu halten, um Grundwasser und Atmosphäre vor übermäßigen N-Einträgen zu schützen. Es ist bereits gezeigt worden, dass Maßnahmen zur Reduktion von N-Überschüssen im Gemüsebau die Nitratauswaschung signifikant reduzieren können (Wiesler et al., 2008), jedoch ist deren Wirkung auf die N₂O-Emission bislang nur unzureichend untersucht.

Ziele des Projektes:

- Quantifizierung des Einflusses einzelner Maßnahmen zur Reduktion von N-Überschüssen in Bezug auf die N₂O-Emission.
- Vergleich zweier Standorte mit stark unterschiedlicher Bodentextur, die Unterschiede in der N₂O-Emission erwarten lassen.

2. Material und Methoden

Der Versuch wurde zwischen dem 03.08.11 und dem 02.11.12 auf den beiden Standorten Hohenheim und Speyer möglichst identisch durchgeführt. Der Standort Hohenheim repräsentiert hierbei die ‚Filderebene‘ nahe Stuttgart. Der Vergleichsstandort Speyer wurde exemplarisch für die ‚Vorderpfalz‘ ausgewählt. Beide in Süddeutschland gelegenen Standorte repräsentieren Gebiete mit außerordentlich hohem Gemüseanbauanteil und sind in Tabelle 1 charakterisiert.

Tab. 1: Klima- und Bodenkenndaten der Versuchsstandorte

	Hohenheim	Speyer
Höhe ü. NN. [m]	410	99
Mitt. Jahrestemp. [°C]	9,9	10,0
Mitt. Jahres-Nd [mm]	686	593
Bodentyp	Parabraunerde	Braunerde
Sand [%]	2	80
Schluff [%]	68	15
Ton [%]	30	5
pH (0,01m CaCl ₂)	6,5	6,2

Die Feldversuche wurden jeweils auf vollrandomisierten Blockanlagen mit 4-facher Wiederholung durchgeführt. Vom 03.08.2011 bis 21.11.2011 wurde Blumenkohl kultiviert. Nach einer Winterperiode mit Schwarzbrache wurde jeweils Eissalat (Pflanztermin: 25.04.2012) gefolgt von Brokkoli (Pflanztermin: 26.07.2012) angebaut. Pflanzenschutz- und Bewässerungsmaßnahmen wurden nach Bedarf vorgenommen und somit standort- und kulturgerecht adaptiert. Fünf Varianten einschließlich einer ungedüngten ‚Kontrolle‘ wurden in den Feldversuchen parallel geführt. Die Basisvariante, ‚KNS‘, wurde entsprechend des

kulturbegleitenden N_{\min} -Sollwerte-Systems (Feller et al., 2007) mit N versorgt. In der Behandlung ‚KNSNI‘ wurde mit derselben N-Menge gedüngt. Diese erfolgte als Einmalgabe zu Kulturbeginn mit ENTEC 26[®], worin der Nitrifikationshemmstoff 3,4-Dimethylpyrazol-Phosphat enthalten ist. Bei der Variante ‚KNS abf‘ wurden die Ernterückstände kontinuierlich entfernt. Die ‚Faustzahlen‘-Variante erhielt die höchsten N-Düngermengen. Hierbei wurde N entsprechend dem Pflanzenbedarf plus einem Sicherheitszuschlag appliziert. Jede N-Düngung erfolgte mit Ammonsulfatsalpeter.

Tab. 2: Versuchsvarianten und N-Düngermengen in Abhängigkeit des Standorts und der Kultur. Hohenheim: Hoh, Speyer: Sp

	Blumenkohl [kg N ha ⁻¹]	Eissalat [kg N ha ⁻¹]	Brokkoli [kg N ha ⁻¹]	Gesamt N-Düngemenge [kg N ha ⁻¹]
(Hoh)				
Kontrolle	0	0	0	0
KNS	250	85	180	515
KNSNI	250	85	180	505
KNS abf	140	105	175	400
Faustzahlen	325	170	310	805
(Sp)				
Kontrolle	0	0	0	0
KNS	275	75	190	540
KNSNI	275	75	190	540
KNS abf	275	85	250	610
Faustzahlen	375	170	310	855

Die Probenahmen zur Ermittlung der Spurengasflüsse erfolgten im wöchentlichen Turnus ganzjährig. Hierbei wurde die geschlossene Kammermethode eingesetzt (Hutchinson und Mosier, 1981). Die Berechnung der Gasflussraten erfolgte nach linearem Ansatz (Flessa et al., 1995). Die N₂O-Konzentrationen der Gasproben wurden gaschromatographisch (Hewlett Packard, ⁶³Ni ECD) gemessen.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Erträge

Die Ertragszahlen von Blumenkohl und Eissalat lagen auf mittlerem Ertragsniveau, während sich die Brokkoli-Erträge auf etwas niedrigem Level befanden (Tab. 3 und 4). Gründe hierfür waren die inhomogene Abreife des Brokkolis sowie die Beschränkung auf zwei Erntedurchgänge. Die Entwicklung von voll marktfähigen Eissalatbeständen in der ungedüngten ‚Kontroll‘-Variante ist sehr wahrscheinlich auf die Nachlieferung von mineralischem N aus den im Spätherbst des Vorjahres eingearbeiteten Ernteresten des Blumenkohls 2011 zurückzuführen.

Tab. 3: Mittlere marktfähige Gemüseerträge [dt FM ha⁻¹] in Hohenheim, Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Kultur (Student-Newman-Keuls-Test, $\alpha < 0,05$)

Variante	Kontrolle	KNS	KNS NI	KNS abf	Faustzahlen
Blumenkohl	0 ^c	232 ^b	265 ^{ab}	-	310 ^a
Eissalat	362	445	417	430	416 n.s.
Brokkoli	12 ^b	187 ^a	207 ^a	228 ^a	207 ^a

Tab. 4: Mittlere marktfähige Gemüseerträge [dt FM ha⁻¹] in Speyer, Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Kultur (Student-Newman-Keuls-Test, $\alpha < 0,05$)

Variante	Kontrolle	KNS	KNS NI	KNS abf	Faustzahlen
Blumenkohl	0 ^b	245 ^a	249 ^a	-	275 ^a
Eissalat	338	452	488	468	513 n.s.
Brokkoli	0 ^b	209 ^a	172 ^a	213 ^a	227 ^a

3.2 N₂O-Spurengasflüsse

Auf dem **Standort Hohenheim** wurden auf Grund der Kombination von Rest-N_{min} (zum Erntezeitpunkt), Kohl-Ernterückständen, hoher Bodentemperaturen und hoher Bodenwassergehalte Mitte Oktober 2012 extrem hohe Gasflussraten gemessen. Die Maxima betragen in den Varianten ‚Faustzahlen‘, ‚KNS NI‘ und

‚KNS‘ 17 200, 4600 und 3800 $\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Ebenfalls sehr hohe Gasflussraten bis ca. 1000 $\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$ wurden während Frost/Tau-Ereignissen im Winter 2011/2012 in der ‚Faustzahlen‘-Variante gemessen. Erhöhte Gasflüsse traten generell nach Einarbeitung von frischem Pflanzenmaterial auf. Dies war sowohl bei den Ernteresten der Gemüsekulturen als auch zu Versuchsbeginn nach Einarbeitung der Vorkultur (Phacelia) der Fall. Nach N-Düngungsmaßnahmen waren die N_2O -Emissionen in Kombination mit erhöhten Bodenwassergehalten kurzzeitig erhöht.

Am **Standort Speyer** konnte ein deutlicher Anstieg der N_2O -Flussraten mit 1100, 630 und 400 $\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$, in den Varianten ‚KNS‘, ‚Faustzahlen‘ und ‚KNS NI‘ Ende Juni 2012 nach Einarbeitung von Salaternterückständen abermals in Kombination mit starken Niederschlagsereignissen nachgewiesen werden. Insgesamt kam es nach N-Düngerapplikationen öfter zu einem Anstieg der Emissionen, was durch vermehrte Bewässerung zu diesen Zeitpunkten zu erklären ist. Die Emissionen lagen aber auf einem vergleichsweise geringen Niveau. Im Gegensatz zum Standort Hohenheim waren die Flussraten in Speyer nach der Einbringung der Ernterückstände sowie während Frost/Tau-Zyklen niedrig.

3.3 Kumulative N_2O -Emissionen

Die kumulativen N_2O -Emissionen am **Standort Hohenheim** (15 Monate) lassen sich in drei verschiedene Emissions-Niveaus unterteilen (Abb. 1). Die höchsten Emissionen traten bei der N-Düngung nach ‚Faustzahlen‘ auf. Alleine durch die Optimierung der N-Düngung (‚KNS‘) stellte sich eine Emissionsminderung um 58 % ein. Durch zusätzliches Entfernen der Ernterückstände (‚KNS abf‘) konnten die N_2O -Emissionen abermals statistisch signifikant reduziert werden. Gegenüber der ‚Faustzahlen‘-Variante ergab sich dabei eine Reduktion um 89 %. Der Standort Hohenheim zeigte einen besonders hohen Anteil an „Winter-Emissionen“ (Abb. 1). Bei den Untersuchungen von Pfab et al. (2011) auf demselben Standort ergab sich ein vergleichbar hoher Anteil der N_2O -Emission im Winter an der Jahres-Emission.

Im Gegensatz dazu fand ein Großteil der annualen N_2O -Emission am **Standort Speyer** während der Vegetationsperiode statt (Abb. 2). Auf dem sandigen Boden konnte die N_2O -Emission durch Optimierung der N-Düngung (‚KNS‘) signifikant gegenüber der N-Düngung nach ‚Faustzahlen‘ abgesenkt werden.

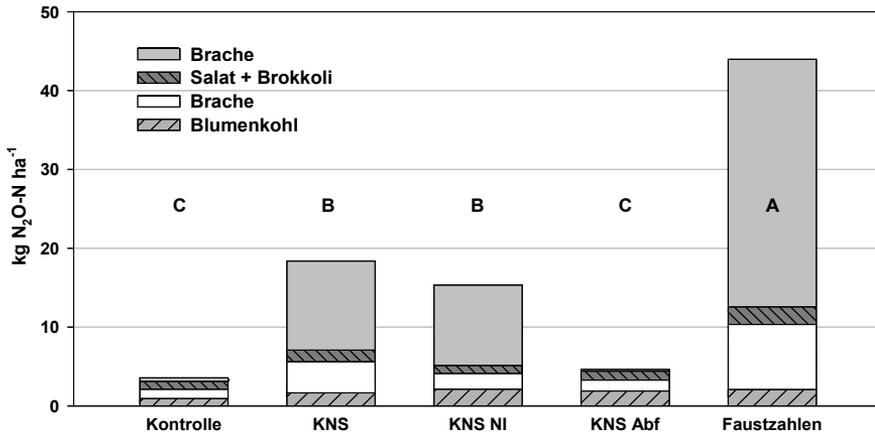


Abb. 1: Mittlere kumulative N_2O -Emissionen (03.08.11-02.11.12) am Standort Hohenheim, Statistisch signifikante Unterschiede sind durch Großbuchstaben gekennzeichnet (Student-Newman-Keuls-Test, $\alpha < 0,05$)

Als Hauptursache für die deutlich höheren N_2O -Emissionen auf dem lehmigen Standort (Hohenheim) ist dessen größere Wasserhaltekapazität anzusehen. Die durchweg höheren Bodenwassergehalte im Vergleich zu Speyer begünstigten die Denitrifikation und führten entsprechend zu höheren N_2O -Emissionen.

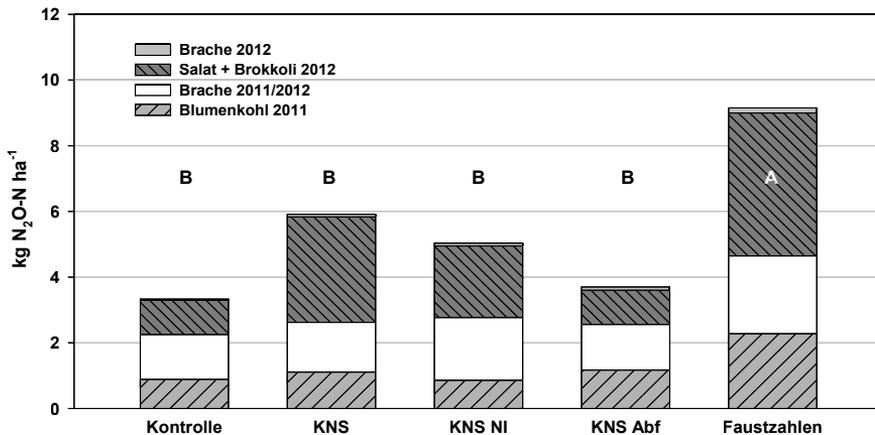


Abb. 2: Mittlere kumulative N_2O -Emissionen (03.08.11-02.11.12) am Standort Speyer, Statistisch signifikante Unterschiede sind durch Großbuchstaben gekennzeichnet (Student-Newman-Keuls-Test, $\alpha < 0,05$)

Jede weitere Maßnahme erbrachte keine zusätzliche Reduktion der N_2O -Emission auf diesem gut dränenden und damit gut belüfteten Boden (Abb. 2). Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen von Ruser et al. (2009), die am selben Standort eine signifikante Emissionsminderung bei der Reduktion der N-Düngung von Faustzahlenniveau auf KNS-Niveau berichteten, wohingegen die Anwendung eines Nitrifikationshemmstoffs bzw. die Abfuhr der Erntereste keine weitere Reduktion der N_2O -Emission ergab.

4. Zusammenfassung

An dem Hohenheimer Standort mit schwerem Boden wurden extrem hohe Gasflussraten gemessen, während auf dem leichten Standort Speyer vergleichsweise geringe N_2O -Flüsse auftraten. Die kumulative N_2O -Emission am Hohenheimer Standort betrug unter praxisnaher konventioneller Bewirtschaftung mit hohem N-Düngereinsatz $43,9 \text{ kg } N_2O\text{-N ha}^{-1}$ (15 Monate⁻¹). Im direkten Vergleich lag die Emission am Speyerer Standort mit sandigem Boden bei $9,4 \text{ kg } N_2O\text{-N ha}^{-1}$. Die Reduktion der N-Düngung durch Optimierung (KNS-System) führte gegenüber der N-Düngung (Pflanzendarf + Sicherheitszuschlag) an beiden Standorten zu signifikant geringeren N_2O -Emissionen. Das Entfernen der Ernterückstände führte auf dem lehmigen Boden zu einer weiteren Reduktion der N_2O -Emission auf das Niveau der ungedüngten Kontrollvariante. Der Einsatz eines Nitrifikationshemmstoffs (DMPP) bei Einmal-N-Düngung führte an beiden Standorten zu keiner gesicherten Minderung der N_2O -Emissionen gegenüber der optimierten Düngervariante ohne DMPP-Anwendung (KNS).

5. Literaturangaben

- Crutzen, P.J., 1981: Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen including nitrous oxide. In: Delwiche, C.C. (Ed.): Denitrification, Nitrification and Atmospheric N_2O . John Wiley & Sons, Chichester, 17-44.
- Flessa, H., Dörsch, P., Beese, F., 1995: Seasonal variation of N_2O and CH_4 fluxes in differently managed arable soils in southern Germany. J. Geophys. Res. 100, 23115-23124.

- Feller, C., Fink, M., Laber, H., Maync, A., Paschold, P.-J., Scharpf, H.C., Schlaghecken, J., Strohmeyer, K., Weier, U., Ziegler, J., 2007: Düngung im Freilandgemüsebau. In: Fink, M. (Hrsg.): 2. Überarbeitete Auflage, Schriftenreihe des Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren und Erfurt.
- Hutchinson, G.L., Mosier, A.R., 1981: Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Science Society of America Journal*. 45(2), 311-316.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger A. (Eds.). IPCC, Geneva, Switzerland.
- McSwiney, C.P., Robertson, G.P., 2005: Nonlinear response of N₂O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (*Zea mays L.*) cropping system. *Global Change Biol.* 11, 1712-1719.
- Pfab, H., Palmer, I., Buegger, F., Fiedler, S., Müller, T., Ruser, R., 2011: N₂O fluxes from a haplic luvisol under intensive production of lettuce and cauliflower as affected by different N-fertilization strategies. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174, 545-553.
- Ruser, R., Müller, T., Armbruster, M., Wiesler, F., 2009: Lachgasfreisetzung eines gemüsebaulich genutzten Bodens in der Vorderpfalz. *VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 65*, 72-78, Kongressband 2009 Karlsruhe, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Wiesler, F., Laun, N., Armbruster, M., 2008: Integriertes Stickstoffmanagement – eine Strategie zur wirksamen Verringerung der Gewässerbelastung im Gemüsebau. *Agrarspectrum* 41, 95-108.

Integriertes Stickstoff-Managementsystem als Maßnahme zur Verbesserung der N-Effizienz in der Pflanzenproduktion – dargestellt am Beispiel Gemüsebau

M. Armbruster¹, A. Heger¹, N. Laun², F. Wiesler¹

¹Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer, ²Dienstleistungszentrum ländlicher Raum (DLR) Rheinpfalz, Neustadt

1. Einleitung

Seit dem Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahre 2000 sind Gewässerbelastungen durch diffuse Stickstoffeinträge aus landwirtschaftlich genutzten Böden sehr stark in den Vordergrund gerückt. Eine Verminderung der N-Bilanzüberschüsse und damit eine Erhöhung der N-Effizienz ist eine besondere Herausforderung für den Gemüsebau, der im Vergleich zum Ackerbau einige Besonderheiten aufweist, wie z. B. Anbau von Kulturen mit nur flacher Durchwurzelung des Bodens (z. B. Spinat, Salat, Rucola) oder sehr hohen N-Mengen in den Ernterückständen (z. B. Brokkoli, Blumenkohl, Rosenkohl). Hinzu kommen sehr hohe Anforderungen an die äußere Qualität der Ernteprodukte (z. B. Farbe, Größensortierung), zu deren Erreichung häufig mit hohen Sicherheitszuschlägen gedüngt wird. Mit diesem Hintergrund wurden im Zeitraum 2004-2010 von der LUFA Speyer und dem DLR Rheinpfalz (Neustadt) Feldversuche auf Versuchsstationen durchgeführt, in denen die Eignung verschiedener Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen zur Verbesserung der Stickstoff-Ausnutzung im Gemüsebau untersucht werden. Seit 2008 werden ausgewählte Maßnahmen zusätzlich zu den Versuchsstationen in Praxisbetrieben geprüft und Modellrechnungen zur Extrapolation des Einflusses von Maßnahmen auf die Nitratauswaschung für das Gebiet der Vorderpfalz durchgeführt.

2. Material und Methoden

Die Feldversuche wurden auf den Versuchsstationen Rinkenbergerhof (LUFA Speyer) und Queckbrunnerhof (DLR Rheinpfalz) durchgeführt und beinhalteten die Untersuchung des Einflusses der Faktoren (I) Standort, (II) Fruchtfolge, (III)

Management der Ernterückstände und (IV) Art der Düngerbedarfsermittlung (vgl. Tab. 1) auf Ertrag, Qualität, N-Aufnahme, N-Bilanzen und die Nitratauswaschung. Die Versuchsstandorte liegen im Raum Speyer/Schifferstadt mit vergleichbarer Witterung (jährliche Niederschläge: 500-600 mm; Jahresmitteltemperatur: 10-11 °C) aber sehr unterschiedlichen Böden. Die pseudovergleyte Braunerde auf dem Standort Rinkenbergerhof weist eine geringe Wasserkapazität mit schnellen vertikalen Stofftransport auf, die Parabraunerde aus Löss auf dem Standort Queckbrunnerhof ist durch eine hohe Wasserkapazität eher langsamen vertikalen Stofftransport gekennzeichnet.

Tab. 1: Varianten der Versuche auf den Feldversuchsstationen 2004-2010

I Standorte

1. Rinkenbergerhof (pseudovergleyte Braunerde, anlehmiger Sand)
2. Queckbrunnerhof (Parabraunerde aus Löss, sandig-schluffiger Lehm)

II Fruchtfolgen

1. Intensive Gemüsefruchtfolge ohne Zwischenfruchtanbau (Gemüse/Gemüse)
2. Gemüsefruchtfolge mit Zwischenfruchtanbau (Sommerzwischenfrucht)
3. Gemüsefruchtfolge mit Zwischenfruchtanbau (Winterzwischenfrucht)
4. Gemüse- /Getreidefruchtfolge

III Management der Ernterückstände (nur Rinkenbergerhof)

1. Verbleib auf dem Feld mit Einarbeitung nach der Ernte
2. Verbleib auf dem Feld mit verzögerter Einarbeitung (bis 2007)
3. Abfuhr vom Feld und Verarbeitung in Biogasanlage

IV Düngerbedarfsermittlung

1. Düngung nach Faustzahlen
 2. Düngung nach N-Expert
 3. Düngung nach Pflanzendiagnose (SPAD-Chlorophyllmeter, nur Rinkenbergerhof)
-

Die vier untersuchten Fruchtfolgen (FF) unterscheiden sich im Anteil von Gemüse und der Art der Zwischenfrüchte (Tab. 1). In FF 1 wird ausschließlich Gemüse angebaut, über den Winter liegt die Fläche brach. Die weiteren Fruchtfolgen sind mit einer Sommer- oder Winterzwischenfrucht (FF 2 und 3), sowie durch den Einbezug einer tiefwurzelnden landwirtschaftlichen Kultur in die Fruchtfolge (FF 4) aufgelockert. Im Versuchsverlauf wurden sowohl Pflanzkulturen (Blumenkohl: 2004 und 2007, Kopfsalat: 2005; Staudensellerie: 2006) als

auch Säkulturen (Spinat: 2008; Rucola: 2009; Bundzwiebel: 2010) angebaut. In der Fruchtfolge Gemüse / Gemüse (FF 1) wurden jeweils zwei Sätze pro Jahr und in den anderen Fruchtfolgen in der Regel ein Satz pro Jahr kultiviert. Als Sommerzwischenfrucht diente Hirse (FF 2), als Winterzwischenfrucht Winterroggen oder Wintergerste (FF 3). In der Gemüse- / Getreidefruchtfolge (FF 4) wurden Winterweizen und Wintergerste als Getreidekulturen angebaut.

Das Management der Ernterückstände beinhaltete die sofortige Einarbeitung nach der Ernte (beide Standorte) sowie die verzögerte Einarbeitung bzw. die Abfuhr der Ernterückstände vom Feld (nur untersucht auf dem Standort Rinkenbergerhof). Auf beiden Standorten erfolgte die N-Düngung nach Faustzahlen (keine Berücksichtigung der N_{\min} -Gehalte im Boden) sowie auf der Basis des von der Officialberatung empfohlenen N-Expert-Verfahrens (Feller et al., 2007). Zusätzlich wurde auf dem Standort Rinkenbergerhof ein Verfahren geprüft, bei dem die Pflanze als Indikator für den N-Versorgungsgrad dient. Dabei wird mit Hilfe eines SPAD-Chlorophyllmeters (Minolta SPAD 502 DL Meter; Minolta, 1989) die Grünfärbung eines „hoch“ gedüngten Düngefensters (hier N-Expert) mit der Grünfärbung des reduziert gedüngten Gesamtbestandes („SPAD“) gemessen. In dieser Variante werden die Pflanzen zur Kopfdüngung nur mit 2/3 der durch das N-Expert-Verfahren empfohlenen N-Menge gedüngt. Eine zusätzliche N-Düngung erfolgt erst, wenn die Grünfärbung der Variante „SPAD“ unter 95 % des Wertes der Variante „N-Expert“ absinkt. Die Höhe der Nachdüngung orientiert sich dann an dem gemessen an einer Aufnahmekurve bis zur Ernte noch erwarteten N-Bedarf, ist also in der Regel niedriger als bei Düngung nach N-Expert.

Mit Hilfe von Modellrechnungen wurde der Einfluss der in den Feldversuchen auf Einzelstandorten durchgeführten Maßnahmen zur Verminderung der Nitratauswaschung auf die gesamte Gemüsebauregion der Vorderpfalz extrapoliert. Diese Berechnungen erfolgten für die Maßnahmen „Düngerbedarfsermittlung“, „Anbau von Zwischenfrüchten“ sowie „Abfuhr von Ernteresten“ und basierten auf den Daten der allgemeinen Gemüsebauerhebungen der Jahre 1992 bis 2008 (Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz, 1992-2008). Für die verschiedenen Maßnahmen wurden N-Bilanzüberschüsse und im Weiteren potentielle Nitratkonzentrationen im Sickerwasser berechnet. Die Berechnungen erfolgten in Anlehnung der Prozessbeschreibungen von Gebel et al. (2010) für das Modell „Stoffbilanz“. Details zu den Berechnungen sind in Armbruster et al. (2010) zu finden.

3. Ergebnisse

Tabelle 2 zeigt, dass die Art der Düngerbedarfsermittlung die Höhe der gedüngten Stickstoffmengen deutlich beeinflusste. Verglichen mit den festen Stickstoffdüngermengen nach Faustzahlen wurde bei Düngerbedarfsermittlung nach N-Expert um 22-40 % weniger Stickstoff gedüngt. Die Anwendung der SPAD-Methode führte zu einer weiteren Verminderung der gedüngten Stickstoffmengen.

Trotz großer Unterschiede in den gedüngten Stickstoffmengen war der Anteil vermarktungsfähiger Pflanzen bei den untersuchten Pflanzkulturen unbeeinflusst von der Art der Düngerbedarfsermittlung (Abb. 1). Im Vergleich zur intensiven Gemüsefruchtfolge bewirkte die Einbeziehung von Sommer- bzw. Winterzwischenfrüchten v. a. auf dem leichten Sandstandort Rinkenbergerhof eine Zunahme des Anteils vermarktungsfähiger Pflanzen. Dies dürfte überwiegend auf Bodenstrukturprobleme in der intensiven Gemüsefruchtfolge zurückzuführen sein. Bezüglich des Managements der Ernterückstände deutet sich ein negativer Einfluss der Abfuhr der Ernterückstände auf den Anteil marktfähiger Ware an.

Tab. 2: Mittlere Stickstoffdüngermenge pro Satz [kg N ha^{-1}] zu den einzelnen Gemüsekulturen in Abhängigkeit von der Düngerbedarfsermittlung. Mittelwerte aus allen Versuchen und Gemüsesätzen im Zeitraum 2004-2010. Zahlen in Klammern für den Standort Queckbrunnerhof.

Kultur	Faustzahlen	N-Expert	SPAD
Blumenkohl	338 (325)	203 (208)	167
Staudensellerie	300 (300)	222 (208)	184
Kopfsalat	166 (166)	106 (116)	97
Spinat	180 (180)	140 (108)	103
Rucola	150 (150)	109 (94)	91
Bundzwiebel	240 (250)	172 (150)	135

Im Gegensatz zu den Pflanzkulturen war bei den Säkulturen (Spinat, Rucola, Bundzwiebel) der Frischmasseertrag bei Anwendung der SPAD-Methode auf dem leichten Sandstandort Rinkenbergerhof vermindert (Abb. 2). Offensichtlich war dieses Verfahren bei den untersuchten Säkulturen weniger gut einsetzbar als bei Pflanzkulturen. Als Gründe hierfür sind neben einem vergleichsweise kurzen Kulturzeitraum (vor allem bei Spinat und Rucola) auch die längeren Zeit-

räume zwischen Kopfdüngungstermin und einer ausreichenden Blattgröße für eine standardisierte Messung mit dem SPAD-Chlorophyllmeter anzuführen. Dies erschwert bei den untersuchten Säkulturen offenbar die Anwendung der SPAD-Messung zur Düngerbedarfsermittlung. Durch die Auflockerung der Fruchtfolge durch Sommer- bzw. Winterzwischenfrüchte wurde auch bei den Säkulturen ein höherer Ertrag festgestellt. Ebenso führte die Abfuhr der Ernterückstände zu geringeren Erträgen. Die geringeren Erträge bei den Säkulturen in der Gemüse- / Getreidefruchtfolge auf dem Standort Queckbrunnerhof sind vor allem darauf zurückzuführen, dass auf diesem Standort aus technischen Gründen eine Pflugfurche vor der Aussaat des Gemüses nicht möglich war.

Die dargestellten Ergebnisse zeigen deutlich, dass auch mit verminderten Stickstoffmengen der Anbau von Gemüse in ausreichender Menge und Qualität möglich ist. Zusätzlich zu Bodenuntersuchungen (N_{\min}) erscheint dafür die SPAD-Methode v. a. für Pflanzkulturen (z. B. Blumenkohl, Staudensellerie) als vielversprechend um die standortsspezifische Stickstoffmineralisierung zu erfassen und in die Bemessung der Stickstoffdüngermenge einzubeziehen.

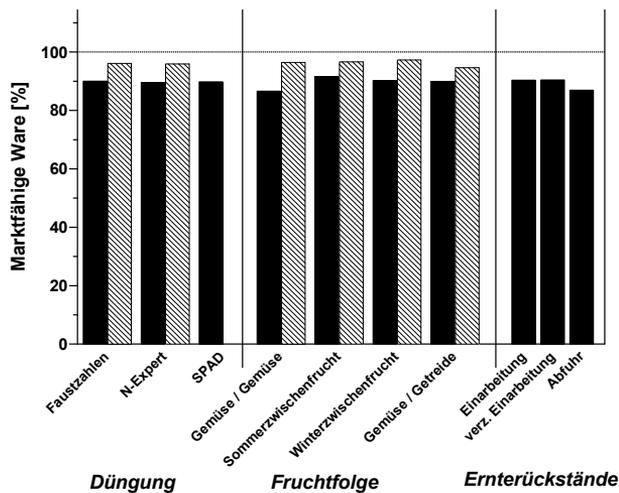


Abb. 1: Einfluss von Düngung, Fruchtfolge und Management der Ernterückstände auf den Anteil marktfähiger Ware von Blumenkohl, Kopfsalat und Staudensellerie (Mittelwerte aus vier Jahren, drei Kulturen und 1 bis 2 Sätzen pro Kultur und Jahr).

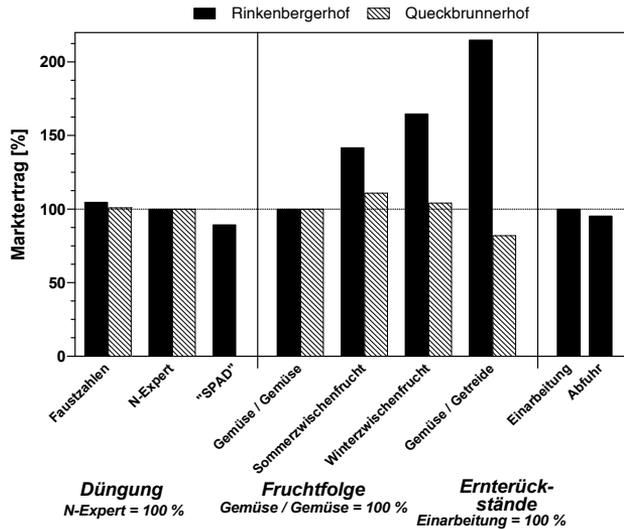


Abb. 2: Einfluss von Düngung, Fruchtfolge, Management der Ernterückstände und Düngerform auf den Relativertrag an marktfähiger Ware von Spinat, Rucola und Bundzwiebel (Mittelwerte aus drei Jahren, drei Kulturen und 1 bis 2 Sätzen pro Kultur und Jahr).

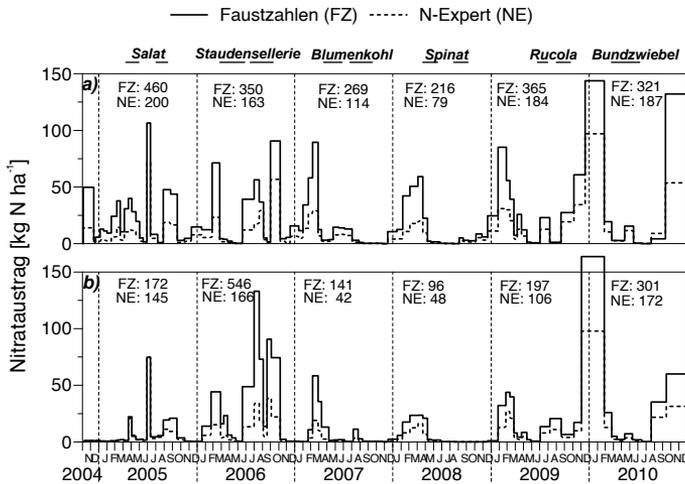


Abb. 3: Einfluss der Düngerbedarfsermittlung auf den zeitlichen Verlauf der Nitratauswaschung in 105 cm Bodentiefe auf den Standorten (a) Rinkenbergerhof und (b) Queckbrunnerhof in der intensiven Gemüsefruchtfolge. Die Zahlen in den Abbildungen geben jeweils die jährlichen Nitrat-Austräge (in kg N ha⁻¹ a⁻¹) an.

Die Nitratauswaschung in 1 m Bodentiefe in den Jahren 2005 bis 2010 (Einbau von Saugkerzen nach erster Rotation im Herbst 2004) spiegelt deutlich die unterschiedlichen Stickstoffdüngermengen wider. Die Düngebedarfsermittlung nach Faustzahlen führte in der intensiven Gemüsefruchtfolge zu extrem hohen Nitratauswaschungen (leichter Standort Rinkenbergerhof 216-460 kg N ha⁻¹ a⁻¹; Lößstandort Queckbrunnerhof 96-546 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (Abb. 3). Diese Auswaschungsverluste konnten bei Düngebedarfsermittlung nach N-Expert um mehr als 50% vermindert werden. Gleiche Ergebnisse wurden für die SPAD-Methode ermittelt (nicht dargestellt). Wird die Düngebedarfsermittlung nach N-Expert zusätzlich mit einer durch Zwischenfrüchte bzw. Getreide aufgelockerten Fruchtfolge kombiniert so kann die Nitratauswaschung weiter vermindert werden. Beispielhaft ist dies in Abbildung 4 für die Gemüse- / Getreidefruchtfolge dargestellt.

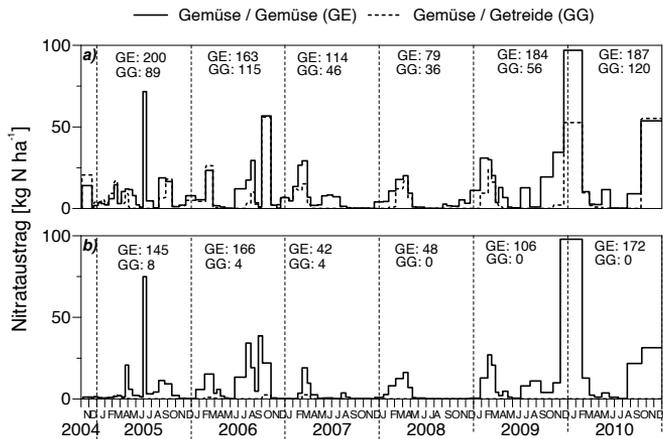


Abb. 4: Einfluss der Integration von Getreide in die Fruchtfolge im Vergleich zu ausschließlichem Gemüseanbau auf den zeitlichen Verlauf der Nitratauswaschung in 105 cm Bodentiefe bei Düngung nach N-Expert auf den Standorten (a) Rinkenbergerhof und (b) Queckbrunnerhof. Die Zahlen in den Abbildungen geben jeweils die jährlichen Nitrat-Austräge (in kg N ha⁻¹ a⁻¹) an.

Modellrechnungen für die Gemüseanbaufläche der Vorderpfalz zeigten, dass durch die Anwendung eines etablierten Verfahrens zur Bemessung der Stickstoffdüngermenge (Szenario B) im Vergleich zur Verwendung von „Faustzahlen“ (Szenario A) die Nitratkonzentrationen unter Gemüseflächen um etwa 50% vermindert werden können (Tab. 4). Werden zusätzlich die Ernterückstände von

Kulturen mit hohen Stickstoffmengen in den Ernterückständen (z. B. Blumenkohl, Brokkoli) auf 20 % der Fläche dieser Kulturen abgefahren (Szenario C1) oder auf 20 % der Gemüsefläche wird eine Sommerzwischenfrucht angebaut (Szenario C2) so werden die Nitratkonzentrationen um weitere 10-12 % vermindert. Wird als weitere Maßnahme die Sommerzwischenfrucht abgefahren (Szenario C3) so vermindern sich die Nitratkonzentrationen um weitere 13 %.

Tab. 3: Potentielle Nitratkonzentrationen im Sickerwasser (ohne Denitrifikationsverluste) und im Grundwasser (Annahme von 50 % Denitrifikationsverlusten) von Gemüseflächen der Vorderpfalz für unterschiedliche Szenarien. Alle Zahlen in mg l⁻¹ Nitrat, beispielhaft für das Jahr 2000.

Szenario	Potentielle Nitratkonzentration [mg l ⁻¹ NO ₃]	
	ohne Denitrifikationsverluste	Annahme 50 %
A) Düngebedarf nach Faustzahlen	386	193
B) Düngebedarf nach N-Expert	188	94
C) Düngebedarf nach N-Expert		
C1) Abfuhr Ernterückstände (20 %) ^a	165	83
C2) Sommerzwischenfrucht (20 % der Fläche)	172	86
C3) Sommerzwischenfrucht (20 % der Fläche) und Abfuhr der Zwischenfrucht	146	73

^a Abfuhr der Ernterückstände von Gemüsekulturen mit hohen Stickstoff-Mengen in den Ernterückständen (z. B. Blumenkohl, Brokkoli auf 20 % der Fläche dieser Kulturen).

4. Schlussfolgerungen

In der Tabelle 5 sind die wirksamsten Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen zur Verminderung der Stickstoffüberschüsse und der Nitratauswaschung im Gemüsebau zusammengestellt. Bei ausschließlichem Gemüseanbau in der Fruchtfolge können die N-Bilanzüberschüsse und Nitratausträge bei Düngung nach N-Expert im Vergleich zur Düngung nach Faustzahlen sehr deutlich reduziert werden. Durch die Einbeziehung von SPAD-Chlorophyllmetermessungen in die Düngerbedarfsermittlung ergibt sich eine leichte zusätzliche Verbesserung.

Tab. 4: Einfluss von Düngung, Fruchtfolge und Management der Ernterückstände auf den jährlichen N-Saldo (Mittelwerte der Jahre 2004-2010) und die Nitratauswaschung (Mittelwerte der Jahre 2005-2010) in 105 cm Bodentiefe auf den Standorten Rinkenbergerhof und Queckbrunnerhof (Zahlen in Klammern); n. u. = nicht untersucht n. g. = nicht geprüft.

Dünge- bedarfs- ermittlung	Fruchtfolge ^a	Ernterück- stände	Saldo	Aus- waschung
			[kg N ha ⁻¹ a ⁻¹]	
Faustzahlen	Gem./Gem.	Verbleib	288 (265)	330 (242)
N-Expert	Gem./Gem.	Verbleib	126 (86)	154 (113)
SPAD	Gem./Gem.	Verbleib	100 (n.g.)	156 (n.g.)
N-Expert	So-Zwischenfr.	Verbleib	79 (91)	79 (46 ^b)
N-Expert	Wi-Zwischenfr.	Verbleib	62 (53)	87 (n.u.)
N-Expert	Gem./Getr.	Verbleib	98 (54)	77 (3)
SPAD	So-Zwischenfr.	Verbleib	54 (n.g.)	n.u. (n.g.)
SPAD	Wi-Zwischenfr.	Verbleib	47 (n.g.)	n.u. (n.g.)
SPAD	Gem./Getr.	Verbleib	79 (n.g.)	n.u. (n.g.)
N-Expert	Gem./Gem.	Abfuhr	30 (n.g.)	141 (n.g.)
N-Expert	So-Zwischenfr.	Abfuhr	-29 (n.g.)	n.u. (n.g.)
N-Expert	Wi-Zwischenfr.	Abfuhr	-36 (n.g.)	n.u. (n.g.)
N-Expert	Gem./Getr.	Abfuhr	37 (n.g.)	n.u. (n.g.)

^a Gem. / Gem.: Intensive Gemüsefruchtfolge (zwei Kulturen pro Jahr) So-Zwischenfr.: Gemüseanbau mit jährlicher Sommerzwischenfrucht Wi-Zwischenfr.: Gemüseanbau mit jährlicher Winterzwischenfrucht Gem./Getr.: Gemüse- / Getreidefruchtfolge

^b nur Zeitraum 2008-2010

Aus diesen Ergebnissen ist die Mindestforderung abzuleiten, dass die Bemessung der N-Düngungshöhe im Gemüseanbau auf der Basis eines etablierten Verfahrens zur Düngerbedarfsermittlung erfolgen sollte. In der Regel wird dies die Bodenuntersuchung sein, die kulturbegleitend durch die Pflanzendiagnose ergänzt werden kann. Mit 154 (Rinkenbergerhof) bzw. 113 (Queckbrunnerhof) kg N ha⁻¹ a⁻¹ war die Nitratauswaschung aber auch bei N-Düngung nach N-Expert für einen wirkungsvollen Gewässerschutz sicherlich noch zu hoch. Kombiniert man ein treffsiche-

res Verfahren zur Düngerbedarfsermittlung (z. B. N-Expert) mit dem Anbau von Zwischenfrüchten bzw. einer Gemüse-/Getreidefruchtfolge, so können sowohl die N-Bilanzüberschüsse als auch die Nitratusträge vermindert werden. Bei Düngbedarfsermittlung nach SPAD und Zwischenfruchtanbau ist die Verminderung der N-Salden ausgeprägter, was darauf hindeutet, dass diese Methode besondere Vorteile in Anbausystemen mit hoher N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat, z. B. aufgrund des Anbaus von Zwischenfrüchten hat. Schließlich wurden durch die Abfuhr der Ernterückstände die N-Bilanzüberschüsse im Gemüsebau sehr stark reduziert und teilweise sogar negative Werte erreicht. Diese Maßnahme erscheint sinnvoll, wenn die Ernterückstände einer Nutzung zugeführt werden können, insbesondere in Biogasanlagen und die Gärreste dann wieder gezielt als Dünger verwendet werden. Allerdings müssen bei Anwendung dieser Maßnahme die Auswirkungen auf die Humusbilanz beachtet werden, da sonst negative Auswirkungen auf Humusgehalt und Erträge drohen. Insgesamt zeigen die in Tabelle 5 dargestellten Ergebnisse, dass auch bei Kulturen, die als problematisch für den Gewässerschutz gelten, durch die Kombination verschiedener Maßnahmen („integriertes Stickstoffmanagement“) eine wesentliche Verminderung von Stickstoffbilanzüberschüssen und damit der Gefährdung des Grundwassers durch diffuse Stickstoffeinträge möglich ist.

5. Literaturangaben

- Armbruster, M., Laun, N., Wiesler, F., 2010: Modellrechnungen zur Extrapolation des Einflusses von Maßnahmen zur Verringerung der Nitrat- auswaschung in das Grundwasser im Gemüsebau der Vorderpfalz. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 66, 276-286. Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Feller, C., Fink, M., Laber, H., Maync, A., Paschold, P.J., Scharpf, H.-C., Schlaghecken, J., Strohmeyer, K., Weier, U., Ziegler, J., 2007: Düngung im Freilandgemüsebau. Gartenbauliche Berichte des IGZ Großbeeren/Erfurt e.V., Heft 4, 2. Auflage 2007.
- Gebel, M., Halbfaß, S., Bürger, S., Friese, H., Naumann, S., 2010: Modelling of nitrogen turnover and leaching in Saxony. Adv. Geosci., 27, 139-144.
- Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz, 1992-2008: Allgemeine Gemüseanbauerhebung; einschließlich Erdbeeren / Anzucht von Jungpflanzen (www.statistik.rlp.d).

Minimierung von Nitrat-Austrägen und Ammoniak-Emissionen mit Hilfe des Gülle-Strip-Till-Verfahrens in Maisfruchtfolgen

N. Tauchnitz¹, J. Bischoff¹, M. Schrödter¹, F. Wiese²,
H. Rupp³, R. Meissner³

¹Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Bernburg, ²Agrargenossenschaft „Altmärkische Höhe Lückstedt e. G.“, Lückstedt, ³Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Department Bodenphysik, Lysimeterstation Falkenberg

1. Einleitung und Zielstellung

Im Rahmen der europäischen Klima- und Gewässerschutzpolitik ist die Reduktion des Eintrages reaktiver Stickstoffverbindungen in die Umwelt eine wichtige Aufgabe. Vor diesem Hintergrund hat sich Deutschland verpflichtet, diffuse Nitrat(NO_3^-)-Einträge in die Gewässer (EG-WRRL, 2000) sowie klimarelevante Lachgas- (UNFCCC) und umweltschädigende Ammoniak-Emissionen (Richtlinie 2001/81/EG) zu reduzieren. Hauptquelle für diffuse Stickstoff(N)-Emissionen stellt dabei die landwirtschaftliche Bewirtschaftung dar.

Ziel des Projektes ist es, mit Hilfe der Anwendung des Gülle-Strip-Till-Verfahrens die N-Effizienz in Maisfruchtfolgen zu verbessern und hierdurch einen wirksamen Beitrag zur Reduktion von N-Verlusten zu leisten. Beim Gülle-Strip-Till-Verfahren wird ein reduziertes Bodenbearbeitungsverfahren (Streifenbearbeitung) mit der gezielten Applikation des organischen Düngers in die Wurzelzone (platzierte Gülle-Depot-Düngung) kombiniert.

Im Rahmen eines länderübergreifenden von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes soll in Praxis-, Parzellen- und Lysimeterversuchen geprüft werden, inwieweit das Gülle-Strip-Till-Verfahren zur Reduzierung von N-Verlusten beitragen kann. Kooperationspartner im Projekt sind die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, die Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung-UFZ, die Agrargenossenschaft „Altmärkische Höhe Lückstedt e. G.“ und die Hugo-Vogel-sang Maschinenbau GmbH.

Die im Projekt vorgesehenen Versuche werden im Frühjahr 2014 begonnen. Im Folgenden werden die methodische Vorgehensweise sowie Ergebnisse der Voruntersuchungen vorgestellt.

2. Methoden

2.1 Untersuchungsstandorte

Die Praxis- und Parzellenversuche werden am Standort Lückstedt und die Lysimeterversuche in unmittelbarer Nähe an der Lysimeterstation des UFZ in Falkenberg durchgeführt. Eine Beschreibung beider Standorte ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Untersuchungsstandorte

	Lückstedt	Falkenberg
Lage	nördl. Altmark (Sachsen-Anhalt), Landkreis Stendal	
Klima	kontinental	kontinental
Niederschlag (LJM)	541 mm	539 mm
Temperatur (LJM)	8,5 °C	8,5 °C
Boden	Pseudogley-Braunerde (schwach bis mittel lehmiger Sand)	Pseudogley-Para- braunerde (lehmiger Sand)

LJM: Langjähriges Mittel

2.2 Versuchsaufbau

Der **Praxisversuch** wird auf der Betriebsfläche der Agrargenossenschaft „Altmärkische Höhe Lückstedt e. G.“ angelegt. Dort ist ein Dränmessfeld mit Messtechnik zur separaten Erfassung des Dränabflusses von zwei Bewirtschaftungsflächen vorhanden. Hierdurch ist es möglich, den N-Austrag über den Dränabfluss zu bilanzieren und direkt der jeweiligen bewirtschafteten Fläche zuzuordnen. Im Projekt werden die folgenden Bewirtschaftungssysteme berücksichtigt:

- Konventionell: intensive ganzflächige Bodenbearbeitung und ganzflächige Gülleausbringung (gemäß DüV Einarbeitung der Gülle innerhalb von 4 Stunden)

- Gülle-Strip-Till: In beiden Bewirtschaftungssystemen werden Zwischenfrüchte angebaut und Nitrifikationsinhibitoren (NI, PIADIN) eingesetzt.

Die **Parzellenversuche** werden außerhalb des Dränmessfeldes durchgeführt. In einer randomisierten Versuchsanlage mit 4 Blöcken werden die folgenden Versuchsvarianten geprüft:

- Variante 1: konventionell ohne NI
- Variante 2: Gülle-Strip-Till mit NI
- Variante 3: Gülle-Strip-Till ohne NI
- Variante 4: konventionell mit NI

In den **Lysimeterversuchen** werden vier unterschiedliche Varianten untersucht (Abb. 1). Hierfür werden nicht wägbare Gravitationslysimeter mit einer quadratischen Oberfläche von 1 m² und einer Tiefe von 1,25 m genutzt.



Abb. 1: Versuchsvarianten in Lysimeterversuchen (Fotos: H. Rupp)

2.3 Untersuchungsparameter

Folgende Untersuchungsparameter werden im Projekt erfasst:

- N-Austräge über die Pfade Dränabfluss und Sickerwasser
- Gasförmige N-Verluste (NH₃ und N₂O)
- Potentiell verlagerbarer N im Boden
- Bodenfeuchteverlauf
- Pflanzenerträge und N-Entzüge
- Gesamt-N-Bilanz
- Ökonomische Bewertung des Verfahrens

Die Dränabflussmengen werden kontinuierlich im Dränschacht (nach Venturi-Prinzip) bzw. im offenen Messgerinne registriert. Die Probenahme erfolgt

automatisch über ISCO-Probennehmer. Parallel werden die Nitrat-Ionen über ein photometrisches Verfahren online direkt im Dränabfluss detektiert (Nitrat-Quicklyzer, Fa. UGT). Die N₂O-Emissionen werden mit Hilfe manueller Gashauben nach dem closed chamber-Verfahren ermittelt. Die NH₃-Emissionen werden mittels einer dynamischen Kammermethode (Dräger-Tube-Methode) kombiniert mit Passivsammlern (Säurefallen) bestimmt (Pacholski et al., 2006).

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Zeitlicher Verlauf der Nitratkonzentrationen im Dränabfluss und Dränabflussmengen

Die höchsten NO₃⁻-Konzentrationen im Dränabfluss der konventionell bewirtschafteten Dränfläche 1 von maximal 188 mg/l wurden verbunden mit hohen Abflüssen (max. 13 l/s) in den Wintermonaten, das heißt in Zeiten ohne Pflanzenbedeckung (v. a. im Januar und Februar 2012) erfasst (Abb. 2).

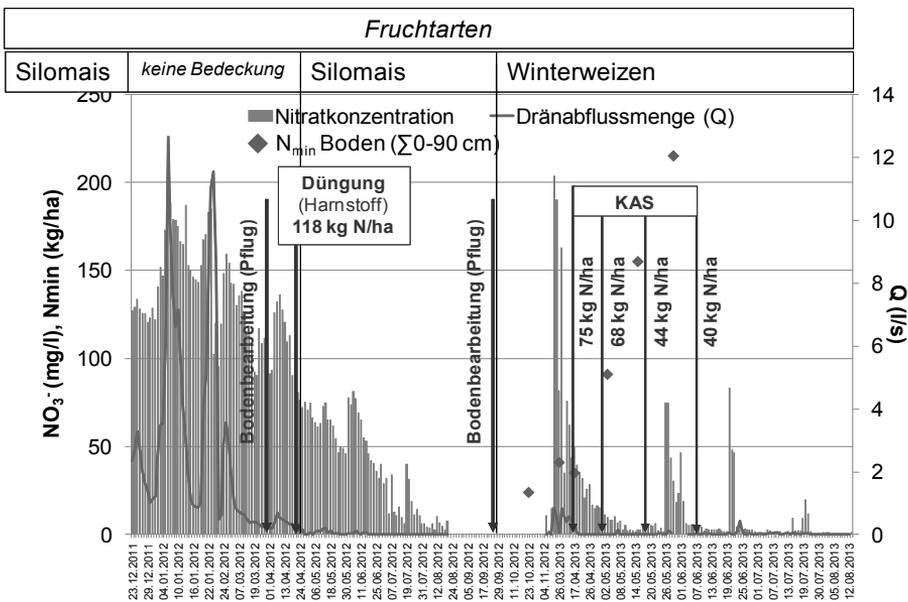


Abb. 2: Nitrat-Konzentrationen im Dränabfluss, Dränabflussmengen und N_{min}-Gehalte im Boden

Ein zweiter NO_3^- -Peak wurde bei deutlich niedrigeren Abflüssen ($< 1 \text{ l/s}$) im Januar 2013 beobachtet. In den Wintermonaten überschreiten die Konzentrationen bei gegenwärtiger Bewirtschaftungspraxis deutlich den in der EU-WRRL geforderten NO_3^- -Grenzwert von 50 mg/l . Demgegenüber konnte während der Vegetationsperiode eine deutliche Abnahme der NO_3^- -Konzentrationen ($< 50 \text{ mg/l}$) und Abflussmengen, bedingt durch die Pflanzenaufnahme, verzeichnet werden. Die NO_3^- -Konzentrationen und die Dränabflusshöhen korrespondierten zumeist miteinander, das heißt hohe Konzentrationen waren mit hohen Abflüssen verbunden ($r^2 = 0,6$). Die Ende März und Ende September 2012 auf der Fläche durchgeführte intensive Bodenbearbeitung mittels Pflug zeigte in beiden Fällen einen deutlichen Effekt auf die NO_3^- -Konzentrationen im Dränabfluss. Dieser konnte nach Bodenbearbeitung im Herbst 2012 erst sehr stark zeitlich verzögert bei einsetzendem Dränabfluss anhand erhöhter NO_3^- -Konzentrationen beobachtet werden (Abb. 2). Ein zum Teil sprunghafter Anstieg der NO_3^- -Konzentrationen im Dränabfluss nach Bodenbearbeitung begründet durch eine Erhöhung der N-Mineralisation, wurde auch in anderen Untersuchungen nachgewiesen (z. B. Fohrer et al., 2008). Die NO_3^- -Konzentrationsverläufe spiegeln in Zeiten eines erhöhten Pflanzenbedarfs nicht unmittelbar die N-Düngungsmaßnahmen wider. Lediglich die 3. und 4. KAS-Gabe zum Winterweizen im Mai und Juni 2013 zeigte anhand kleinerer NO_3^- -Peaks einen Effekt, der auch anhand ansteigender N_{min} -Gehalte im Boden deutlich wurde und zeitlich verzögert bei einsetzendem Dränabfluss zu einer Auswaschung von NO_3^- führte.

3.2 Nitrat-N-Frachten im Dränabfluss

Die im Untersuchungszeitraum erfassten kumulierten NO_3^- -N-Frachten sind aus Abbildung 3 ersichtlich.

Es zeigte sich deutlich, dass die Zeiträume Januar bis März 2012 und Januar bis März 2013 die höchsten NO_3^- -Auswaschungen bedingten, während der Einfluss der Vegetationsperiode auf den NO_3^- -Austrag sehr gering war. Die prägende Rolle des Winterhalbjahres für den Stoffaustrag aus Dränflächen wird auch in anderen Untersuchungen bestätigt (z. B. Kahle et al., 2008). Bezogen auf den Zeitraum eines Jahres ergibt sich eine NO_3^- -N-Fracht von 27 kg N/ha . Diese liegt in ähnlicher Größenordnung wie nachgewiesene NO_3^- -Auswaschungen aus landwirtschaftlich genutzten Dränflächen auf vergleichbaren Böden in Nordwest- und Nordostdeutschland (z. B. Kahle et al., 2008).

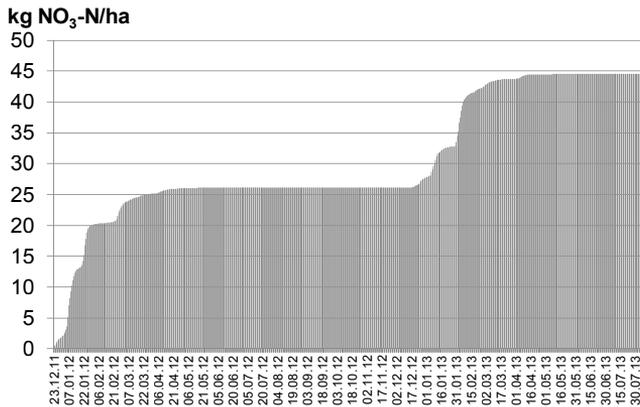


Abb. 3: Kumulierte Nitrat-N-Frachten im Dränabfluss der Dränfläche 1

3.3 Hydrochemische Parameter im Dränabfluss

Die im Untersuchungszeitraum in den Abflüssen von Dränfläche 1 und 2 (beide konventionell bewirtschaftet) ermittelten hydrochemischen Parameter wurden in Tabelle 2 zusammengefasst. Dränfläche 2 weist im Mittel höhere NO_3^- -Konzentrationen auf, die vermutlich durch Bewirtschaftungsunterschiede beider Flächen verursacht werden (Fruchtfolge, Düngung, etc.). Der Dränabfluss zeigt charakteristisch für Sandböden geringe DOC-Gehalte. Auffallend sind die ermittelten hohen pH-Werte im Dränabfluss. Diese deuten auf das Vorhandensein basenbildender Kationen (wie Ca, Mg, Na, K) hin (Tab. 2). Weiterhin wurden im Dränabfluss bemerkenswert hohe NO_2^- -Gehalte (bis max. 21 mg/l) erfasst. Wie aus Abbildung 4 ersichtlich, traten NO_2^- -Peaks zumeist gleichzeitig mit erhöhten NH_4^+ -Gehalten im Dränabfluss unmittelbar nach Ausbringung NH_4^+ -haltiger Dünger bzw. in Verbindung mit günstigen Mineralisationsbedingungen im Frühjahr 2012 auf. Eine Akkumulation von NO_2^- in Böden wurde auch in anderen Untersuchungen nach Applikation von NH_4^+ -haltigen Düngern nachgewiesen (z. B. Van Cleemput and Samater, 1996). Als Ursache hierfür wird eine Hemmung der Oxidation von NO_2^- zu NO_3^- während der Nitrifikation aufgrund hoher pH-Werte und hoher NH_3 -Gehalte gesehen. Des Weiteren kann NO_2^- als Zwischenprodukt bei der Denitrifikation entstehen. Günstige Denitrifikationsbedingungen, das heißt anaerobe Bedingungen und das Vorhandensein organischen Kohlenstoffes, werden am Untersuchungsstandort als weniger wahrscheinlich eingeschätzt. Das Auftreten von Denitrifikationsprozessen kann jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Tab. 2: Hydrochemische Parameter im Dränabfluss

Parameter	Drän	MW	Median	Min	Max
NO ₃ (mg/l)	1	52,67	27,15	0,00	203,70
	2	108,76	114,25	20,80	222,20
NO ₂ (mg/l)	1	0,25	0,04	0,00	13,53
	2	0,44	0,04	0,01	21,20
NH ₄ -N (mg/l)	1	0,09	0,02	0,00	2,90
	2	0,10	0,02	0,00	3,07
K (mg/l)	1	2,00	1,60	0,80	16,30
	2	2,00	1,80	1,00	4,30
Na (mg/l)	1	18,93	18,50	11,10	27,30
	2	22,79	23,00	13,30	34,50
Ca (mg/l)	1	139,80	141,55	62,30	176,30
	2	153,86	162,95	62,30	205,00
Mg (mg/l)	1	13,57	13,50	5,60	21,40
	2	19,44	19,20	11,00	39,30
pH	1	8,32	8,36	7,54	8,76
	2	8,39	8,34	7,99	8,75
SO ₄ (mg/l)	1	148,35	144,50	34,80	222,50
	2	150,85	126,30	61,10	324,20
P _{ges} (mg/l)	1	0,16	0,05	0,00	2,60
	2	0,15	0,03	0,01	3,33
DOC (mg/l)	1	5,98	6,00	1,11	15,87
	2	8,00	7,18	3,35	49,86
TN (mg/l)	1	12,38	5,04	0,22	46,36
	2	25,66	27,46	6,57	54,78

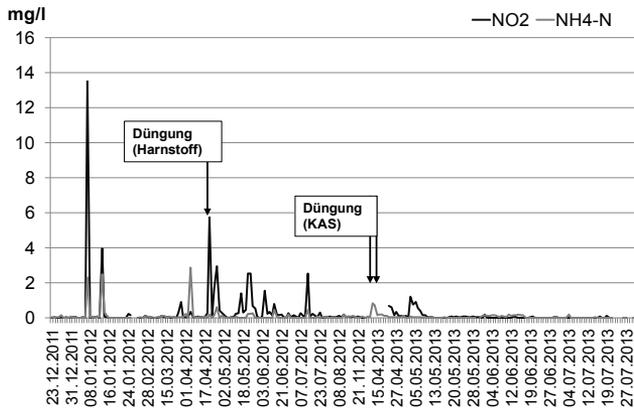


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der Nitrit- und Ammonium-N-Konzentrationen im Dränabfluss der Dränfläche 1

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Bisherige Untersuchungsergebnisse zeigten die höchsten NO_3^- -Konzentrationen und NO_3^- -N-Frachten im Dränabfluss in der vegetationsfreien Zeit verbunden mit hohen Abflüssen. Bewirtschaftungsmaßnahmen, wie die intensive Bodenbearbeitung zeigten einen deutlichen Effekt anhand steigender NO_3^- -Konzentrationen im Dränabfluss. Demgegenüber war der Einfluss von Düngungsmaßnahmen in Zeiten erhöhter Pflanzenaufnahme nicht sichtbar. Ungeöhnlich hohe NO_2^- -Gehalte im Dränabfluss deuten auf eine Akkumulation von NO_2^- im Zusammenhang mit Mineralisationsereignissen und der Ausbringung von NH_4^+ -haltigen Düngern hin. Inwieweit die erhöhten NO_2^- -Gehalte im Dränabfluss auf eine potentielle Bildung gasförmiger N-Verluste verweisen, die durch den Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren vermieden werden können, sollte in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

5. Literaturangaben

- Fohrer, N., Deunert, F., Schmalz, B., 2008: Ansätze zur Integration von Dränageausträgen in die Abbildung des Landschaftswasser und stoffhaushaltes von Tieflandeinzugsgebieten. In: Dränung – Nährstoffausträge, Flächenerfassung und Management. DWA-Themen, 32-38.
- Kahle, P., Tiemeyer, B., Lennartz, B., 2008: Einfluss von Skalenebenen auf Stoffausträge gedränkter Flächen. In: Dränung – Nährstoffausträge, Flächenerfassung und Management. DWA-Themen, 39-46.
- Pacholski, A., Cai, G., Nieder, R., Richter, J., Fan, X., Zhu, Z., Roelcke, M., 2006: Calibration of a simple method for determining ammonia volatilization in the field – comparative measurements in Henan Province, China. *Nutri. Cycl. Agroecosystems* 74, 259-273.
- Van Cleemput, O., Samater, A.H., 1996: Nitrite in soils: accumulation and role in the formation of gaseous N compounds. *Fertilizer Research* 45, 81-96.

Danksagung

Das diesem Beitrag zugrunde liegende Projekt wird mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) mit dem Förderkennzeichen 31086 gefördert.

N-Ausnutzung von unbehandelten und anaerob behandelten organischen Düngemitteln in einem Gefäß- sowie im Betonkastenversuch (Modell mit unterschiedlichen Bewirtschaftungsweisen)

D. Koch², H. Schaaf¹, J. Heyn², S. Georgii³

¹Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, Kassel, ²Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kassel, ³Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, Wiesbaden

1. Einleitung

Kaum eine andere Fragestellung wird in der Agrikulturchemie so intensiv diskutiert wie die der organischen Düngung. Dies hat auch ihre Auswirkung auf Politik und Verwaltung. So wird auch die Diskussion um die Novellierung der neuen Düngeverordnung kontrovers ausgetragen. Kernpunkt aller Diskurse ist in Verbindung mit der ergänzenden Mineraldüngung die Fragestellung nach der Kalibration einer fachgerechten und gleichzeitig umweltverträglichen organischen Düngung. Dazu passt auch die Erkenntnis, dass über diese Thematik in der Pflanzenbauwissenschaft schon lange gerungen wird. Aussagen in alten pflanzenbaulichen Lehrbüchern (Dieckmann, 1965) wie: „Zeig mir deinen Mist und ich sag dir was für ein Bauer du bist“ zeugen von der Bedeutung der organischen Düngung für den Ackerbau der unmittelbaren Nachkriegszeit. Tatsächlich ist diese Erkenntnis aber nicht nur ein Produkt pflanzenbaulicher Forschung des 20. Jahrhunderts. Bereits 1873 wurde im Lehrbuch „Der praktische Ackerbau“ folgendes geschrieben: „Was bei dem Ernähren unserer Viehstapel das gute Heu darstellt, das gewährt unseren Kulturpflanzen der gute Stallmist“. Die Erkenntnisse der Vorväter rufen in der aktuellen Diskussion um die Novellierung der Düngeverordnung folgenden Aspekt in Erinnerung. Die Kenntnis der Ertragswirksamkeit der verschiedenen organischen Düngemittel ist die Grundlage für ihre sachgerechte Anwendung im Pflanzenbau.

2. Versuchsbeschreibung Betonkasten

Der Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen führt deshalb seit 1994 einen Versuch in einer Betonkastenanlage durch, um neun verschiedene wirtschaftseigene Dünger und auch Siedlungsabfälle hinsichtlich Ertragswirksamkeit und

Nährstoffeffizienz zu untersuchen. Neben drei verschiedenen Stallmistern werden zwei verschiedene Gülle sowie Komposte und Klärschlämme geprüft. Der Kalibration dient eine N-Steigerung mit vier Variationen der N-Düngung in Form von Kalkammonsalpeter (KAS).

Mit dem Versuchsdesign sollen die folgenden Versuchsfragen beantwortet werden:

- Wie wirken die verschiedenen organischen Düngemittel langjährig auf den Ernteertrag?
- Wie wurde der organische Stickstoff ausgenutzt?
- Sollen die organischen Düngemittel in ihrer Höhe jeweils zusammengefasst zur Hackfrucht alle drei Jahre oder in kleineren Gaben jeweils jährlich angewendet werden?

In einer dreigliedrigen Fruchtfolge wurden in den ersten 12 Jahren neben Winterweizen und Wintergerste als Hackfrucht Zuckerrüben angebaut. Seit 2006 wurden die Zuckerrüben durch Silomais ersetzt. In einem Jahr musste die ausgewinterte Wintergerste durch Hafer ersetzt werden.

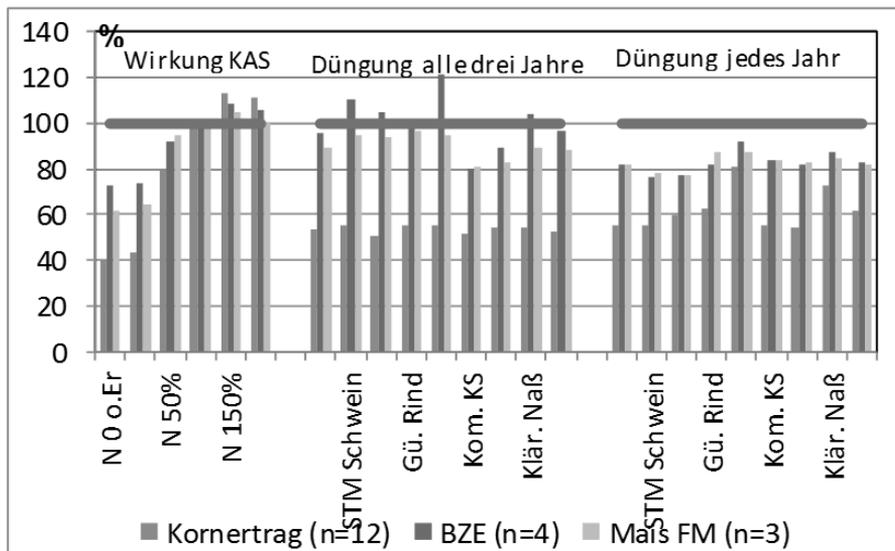


Abb. 1: Mittlerer jährlicher Ertrag von Getreide, Silomais und Zuckerrüben relativ zu Variante 4 von 1994 bis 2012

Die organischen Düngemittel wurden in einem Teil des Versuches jedes Jahr zu den Kulturen in der Vegetationsperiode verabreicht (zu den Hackfrüchten jeweils zur Zwischenfrucht). In dem anderen Teil des Versuches wurden die organischen Düngemittel nur einmal in drei Jahren jeweils ausschließlich zur Zwischenfrucht der Hackfrucht ausgebracht. Die Menge wurde so bemessen, dass bei der einmaligen Fruchtfolgedüngung jeweils 200 kg Stickstoff/ha und bei der jährlichen Kulturdüngung jeweils 70 kg Stickstoff/ha gegeben wurden.

In den 20 Jahren seit Versuchsbeginn stammen alle Düngemittel und Siedlungsabfälle aus einer Quelle. Aufgrund dieser Tatsache liegen z. T. seit über 20 Jahren Untersuchungswerte aus demselben Betrieb vor. Dabei treten insbesondere bei den Wirtschaftsdüngern z. T. erhebliche Schwankungen auf. So streuen bei Rindermist die Gehalte von Ammoniumstickstoff zwischen 13 und 190 %, von Phosphor zwischen 50 % bis 144 % und von Kalium zwischen 50 % bis 160 % des langjährigen Mittelwertes.

3. Ertragsergebnisse

Anhand der Erträge der mineralischen Steigerungsvarianten ohne N, 50 % vom Optimum, 100 % vom Optimum und 150 % vom Optimum kann eine Ertragsfunktion berechnet werden. Diese bildet wiederum die Grundlage der Bewertung der organischen Dünger hinsichtlich ihrer Ertragswirkung. Nimmt man die mineralische 100 %-Variante (KAS) als Bemessungsgrundlage (Diagramm = relativer Ertrag 100 % Linie) und berechnet so die Relativerträge der verwendeten organischen Düngemittel, so ergibt sich nach 20 Versuchsjahren das in Abbildung 1 skizzierte Bild.

Auffallend sind dabei zunächst die hohen Relativerträge von Zuckerrüben und Silomais, wenn die organischen Düngemittel alle drei Jahre zur Hackfrucht verabreicht werden. Eine Ausnahme bildet hier der Grüngutkompost. In jedem Fall kommt damit die Direktwirkung einer Gabe im dreijährigen Wechsel jeweils zur Hackfrucht zum Tragen.

Durch eine jährliche Anwendung sowohl zu Getreide, wie auch zu den Hackfrüchten werden immer höhere Erträge erzielt. Betrachtet man die Relativerträge aller Getreidearten stellt man fest, dass die Getreideerträge durch die jährliche Düngung mehr profitieren, als durch eine Düngung zu Beginn der

Fruchtfolge. So liegen die Erträge für Schweinegülle nach jährlichen Gaben ca. 25 % über den Erträgen im Vergleich zu Gaben im dreijährigen Wechsel. Beim direkten Vergleich der Getreidearten Weizen und Gerste wird ersichtlich, dass die Verwertung des organischen Stickstoffes durch die Gerste besser ist.

3.1 Stickstoffausnutzung

Die N-Ausnutzung der geprüften Düngemittel und Siedlungsabfälle wird in Abbildung 2 beschrieben. Der Ausnutzungsgrad der mineralischen Düngung beträgt im Mittel der Versuchsjahre ca. 50 %. Über die gesamte Versuchsdauer erweist sich als Optimalvariante eine jährliche mineralische N-Düngung von 146 kg Stickstoff pro Hektar. Der gedüngte Stickstoff wird zu 51 % über den gesamten Versuchszeitraum ausgenutzt. Der Stickstoff aus organischer Düngung kann diesen Ausnutzungsgrad allerdings nicht erzielen (Abb. 3). Die höchste mittlere jährliche N-Ausnutzung erreicht der Schweinemist mit 46 %. Schweinegülle wird zu ca. 43% ausgenutzt, wenn die Gülle jedes Jahr appliziert wird.

Zudem gibt der Versuch Antworten auf die Frage nach den Düngungsrhythmen. Festmiste von Rindern, Schweinen und Hühnern werden jeweils deutlich besser ausgenutzt, wenn sie nur einmal in der dreigliedrigen Fruchtfolge ausgebracht werden. Dies ist aber auch bei Rindergülle und Bioabfallkompost der Fall. Bei allen anderen organischen Düngemitteln wird der Stickstoff dagegen nach jährlichen Gaben besser ausgenutzt.

3.2 Mineraldüngeräquivalent

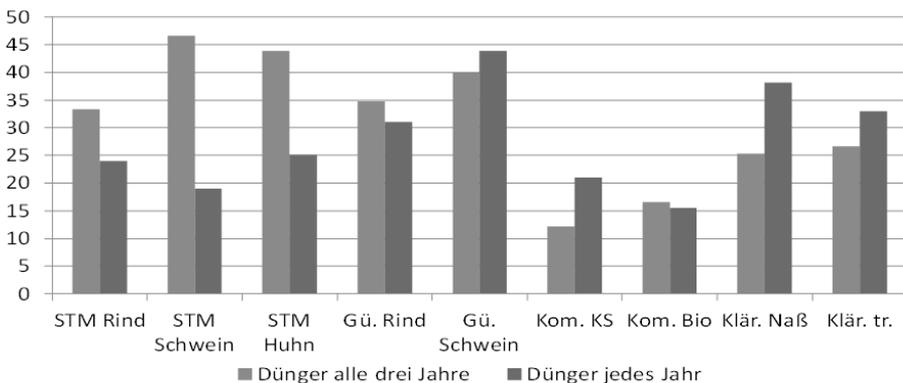


Abb. 2: Stickstoffausnutzung Wirtschaftsdünger und Siedlungsabfälle

Nach Anwendung zur Hackfrucht in einer dreifeldrigen Fruchtfolge erzielen Stallmiste (Rind, Schwein und Huhn) einen zwischen 15 % und 46 % höheren MDÄ im Vergleich zur jährlichen Gabe. Auch bei Rindergülle sind Gaben im dreijährigen Wechsel jährlichen Gaben knapp überlegen. Schweinegülle erzielt eine Wirkung von 73 % im Vergleich zu KAS ausschließlich nach jährlichen Gaben.

Höhere Mineraldüngeräquivalente können auch bei den Klärschlämmen (feucht und trocken) beobachtet werden. Dieses trifft überraschenderweise auch für den Grüngutkompost zu. Hier kann durch die jährliche Anwendung der MDÄ von 19 % auf 34 % gesteigert werden.

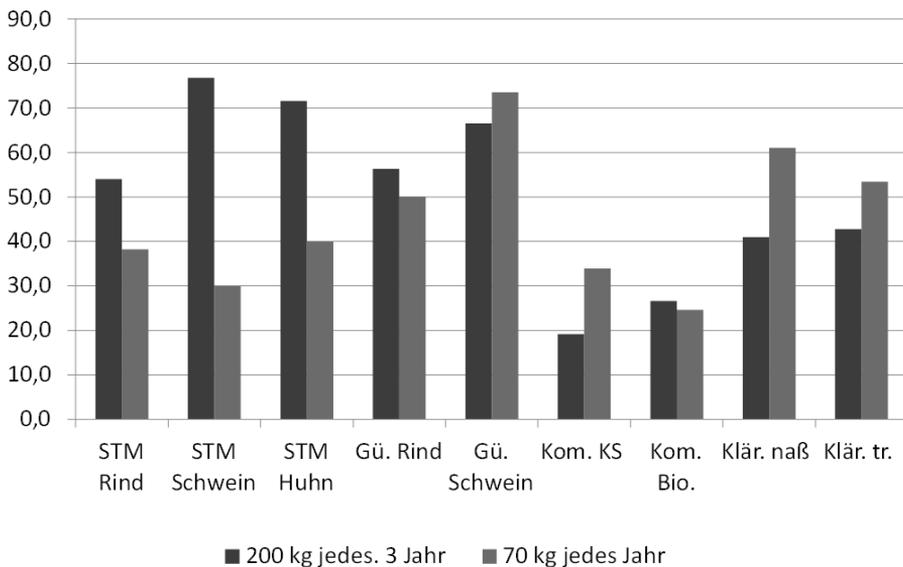


Abb. 3: MDÄ Wirtschaftsdünger und Siedlungsabfälle

4. Gefäßversuch

Von Seiten der Praxis wird an die Officialberatung vermehrt die Frage gerichtet, ob Gefäßversuche zur Berechnung von Mineraldüngeräquivalenten und N-Ausnutzung geeignet sind. Der Landesbetrieb Landwirtschaft hat aus diesem Grund sowohl Sommergerste, wie auch Weidelgras in Gefäßen angezogen, welche vor der Aussaat mit vier unterschiedlichen Gärresten und zwei unterschiedlichen Aufwandmengen gedüngt worden sind.

Die eingesetzten Gärreste stammen aus drei verschiedenen Biogasanlagen. Verwendet wurden Gärrestsubstrate einer Biogasanlage, die Rindergülle und Silomais vergärt (GR Milchvieh) und einer Biogasanlage, die Silomais und Schweinegülle einsetzt (GR Schwein). Die dritte Biogasanlage lieferte zwei unterschiedliche Substrate. Diese waren nach der Separierung der Gärreste einmal die flüssige Phase (GR fl NawaRo) und die feste Phase (GR fest NawaRo).

4.1 Sommergerste

Mit der Berechnung der Ertragskurve nach v. Boguslawski und Schneider (1964) kann für die KAS-Varianten ein Ertragsoptimum von über 55 g Korn/Gefäß jeweils bei einer Düngungsmenge von 1,6 g Stickstoff/Gefäß ermittelt werden. In Abbildung 4 sind neben den Kornerträgen auch die Stroherträge dargestellt. Die unterschiedlichen Gärreste erzielen erwartungsgemäß unterschiedliche Erträge. Allerdings bleibt auch festzuhalten, dass die Erträge der separierten flüssigen Phase einer NawaRo Anlage gegenüber den anderen Gärresten schlechter abschneiden. Ein solches Ergebnis war nicht erwartet worden.

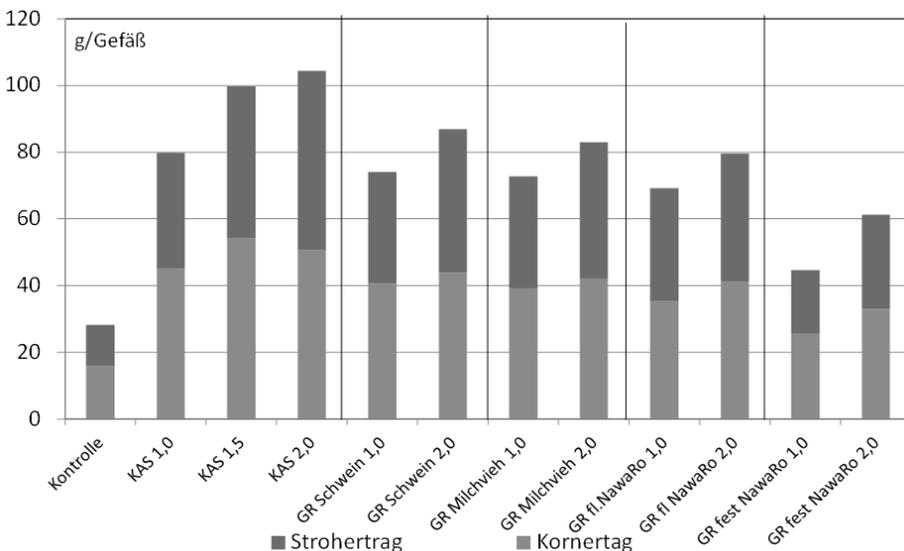


Abb. 4: Korn- und Strohertrag Sommergerste mit Gärrückständen und KAS

N-Ausnutzungsgrade und Mineraldüngeräquivalente werden in der Tabelle 1 beschrieben. Danach wird der in den verschiedenen Gärresten enthaltene Stickstoff zwischen 13,7 Prozent (separierter Gärrest fest) und 44,6 Prozent (GR Schwein 1,0) ausgenutzt. Die durch Berechnung des Mineraldüngeräquivalentes ermittelten Werte liegen zwischen 32 Prozent und 88 Prozent.

Tab. 1: N Ausnutzung und MDÄ in Sommergerste

Varianten	Ausnutzung %	MDÄ %
KAS 1,0	76,9	
KAS 1,5	74,8	
KAS 2,0	62,2	
		88,3
	44,6	
GR Schwein 1,0		
GR Schwein 2,0	33,5	57,8
GR Milchvieh 1,0	41,5	83,6
		53,3
	31,7	
GR Milchvieh 2,0		
GR fl.NawaRo 1,0	35,1	78,7
		49,7
	29,5	
GR flNawaRo 2,0		
GR fest NawaRo 1,0	14,5	32,7
GR fest NawaRo 2,0	13,7	31,9

4.2 Weidelgras

Da Weidelgras (*Lolium perenne*) über die Zeitdauer einer mehrmaligen Nutzung den im Gefäß angebotenen Stickstoff zeitlich versetzt aufnimmt, eignet sich diese Kultur besonders für die Verwendung in Gefäßversuchen. Während des Versuches wurde in den mit Stickstoff hoch versorgten Gefäßen (3 g N/ Gefäß) die keimhemmende Wirkung einer Harnstoffdüngung festgestellt. Erst die dritte Schnittnutzung erbrachte einen Mehrertrag der hohen gegenüber der niedrigen N-Stufe.

Durch den Vergleich mit der berechneten Ertragskurve der KAS-Varianten konnte auch in diesem Versuch das Mineraldüngeräquivalent ermittelt werden. Darüber hinaus wurde die N-Ausnutzung mittels Differenzmethode berechnet. Die Ergebnisse werden in Tabelle 3 beschrieben.

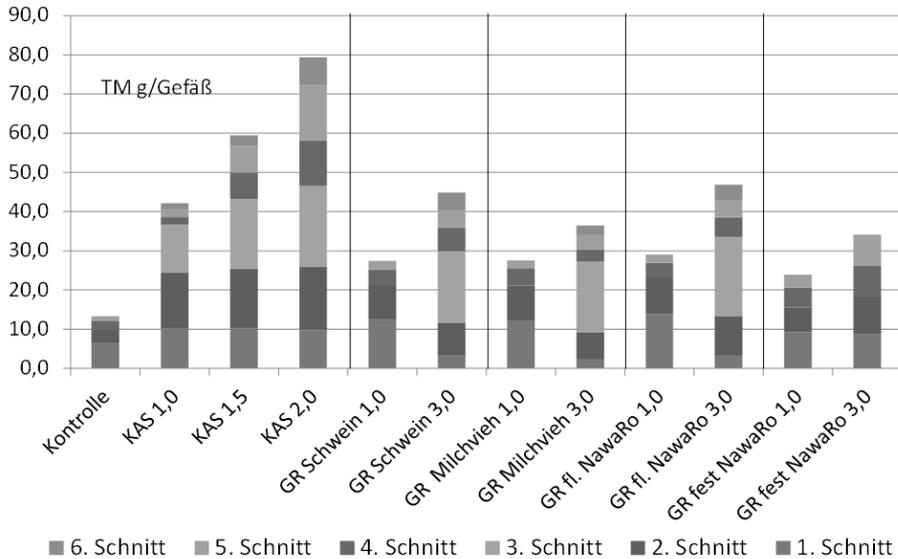


Abb. 5: Erträge Weidelgras (6 Schnitte)

Tab. 3: Stickstoffausnutzung und MDÄ in Weidelgras.

	N-Ausnutzung%	MDÄ%
Kontrolle		
KAS 1,0	86,7	
KAS 2,0	84,6	
KAS 3,0	81,2	
GR Schwein 1,0	51,5	59,6
GR Schwein 3,0	36,7	35,2
GR Milchvieh 1,0	46,8	58,6
GR Milchvieh 3,0	23,9	26,9
GR fl. NawaRo 1,0	52,2	64,5
GR fl. NawaRo 3,0	38,6	37,2
GR fest NawaRo 1,0	24,5	50,1
GR fest NawaRo 3,0	20,2	32,7

Die Steigerung der N-Düngung von 1,0 auf 3,0 g N/Gefäß verschlechterte die N-Ausnutzung und das MDÄ. Der Stickstoff wurde bei sechsmaliger Schnittnutzung mit 20,2 % (GR fest NawaRo 3,0 g N/Gefäß) am schlechtesten ausgenutzt. Die höchste N-Ausnutzung betrug 52,2 % (GR fl. NawaRo 1,0 g N/Gefäß). Das ermittelte MDÄ lag bei der vergorenen Milchviehgülle mit 3 g N/Gefäß (26,9 %) am niedrigsten und bei der flüssigen Phase der separierten NawaRo Gärrückstandes 1 g N/Gefäß (64,5 %) am höchsten.

5. Fazit

5.1 Betonkastenversuch

Ausgehend von den drei eingangs gestellten Versuchsfragen können die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden: Hackfrüchte können den über die organische Düngung angebotenen Stickstoff sehr gut ausnutzen und in Ertrag umsetzen. Vergleicht man Zuckerrüben und Silomais so fällt auf, dass die Rübe den organischen Stickstoff besser verwerten kann als der Silomais. Eine Anwendung zur Hackfrucht im dreijährigen Wechsel können die Hackfrüchte besser in Ertrag umsetzen als Getreide. Die abtragenden Getreidekulturen kommen mit einer jährlichen Gabe in der Vegetation dagegen besser zurecht. Die Wintergerste erzielt im Vergleich höhere Relativerträge als der Winterweizen. Ursache hiervon ist in der Terminierung der Applikation der org. Dünger in der Vegetation zu sehen. Eine zeitige Frühjahrsgabe scheint damit die Wintergerste besser auszunutzen zu können als der Winterweizen.

Unabhängig von N-Ausnutzung und N-Bilanz kann man mit Bodenuntersuchung feststellen, dass jede organische Düngung zu einer Erhöhung des Gesamtstickstoffgehaltes im Boden führt. Dies wird sogar in den Varianten beobachtet, die über eine negative Stickstoffbilanz verfügen. Stallmiste und Rindergülle werden grundsätzlich besser ausgenutzt, wenn sie nur alle drei Jahre in der Fruchtfolge und nicht jährlich verabreicht werden. Bei Schweinegülle, Grünutkompost und den Klärschlämmen ist es gerade umgekehrt.

5.2 Gefäßversuch

Neben den Feldversuchen sind auch Gefäßversuche als Modellversuche gut geeignet, praktische Fragestellungen nach der Düngewirkung zu beantworten.

ten. In dem Versuch mit Sommergerste und Weidelgras werden im Vergleich zu KAS die N-Ausnutzung und das MDÄ von verschiedenen Gärresten berechnet. Die Prüfwerte entsprechen im Wesentlichen den im Feldversuch ermittelten Versuchsergebnissen. Eine Differenzierung zwischen den unterschiedlichen Gärrestvariationen ist klar erkennbar. Die Ergebnisse des separierten flüssigen NawaRo Gärrestes zur Sommergerste waren allerdings nicht erwartet worden. Trotz eines hohen Gehaltes an Ammoniumstickstoff konnte dieser nicht in Ertrag umgesetzt werden.

Ein Baustein zu einer fachgerechten organischen Düngung nach der guten fachlichen Praxis ist die regelmäßige Untersuchung der organischen Dünger. Denn nur mit dem Wissen um die genaue Nährstoffkonzentration kann die Berechnung der auszubringenden Nährstoffmenge stimmig sein und so zu einer effektiven N-Ausnutzung beitragen.

6. Literaturangaben

Dieckmann, K., 1965: Unser Acker, Hamburg/Parey, 1953.

von Boguslawski, E., Schneider, B., 1964: Die dritte Annäherung des Ertragsgesetzt. 3. Mitteilung Zeitschrift: Acker- und Pflanzenbau 119, 1964.

von Rosenberg - Lipinsky, A., 1873: Der praktische Ackerbau im Bezug auf rationelle Bodenkultur, Verlag Eduard Trewendt.

Verringerung des Nitratauswaschungspotentials in Baden-Württemberg durch Ökologischen Landbau

M. Finck, M. Reinsch, H. Hartwig

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

1. Einleitung

Der Ökologische Landbau erfüllt viele Anforderungen einer grundwasserverträglichen und nachhaltigen Landwirtschaft. Anhand zahlreicher Versuche (u. a. Hege, 2003; Haas, 2010) wird belegt, dass die im Vergleich zu konventionellen Landbauformen deutlich reduzierte Stickstoffzufuhr im Ökologischen Landbau zu besserer Nährstoffverwertung, geringeren Nährstoffverlusten, N-Überschüssen und Nitratgehalten im Boden und Sickerwasser führt.

Es stellt sich die Frage, ob sich die Versuchsergebnisse auch in der Praxis bestätigen; d. h. sind die Herbst-Nitratgehalte im Boden für ökologisch wirtschaftende Betriebe niedriger als für die des konventionellen Anbaus? Welchen Beitrag steuert das Fruchtfolgesystem zur Verringerung des Auswaschungspotentials bei?

In der vorliegenden Arbeit wurden kulturspezifische Herbst-Nitratgehalte für ökologischen und konventionellen Anbau ermittelt und anschließend mit dem jeweiligen Anbauverhältnis gewichtet. Der Nitratgehalt im Herbst gilt als Maß für die potentiell im Herbst-Winter-Zeitraum auswaschbare Nitratmenge, wobei vereinfachend weitere Faktoren vernachlässigt werden, welche die Nitratauswaschung beeinflussen können, wie z. B. N-Mineralisierung aus oder N-Festlegung in organischer Substanz, N-Aufnahme der Pflanzendecke und Denitrifikation.

2. Datengrundlagen und Auswertung

Als Datengrundlage dienen die Bodenproben aus den Wasserschutzgebieten Baden-Württembergs, die im Rahmen der seit 1988 geltenden Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) jährlich zwischen dem 15.10. und 15.11. amtlicherseits gezogen und auf Nitrat untersucht werden (sogenannte

„Herbstkontrollaktion“). Die Bewirtschaftungsauflagen der SchALVO schränken die ordnungsgemäße Bewirtschaftung ein. Wesentliche Auflagen betreffen die folgenden Bereiche: N-Düngung im Frühjahr und nach der Ernte, Begrünungsgebot, Einarbeitungszeitpunkt der Begrünung, Termin der Bodenbearbeitung, Verfahren der Bodenbearbeitung sowie Bewässerung. Der Vergleich der Herbst-Nitratgehalte für ökologische und konventionelle Bewirtschaftung erfolgt somit für Gebiete, die bereits seit mehr als 20 Jahren durch eine grundwasserschonende Bewirtschaftung geprägt sind.

Seit 1996 wird bei der Herbstkontrollaktion vermerkt, ob die beprobte Fläche zu einem ökologisch bewirtschafteten Betrieb gehört, weswegen für die vorliegende Auswertung die Daten der Jahre 1996 bis 2011 herangezogen werden konnten. Die Zahl der ökologisch bewirtschafteten Flächen ist wesentlich geringer als die der konventionell bewirtschafteten, so dass der Median des Nitratgehaltes als Vergleichsgröße geeigneter ist als der Mittelwert. Da Nitratgehalte keine Normalverteilung aufweisen, sondern linkssteil verteilt sind, ist der Median etwas (5-10 kgN/ha) niedriger als der arithmetische Mittelwert. Ferner wurde die Vergleichbarkeit der Datensätze erhöht, indem nur Daten aus Regionen mit hoher Anzahl an ökologisch bewirtschafteten Flächen (Landkreise Main-Tauber-Kreis, Enzkreis, Ludwigsburg, Reutlingen, Heidenheim, Ulm und Biberach) herangezogen und auch nur Kulturen berücksichtigt wurden, für die mindestens 40 Nitratwerte vorlagen.

Für die Ermittlung des flächengewichteten Auswaschungspotentials wurden die kulturspezifischen Anbauverhältnisse für ökologischen und konventionellen Landbau in Baden-Württemberg aus dem Jahr 2011 zugrunde gelegt.

3. Kulturspezifische Herbst-Nitratgehalte

Für 22 Kulturen konnte der Unterschied im Herbst-Nitratgehalt zwischen Ökolandbau und konventionellem Landbau belastbar ermittelt werden. Die Nitratgehalte (Median 0-90 cm) der Ökoanbauflächen steigen über die verschiedenen Kulturen von knapp 10 kgN/ha für die Wiesen (links) zu Speisekartoffeln mit knapp 65 kg N/ha (rechts) an (Abb. 1).

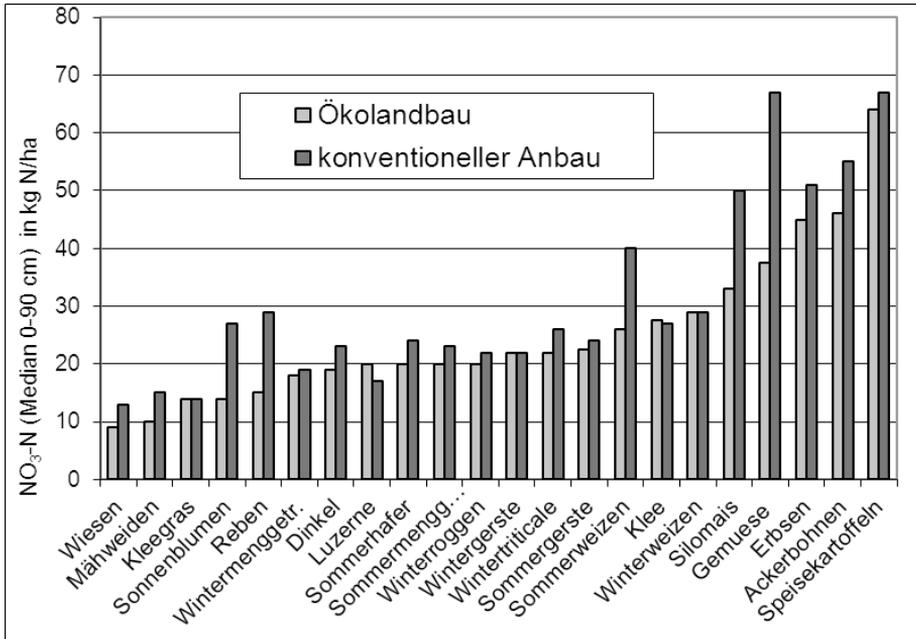


Abb. 1: Kulturspezifische Herbst-Nitratgehalte (Median 0-90 cm) für ökologisch und konventionell bewirtschaftete Flächen in WSG ausgewählter Landkreise Baden-Württembergs (Ausnahme: Reben landesweit). Daten: 1996-2011, LTZ.

Die Nitratgehalte für Silomais, Sommerweizen, Reben, Sonnenblumen und Gemüse sind im konventionellen Anbau deutlich höher als im Ökolandbau (Abb. 2).

Der auffällig niedrigere Wert bei **Silomais** für den Ökolandbau könnte folgende Ursachen haben: niedrigerer Viehbesatz mit entsprechend niedrigerem Wirtschaftsdüngereinsatz und Verzicht auf zusätzliche Mineraldüngung; geringerer Einsatz von Gärresten, geringerer Futtermittelzukauf, häufigere Einsaat von Untersaaten oder nachfolgende Begrünung.

Geringere Herbst-Nitratwerte bei **Sommerweizen** sind vermutlich dadurch bedingt, dass Sommerweizen konventionell nur als E-Weizen mit entsprechender Qualitäts-Spätdüngung angebaut wird, während dies im Ökolandbau beim Einsatz von Wirtschaftsdüngern nicht möglich ist.

Sonnenblumen und **Reben** werden im Ökolandbau vermutlich kaum gedüngt, da der N-Bedarf gering ist; im konventionellen Anbau wird vermutlich mehr gedüngt, als die Pflanze benötigt.

Eine mögliche Ursache für die niedrigeren Nitratgehalte bei **Gemüse im Freiland** ist eine geringere Düngemenge im Ökolandbau allerdings umfasst die Kulturgruppe Gemüse im Freiland zahlreiche verschiedene Gemüsekulturen mit deutlich unterschiedlichen Herbst-Nitratwerten. Die geringeren Nitratwerte bei Ökoflächen können somit auch durch eine andere Zusammensetzung an Gemüsekulturen bedingt sein.

Für Ackerbohnen, Erbsen, Mähweiden, Wintertriticale, Sommerhafer, Dinkel, Wiese, Speisekartoffeln, Sommergetreide, Winterroggen, Sommergerste und Wintergetreide sind die Nitratgehalte im konventionellen Anbau etwas höher als im Ökolandbau. Für Winterweizen, Wintergerste und Klee ergab sich kein Unterschied. Klee und Luzerne haben im Ökolandbau einen etwas höheren Herbst-Nitratgehalt.

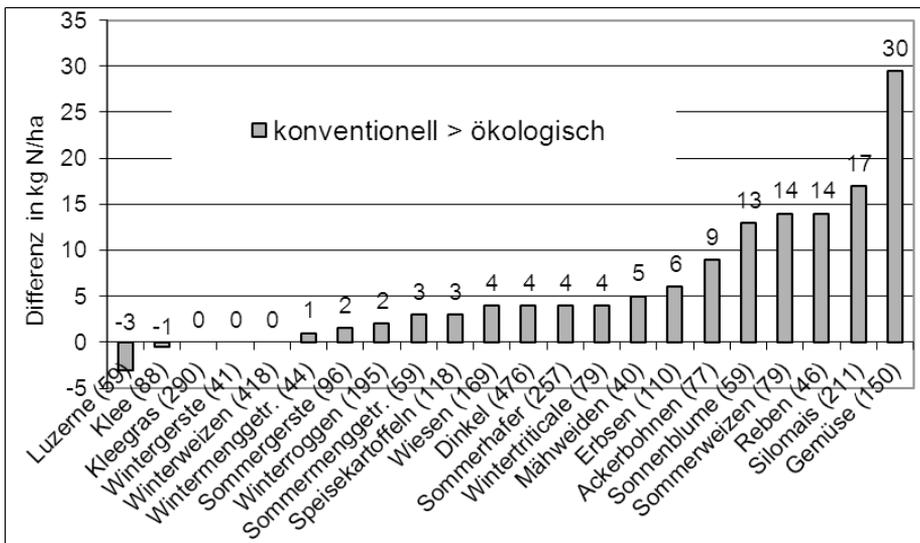


Abb.2: Unterschiede im kulturspezifischen Herbst-Nitratgehalt zwischen ökologischem und konventionellem Anbau.

4. Ermittlung des flächengewichteten Auswaschungspotentials

Bei der Bewertung der wasserschutzrelevanten Wirkung des Ökolandbaus gegenüber konventionellem Anbau sind neben den kulturspezifischen Nitratgehalten auch die Fruchtfolgen bzw. Anbauverhältnisse zu berücksichtigen. Während im konventionellen Anbau Grünland knapp 1/3 der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF) umfasst und Ackerbau knapp 2/3, ist das Verhältnis für den Ökolandbau etwa umgekehrt (Abb. 3, oben). Betrachtet man die Anbauverhältnisse auf der Ackerfläche, so ergeben sich folgende wesentlichen Unterschiede (Abb. 3, mittig): Im Ökolandbau wird Winterweizen in deutlich geringerem Umfang angebaut, Sommer- und Wintergerste spielen keine Rolle, stattdessen wird Dinkel, Wintertriticale, Sommerhafer angebaut. Als Ackerfutter dienen Klee und Klee gras, während Silomais, Winterraps und Körnermais kaum angebaut werden. Die Grünlandfläche besteht im Ökolandbau zu 50 % aus Weiden und Mähweiden, während deren Anteil im konventionellen Anbau nur etwa ein Viertel beträgt (Abb. 3, unten).

Für die Abschätzung des mittleren Auswaschungspotentials für Ökolandbau und konventionellen Anbau werden die kulturspezifischen Nitratgehalte mit den Anbauflächen gewichtet. Da die 22 Kulturen, für die der Nitratgehalt verglichen werden konnte 83 % der LF des Ökolandbaues abdecken (Tab. 1), ist der flächengewichtete Vergleich „ökologisch“ – „konventionell“ durchaus belastbar. Die restlichen 17 % der LF werden durch 53 weitere Kulturen abgedeckt, für die vereinfachend angenommen wurde, dass die Nitratgehalte bei ökologischem und konventionellem Anbau gleich sind.

Tab. 1: Über die 22 Vergleichskulturen abgedeckter Anteil an der Anbaufläche des Ökolandbaus. Daten: MLR, GA 2011.

Nutzungen	Anbaufläche		Anteil in %
	Ökolandbau insgesamt [ha]	Anbaufläche der 22 Vergleichskulturen [ha]	
Acker	38 075	31 847	84
Grünland	59 361	50 645	85
Weinbau	746	746	100
LF	99 753	83 238	83

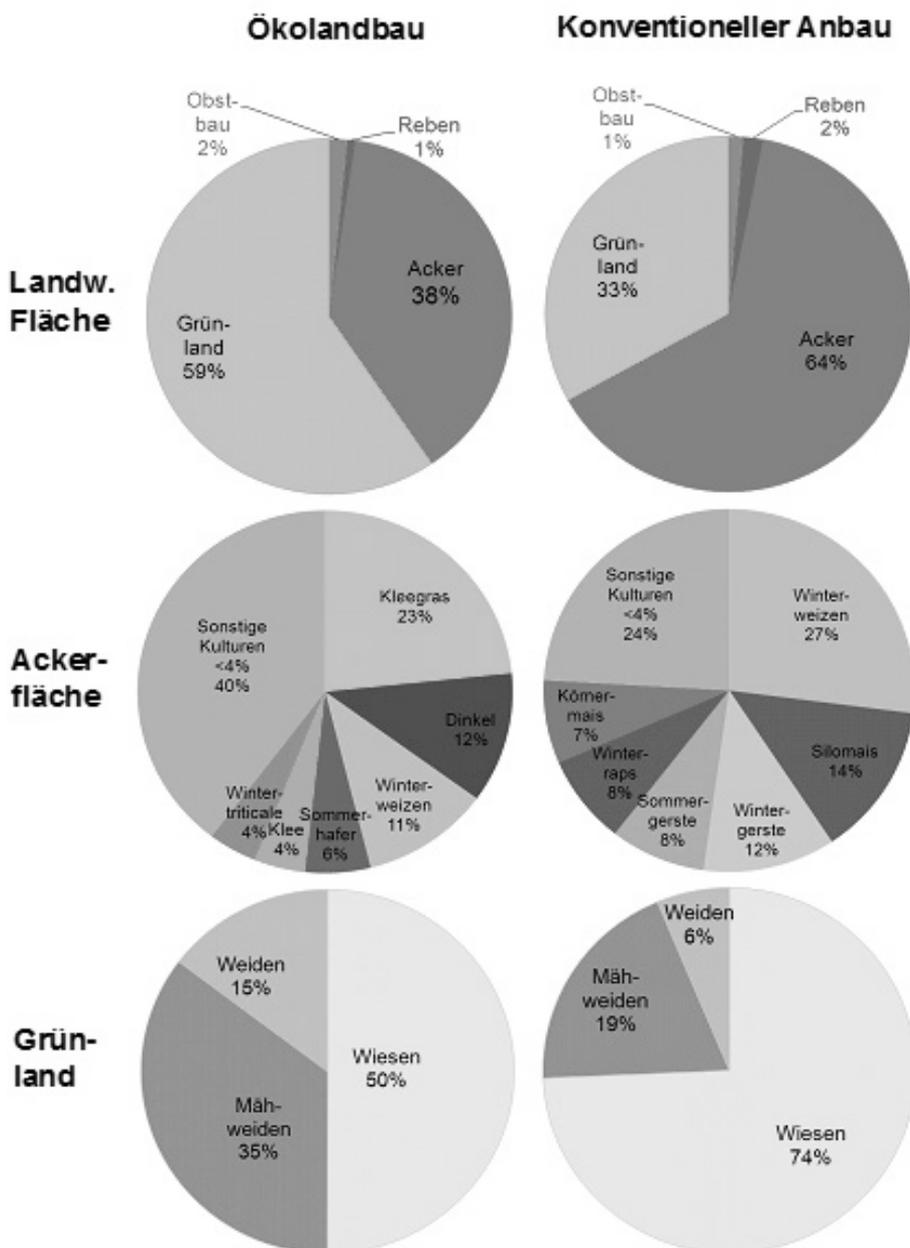


Abb. 3: Anbauverhältnisse auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche sowie der Acker- und Grünlandfläche in Baden-Württemberg bei ökologischem und konventionellem Anbau. Daten: MLR, GA 2011.

5. Flächengewichtetes Auswaschungspotential – Ergebnisse

Für die **Ackerfläche** ergibt sich ein Nitratgehalt von 32 kgN/ha für den konventionellen Anbau und 23 kgN/ha für den ökologischen Anbau (Tab. 2). Die Minderung um 9 kgN/ha bzw. 28 % beruht zu 1/3 auf den geringeren Nitratgehalten für 15 der 19 Vergleichskulturen im Ackerbau; zu 2/3 sind die unterschiedlichen Anbauverhältnisse (v. a. kein Silomais und Raps im Ökolandbau) verantwortlich.

Der Nitratgehalt für **Grünland** liegt im Ökolandbau mit 10 kgN/ha um 3 kgN/ha (23 %) niedriger als im konventionellen Anbau, was auf die etwas niedrigeren Nitratwerte für Mähweiden und Wiesen im Ökolandbau zurückzuführen ist. Im **Weinbau** liegt der Nitratgehalt für den Ökolandbau um 13 kgN/ha (45 %) niedriger als im konventionellen Landbau.

Für die **LF** ergibt sich ein Nitratgehalt von 25 kgN/ha konventionell und 15 kgN/ha im Ökolandbau. Die Minderung um 10 kgN/ha (40 %) ist zu annähernd 60 % auf die Nutzung Ackerbau und zu 40 % auf die Nutzung Grünland zurückzuführen. Dazu trägt der geringere Acker- und höhere Grünlandanteil mit 3,4 kgN/ha bei, d. h. der um 10 kg N/ha oder 40 % niedrigere Nitratgehalt im Ökolandbau resultiert zu knapp 1/3 aus dem geringeren Acker- bzw. höheren Grünlandanteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche im Ökolandbau.

Tab.2: Mit der Anbaufläche (GA 2011) gewichtete Nitratgehalte (Median 0-90 cm) für ökologisch und konventionell bewirtschaftete Flächen.

Nutzung	konventioneller Anbau kg N/ha	Öko- landbau kg N/ha	Differenz in kg N/ha	davon:		Differenz in % (konv. = 100%)
				Nitrat- gehalte	Anbau- fläche	
Ackerbau	32	23	9	3	6	28
Grünland	13	10	3	3,7	-0,3	23
Weinbau	29	16	13	3	0	45
LF	25	15	10	7	3	40

6. Zusammenfassung

In den Wasserschutzgebieten Baden-Württembergs (d. h. bei grundwasser-schonender Bewirtschaftung gemäß SchALVO) sind häufig nur geringe Unterschiede bei den kulturspezifischen Herbst-Nitratgehalten zwischen ökologischen und konventionellen Anbau zu verzeichnen. Allerdings gibt es v. a. bei Gemüse, Silomais, Reben, Sommerweizen und Sonnenblumen noch Verbesserungspotential für den konventionellen Anbau. Je nach Flächenanteil im Wasserschutzgebiet können auch Kulturen mit nur leicht niedrigeren Herbst-Nitratwerten (z. B. Dinkel, Sommerhafer, Winterroggen) einen deutlichen Beitrag zur Reduzierung des Auswaschungspotentials leisten.

Für eine Gesamtbewertung des Auswaschungspotentials für den ökologischen bzw. konventionellen Landbau wurden die kulturspezifischen Herbst-Nitratgehalte mit den jeweiligen Anbauflächen in Baden-Württemberg gewichtet. Auf die LF bezogen liegt der mit der Anbaufläche gewichtete Median für den Ökolandbau mit 15 kgN/ha um 10 kgN/ha bzw. 40 % niedriger als für den konventionellen Anbau. Zu dieser Verringerung tragen die Ackerfläche zu 40 % und die Grünlandfläche zu 60 % bei. Allerdings liegen die Unterschiede zwischen ökologischem und konventionellem Anbau nur zum Teil an geringeren kulturspezifischen Nitratgehalten, sondern sie resultieren v. a. aus Unterschieden in den Anbauverhältnissen. So ist für die Ackerfläche das um 28 % geringere Auswaschungspotential zu 2/3 in der Fruchtfolge, v. a. in dem sehr geringen Anteil an Silomais und Raps im Ökolandbau begründet. Das um 40 % geringere Auswaschungspotential für die LF im Ökolandbau ist zu knapp 1/3 auf den geringeren Acker- bzw. höheren Grünlandanteil zurückzuführen.

7. Literaturangaben

- Haas, G., 2010: Wasserschutz durch Ökologischen Landbau. Leitfaden für Land- und Wasserwirtschaft. Bundesprogramm Ökologischer Landbau Bericht-ID: 16897, <http://forschung.oekolandbau.de>.
- Hege, U., Fischer, A., Offenberger, K., 2003: Nährstoffsalden und Nitratgehalte des Sickerwassers in ökologisch und üblich bewirtschafteten Ackerflächen. In: Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Nr. 3/03, 7-13.

Ergebnisse eines vierjährigen Monitorings zum Ernährungszustand Thüringer Ackerkulturen

W. Zorn, S. Wagner

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Zielstellung

Die langjährig reduzierte Düngung von Phosphor und Kalium im Thüringer Ackerbau hat zu einer dramatischen Abnahme insbesondere der P-Versorgung der Böden geführt. Ziel eines vierjährigen Pflanzenanalysemonitorings in den Jahren 2009 bis 2012 war einerseits die Bewertung der Auswirkungen der reduzierten P- und K-Düngung auf den Ernährungszustand der Ackerkulturen und andererseits die Schaffung eines Überblicks über deren Mikronährstoffversorgungszustand.

2. Material und Methoden

Analysiert wurden von insgesamt 1066 Standorten Pflanzenproben auf die Gehalte an N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Mn und Zn sowie die korrespondierenden Böden auf Tongehalt, pH-Wert, P-, K-, Mg-, B-, Cu-, Mn- und Zn-Gehalt nach den Verbandsmethoden des VDLUFA.

Die Probenahme und die Bewertung des Ernährungszustandes geschahen gemäß Breuer et al. (2003), Zorn, et al. (2007) sowie interner Richtwerte. Die 1066 Probenahmeflächen umfassten 899 konventionell (565 mit Pflug; 133 pfluglos) und 167 ökologisch bewirtschaftete Flächen (133 mit Pflug; 34 pfluglos). Erfasst wurden unter anderem 312 Winterweizen-, 175 Winterraps-, 88 Wintergerste-, 80 Silomais-, 54 Kartoffel-, 51 Dinkel- und 50 Wintertriticale-schläge. Die jeweiligen Probenahmezeitpunkte und -organe sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Versuchsbegleitend wird in aktuellen Feldversuchen die Pflanzenanalyse zur Bewertung des Zusammenhangs zwischen dem Ernährungszustand der Pflanzen und dem Ertrag durchgeführt. Am Beispiel aller Varianten des „P-Unterfußdüngungsversuchs Friemar“ wird deutlich, dass der P-Gehalt von Winterweizen

und -gerste zu Schossbeginn mit dem Kornertrag eng korreliert (Abb. 1). Daraus schlussfolgernd stellt die Pflanzenanalyse eine gute Möglichkeit zur Ernährungsdiagnose dar.

Tab. 1: Probenahmestadien und -organe (in Anlehnung an Breuer, et al., 2003 bzw. Zorn, et al., 2007)

Fruchtart	Probenahmezeitraum Entwicklungsstadium	Probenahmeorgan
Winterweizen		
Winterroggen		
Wintergerste	BBCH 32-36	gesamte oberirdische Pflanze
Wintertriticale		
Sommergerste		
Dinkel		
Winterraps	Blühbeginn BBCH 62	gerade vollentwickelte Blätter
Körnererbse	Blühbeginn BBCH 61-62	
Kartoffel	Blühbeginn	
Silomais	Rispschieben 51-59	mittlere Blätter
Zuckerrübe	Ende Juni	Spreiten gerade vollentwickelte Blätter
Rotklee	Blühbeginn, 1. Aufwuchs	gesamte oberirdische Pflanze

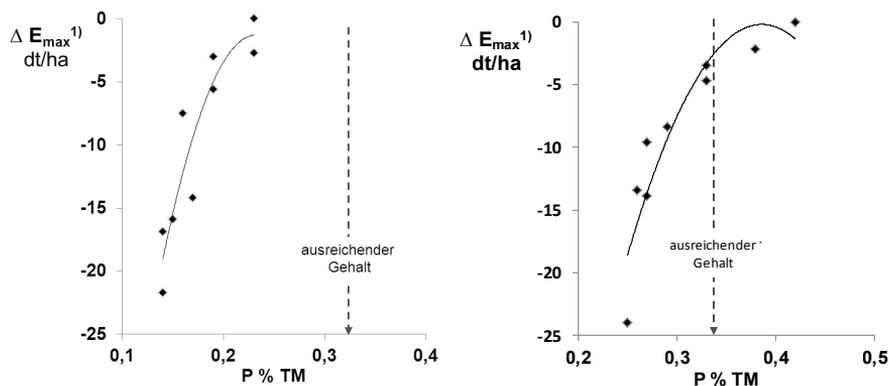


Abb. 1: Ertragsdifferenz im Vergleich zum Höchstertag in Abhängigkeit vom P-Gehalt der Pflanzen zu BBCH 31 im P-Unterfußdüngungsversuch Friemar (links: Winterweizen 2012, rechts: Wintergerste 2013)

3. Ernährungszustand mit Makronährstoffen (N, P, K, Ca, Mg, S)

Zum Verständnis des ermittelten Ernährungszustandes der Kulturen ist die Nährstoffversorgung der Böden von Interesse. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Bodenreaktion sowie den P-, K- und Mg-Gehalt der Böden, getrennt nach konventionellem und ökologischem Landbau (Tab. 2).

Tab.2: Bodenreaktion sowie P-, K- und Mg-Gehalt der Böden (Anteile in Gehaltsklassen in%)

pH- bzw. Gehalts- klasse	konventioneller Landbau (n = 899)				ökologischer Landbau (n = 167)			
	pH	P	K	Mg	pH	P	K	Mg
A	1	7	2	0	1	14	3	0
B	22	29	17	9	16	25	26	5
C	43	24	32	19	40	30	29	16
D	25	22	31	23	29	13	20	20
E	9	18	19	48	16	18	22	59

Die Stichprobe umfasst im Vergleich zum Mittel aller Thüringer Ackerböden einen zu geringen Anteil an Standorten mit Gehaltsklasse A und B, während die K-Versorgung annähernd repräsentativ ist. Der Vergleich zwischen konventionellen und ökologischen Landbau zeigt unter Berücksichtigung des geringen Stichprobenumfangs ökologisch bewirtschafteter Flächen nur geringe Differenzen hinsichtlich P-Versorgung. Im ökologischen Landbau liegt häufiger eine sehr niedrige und niedrige K-Versorgung der Böden vor.

Im Mittel aller untersuchten Flächen betrug der Anteil mit niedrigem bis Ernährungszustand der Pflanzen 32 % bei P, 40 % bei K sowie 10 % bei Mg (Tab. 3).

Zur Bewertung des Schwefelernährungszustandes von Winterraps wurde der S-Gehalt in der Trockenmasse sowie für alle anderen Kulturen der N/S-Quotient herangezogen. Die 175 untersuchten Winterrapsbestände waren in 7 % der Fälle niedrig sowie zu 93 % ausreichend mit S ernährt. Alle anderen Kulturen wiesen zu 22 % einen N/S-Quotienten > 15 auf, der auf eine niedrige S-Ernährung hindeutet. 78 % der Proben verfügten über einen ausreichenden S-Ernährungszustand ($N/S \leq 15$).

Tab. 3: Ernährungszustand von 1066 Thüringer Ackerkulturen 2009-2012 (in % der untersuchten Flächen)

Ernährungszustand	N	P	K	Mg
niedrig	23	32	40	10
ausreichend	70	67	59	87
hoch	7	1	1	3

Der Ernährungszustand der Pflanzen unterlag wesentlich dem Einfluss der Jahreswitterung (Tab. 4). Bei weitgehend vergleichbarer Nährstoffversorgung der Böden in den einzelnen Untersuchungsjahren lag im Jahr 2011 ein deutlich höherer Anteil Pflanzen mit niedrigem N-, P-, K- oder Mg-Ernährungszustand im Vergleich zu den anderen Jahren vor. In diesem Jahr wiesen je 57 % der untersuchten Pflanzen einen niedrigen P- und K-Ernährungszustand sowie 36 % einen unzureichenden N-Ernährungszustand auf. Die aktuelle Wasserversorgung übte einen erheblichen Einfluss auf die Nährstoffaufnahme der Kulturen aus, wie der Vergleich mit den Niederschlagsmengen im Zeitraum März bis Mai zeigt. Bei anhaltender Frühjahrstrockenheit (2011 und 2012) war der Anteil von Flächen mit unzureichendem P- und K-Ernährungszustand deutlich höher als in Jahren mit etwas besserer Wasserversorgung (2009 und 2010).

Tab. 4: Anteil Proben mit unzureichendem Ernährungszustand in Abhängigkeit von der Jahreswitterung (konventioneller Landbau)

Jahr	Niederschlag März bis Mai (mm) Friemar¹⁾	N	P	K	Mg
2009	188	11	15	20	5
2010	111	14	29	34	17
2011	64	36	57	57	15
2012	73	14	40	43	8

¹⁾zentrales Thüringer Becken

Ein Vergleich zwischen konventionellen und ökologischen Landbau belegt, dass konventionell bewirtschaftete Bestände häufiger durch eine niedrige P-Ernährung gekennzeichnet waren als ökologisch bewirtschaftete. Von N- und K-Unterversorgung waren Flächen des ökologischen Landbaus häufiger betroffen als konventionelle (Abb. 2).

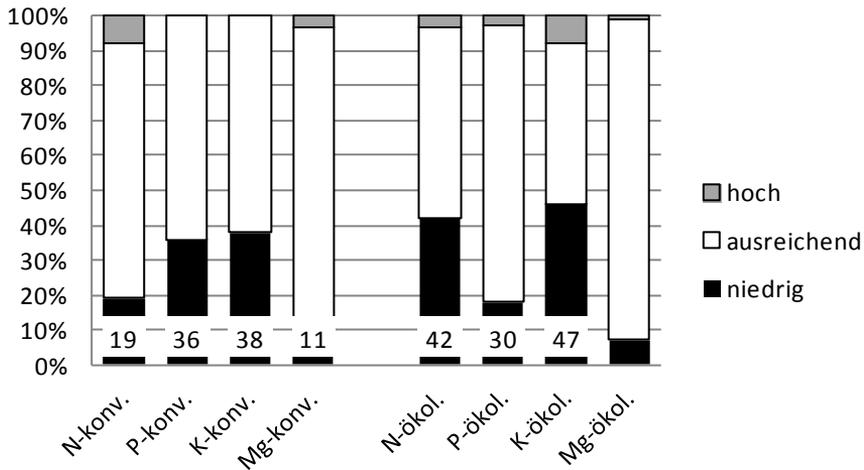


Abb. 2: N-, P-, K- und Mg-Ernährungszustand von Pflanzen im konventionellen und ökologischen Landbau

In Thüringen weist Winterweizen einen großen Anbauumfang auf. Deshalb besitzt die Bewertung des Ernährungszustandes dieser Kultur besondere Bedeutung. Tabelle 5 zeigt, dass der Winterweizen unter den Bedingungen gesunkener Nährstoffgehalte der Böden und den Witterungsbedingungen der untersuchten Jahre überproportional von einer unzureichenden P- und K-Ernährung betroffen ist.

Tab. 5: Ernährungszustand von Winterweizen im konventionellen Landbau (n=228)

Ernährungszustand	N	P	K	Mg
niedrig	16	47	32	4
ausreichend	78	52	68	94
hoch	6	0	0	1

Für alle Nährstoffgehalte in der Pflanze wurden die Beziehungen zum N-Gehalt berechnet. In jedem Fall liegt eine signifikante Beziehung vor, wobei die Bestimmtheitsmaße der linearen Regression in der Reihenfolge K (B = 0,64) < Ca (B = 0,49) < P (B = 0,28) < Mg (B = 0,27) abnehmen. Die Beziehung zwischen dem K- und N-Gehalt zeigt Abbildung 3. Dieses Ergebnis weist daraufhin, dass bei überwiegend trockenheitsbedingter geringer N-Düngerwirkung auch

die Aufnahme anderer Nährstoffe sinken kann. Für die Bewertung der Ergebnisse der Pflanzenanalyse sind deshalb auch der N-Gehalt bzw. die Nährstoffverhältnisse zu berücksichtigen.

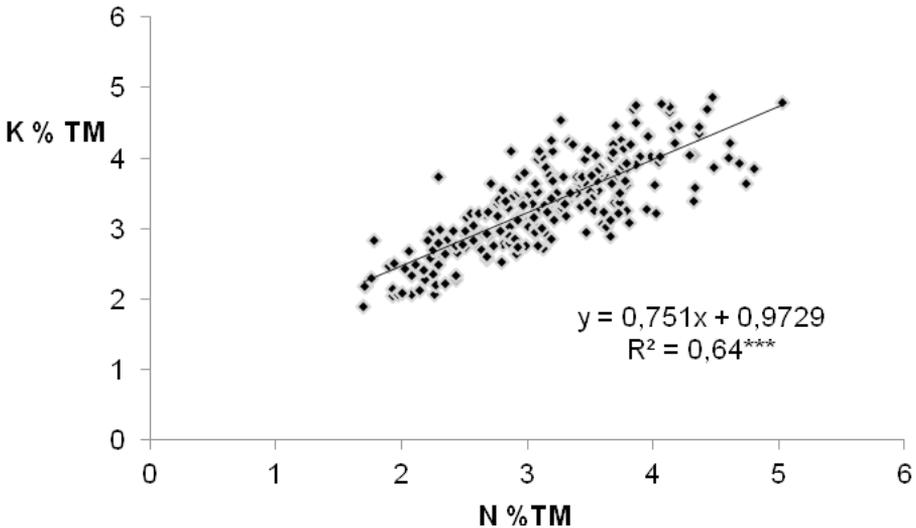


Abb. 3: K-Gehalt von Winterweizenpflanzen in Abhängigkeit vom N-Gehalt

4. Ernährungszustand mit Mikronährstoffen (B, Cu, Mn, Zn)

Zur Bewertung des ermittelten Mikronährstoffernährungszustandes der Kulturen ist die Nährstoffversorgung der Böden von Interesse. Tabelle 6 gibt einen Überblick über den B-, Cu-, Mn- und Zn-Gehalt der Böden, getrennt nach konventionellem und ökologischem Landbau.

Tab. 6: B-, Cu-, Mn- und Zn-Gehalt der Böden (Anteile in Gehaltsklassen in %)

Gehalts- klasse	konventioneller Landbau (n = 899)				ökologischer Landbau (n = 167)			
	B	Cu	Mn	Zn	B	Cu	Mn	Zn
A	13	1	5	2	25	2	11	4
C	25	28	11	25	16	32	13	38
E	62	71	84	73	59	66	76	58

Im Mittel aller untersuchten Flächen betrug der Anteil mit niedrigem Ernährungszustand 30% bei B, 3% bei Cu, 12% Mn sowie 22% bei Zn (Tab. 7).

Tab. 7: Ernährungszustand von 1066 Thüringer Ackerkulturen 2009-2012 (in % der untersuchten Flächen)

Ernährungszustand	B	Cu	Mn	Zn
niedrig	30	3	12	22
ausreichend	69	95	86	76
hoch	1	2	2	2

Eine unzureichende B-Mangelernährung betraf fast ausschließlich Kulturarten mit hohem B-Bedarf (Raps, Zuckerrübe). Zum Teil wiesen Getreidepflanzen B-Gehalte < 2,5 mg/kg TM auf. Diese Proben wurden als niedriger B-Ernährungszustand (vorläufiger Richtwert) bewertet. Inwieweit dies zu Ertragsminderungen führt, ist durch weitere Untersuchungen festzustellen. In Blattdüngungsversuchen wurden vergleichbare B-Gehalte nicht vorgefunden. Einen niedrigen Cu-Ernährungszustand wiesen nur 3 % der untersuchten Flächen auf. Dieses Ergebnis deutet auf die gute Cu-Aufnahme der Kulturen aus den in Thüringen verbreiteten Böden mit hohem und mittlerem Cu-Gehalt hin. Der Anteil von Getreideflächen mit unzureichender Zn-Ernährung hat zugenommen und erfordert zunehmend gezielte Zn-Düngungsmaßnahmen.

5. Fazit

Ein vierjähriges Monitoring zum Ernährungszustand von Ackerkulturen in Thüringen belegt eine Zunahme von Pflanzenbeständen mit unzureichender P- und K-Versorgung. Ursache dafür ist die langfristig restriktive P- und K-Düngung der Landwirte. Die Untersuchungen zeigen, dass unter Praxisbedingungen die Nährstoffaufnahme der Kulturen sehr stark durch die Wasserversorgung beeinflusst wird. Bei trockenheitsbedingter verminderter N-Aufnahme sinkt die P-, K-, Ca- und Mg-Aufnahme. Dieser Zusammenhang ist zukünftig bei der Bewertung der Pflanzenanalyseergebnisse zu beachten. Die Anwendung der Pflanzenanalyse im ökologischen Landbau liefert wichtige Hinweise zur Optimierung der Nährstoffflüsse.

Das vorhandene Datenmaterial wird weiteren Auswertungen, unter anderem zur Beziehung zwischen der Nährstoffversorgung von Böden und Pflanzen unterzogen.

6. Literaturangaben

Breuer, J., König, V., Merkel, D., Ofs, H.-W., Steingrobe, B., Stimpfl, E., Wissemeier, A., Zorn, W., 2003: Die Pflanzenanalyse zur Diagnose des Ernährungszustandes von Kulturpflanzen. Agrimedia Bergen/Dumme, 113 S.

Zorn, W., Heß, H., Albert, E., Kolbe, H., Kerschberger, M., Franke, G., 2007: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“. Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena, 186 S.

Bewertung des pflanzenverfügbaren Phosphates im Boden – Präzisierung durch die Berücksichtigung des Gehaltes an oxalatlöslichem Eisen und Aluminium

K. Schweitzer¹, M. Kulhánek², J. Balík²

¹Humboldt-Universität zu Berlin, ²Czech University of Life Sciences Prague, Tschechien

1. Einführung

Zur Bewertung des P-Zustandes des Bodens werden Testmethoden eingesetzt (z. B. DL-Methode, CAL-Methode), die auf einer einfachen chemischen Extraktion beruhen und für die gute Beziehungen zwischen der extrahierten P-Menge und der P-Aufnahme durch die Pflanze sowie dem Ertrag nachgewiesen sind. Aufgrund des spezifischen Lösungsvermögens der eingesetzten Extraktionsmittel variiert diese Beziehung jedoch stark in Abhängigkeit vom P-Vorrat in den spezifischen P-Bindungsformen des Bodens (P-Quantität) und von der P-Konzentration der Bodenlösung (P-Intensität), die im dynamischen Gleichgewicht mit der festen Phase steht und alle Prozesse der P-Freisetzung, P-Bindung und P-Aufnahme durch die Pflanze kontrolliert. Deshalb ist bei einer Anwendung dieser Methoden ohne Berücksichtigung der Bodenspezifika die Bewertung der Pflanzenverfügbarkeit des Bodenphosphates wie auch der Wirkung einer P-Düngung nur unpräzise möglich.

Amorphe Fe- und Al-Oxide beeinflussen wesentlich die P-Bindung und P-Dynamik in karbonatfreien Böden. Ihr Gehalt ist in der Regel eng verbunden mit der Bodengenese und ließe sich deshalb nach bodengeologischen Kriterien für die landwirtschaftlichen Standorte ableiten. Daneben existieren bereits Untersuchungen zum Einsatz nichtinvasiver Verfahren der Bodenuntersuchung (VERIS, EM 38) zur Ermittlung der kleinräumigen Variabilität der Al+Fe-Gehalte (Quenum et al., 2012). Es sollte deshalb überprüft werden, ob sich der Gehalt an oxalatlöslichem Eisen und Aluminium ($\text{Fe}_{\text{ox}}+\text{Al}_{\text{ox}}$), der das aktive Fe und Al der amorphen Oxide erfasst, als Klassifikationsmerkmal zu einer präziseren Bewertung des P-Status dieser Böden eignet. Dazu müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- 1) $\text{Fe}_{\text{ox}} / \text{Al}_{\text{ox}}$ -Gehalte geben Bodenunterschiede stabil, unbeeinflusst von Düngungsmaßnahmen wieder.
- 2) Unter Berücksichtigung des $\text{Fe}_{\text{ox}} / \text{Al}_{\text{ox}}$ -Gehaltes ist die Beziehung von verschiedenen Parametern der P-Intensität und P-Quantität zu den Bodentestwerten (hier: P_{DL}) enger, d. h. präziser. Die Wertebereiche der untersuchten P-Parameter sind kleiner und spezifisch für bestimmte $\text{Fe}_{\text{ox}}/\text{Al}_{\text{ox}}$ -Gehalte.

2. Material und Methoden

P-Bodentestwerte (DL-Methode) und verschiedene Parameter der P-Intensität und P-Quantität (Übersicht 1, ausführlich in Schweitzer und Baumecker, 2012) wurden in ausgewählten Düngungsvarianten ($n = 146$) von 21 Dauerdüngungsversuchen in Deutschland und Tschechien ermittelt. Das Probenmaterial ist durch eine hohe Variation der Boden- und Standorteigenschaften (Übersicht 2) sowie durch stark differenzierte P-Gehalte aufgrund langfristig unterschiedlicher Düngung (21-94 Jahre) gekennzeichnet.

Übersicht 1: Ermittelte Boden-Parameter

P-Bodentestwerte:	P_{DL} (mg kg^{-1})
Aktives Fe und Al:	oxalatlösliches $\text{Fe}_{\text{ox}} + \text{Al}_{\text{ox}}$ (mmol kg^{-1})
Austauschbares P:	P_{exch} (mg kg^{-1})
Fe/Al-assoziiertes P:	NaOH- und oxalatlösliches P: $P_{\text{NaOHan}}, P_{\text{ox}}$ (mg kg^{-1})
Organisches P:	P_{NaOHorg} (mg kg^{-1}) P-Gleichgewichtskonzentration der Bodenlösung c_{GBI} (mg l^{-1})
Sofort-Sorption (nach 2 h):	Pufferung der P-Konzentration PU_c ($(\text{mg kg}^{-1})/(\text{mg l}^{-1})$) P-Sorptionsindex bei P-Zugabe von 100 mg kg^{-1} : PSI_{100} (mg kg^{-1})
P-Sättigungsgrad:	$\text{DPS} = P_{\text{ox}} / (0,5 * (\text{Fe}_{\text{ox}} + \text{Al}_{\text{ox}}))$

Übersicht 2: Boden- und Standorteigenschaften der Versuche

Bodenregionen (D):	Jungmoränenlandschaften, Löß- und Sandlösslandschaften, Bergland mit hohem Anteil an Magmatiten und Metamorphiten
Anbaugebiete (CZ):	Zuckerrübengebiet, Kartoffelgebiet
Höhe üNN:	40-645 m
Niederschlag:	490-900 mm (mittlere Jahressumme)
Temperatur:	6,1-9,3 °C (Jahresmittel)
Bodentextur:	s (Sand), lehmiger Sand (ls), sandiger Lehm (sl), Lehm (l), Schlufflehm (ul), Schluffton (ut), sandiger Ton (st), schluffiger Tonlehm (utl)
Bodentypen:	Regosol, Fahlerde, Parabraunerde, Schwarzerde, Braunerde, Pseudogley

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Standortbedingte Variation des oxalatlöslichen Fe- und Al-Gehaltes

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung über alle Versuche und Prüfglieder sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Versuche sind nach steigendem Versuchsmittelwert der $\text{Fe}_{\text{ox}}+\text{Al}_{\text{ox}}$ -Gehalte sortiert. Die Varianzanalyse (ANOVA mit $\alpha < 0,05$) für 8 Versuche in Deutschland (Nr. 1-4, 7, 10, 11, 21) ergab, dass sich über 40 Jahre gleichbleibend unterschiedliche Düngung signifikant auf den P_{DL} -Gehalt und in fast allen Fällen auch signifikant auf die weiteren P-Parameter auswirkt. Der oxalatlösliche $\text{Fe}_{\text{ox}}+\text{Al}_{\text{ox}}$ -Gehalt wird nicht durch Düngung beeinflusst (Abb. 1). Seine Variation über eine Spannweite von 29-258 mmol kg^{-1} ist auf Boden- und Standortunterschiede zurückzuführen.

Eine eindeutige bodengenetiche Begründung des unterschiedlichen $\text{Fe}_{\text{ox}}+\text{Al}_{\text{ox}}$ -Gehaltes vor allem im mittleren Wertebereich ist nicht möglich. Deshalb wurde eine rein quantitative Bildung von 5 Klassen mit einer Spannweite von 30 mmol kg^{-1} vorgenommen (Tab. 1). Die Klassen 1-4 sind mit 4-6 Versuchen und 30-44 Prüfgliedmittelwerten annähernd gleichmäßig besetzt. Extrem hohe $\text{Fe}_{\text{ox}}+\text{Al}_{\text{ox}}$ -Gehalte weist nur ein Versuch im sächsischen Erzgebirge (Lauterbach) auf.

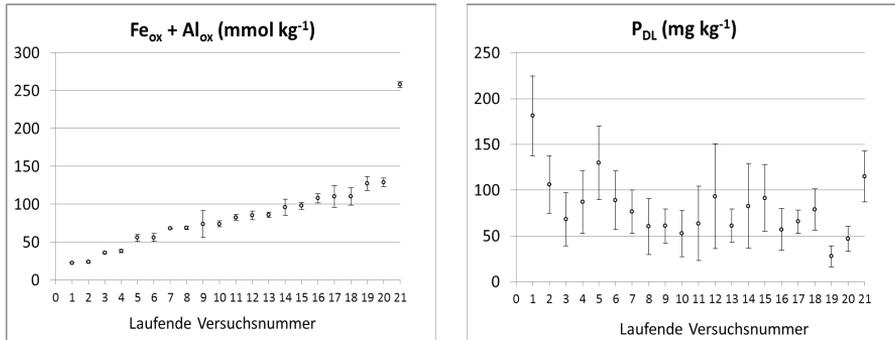


Abb. 1: Oxalatlösliche Fe und Al-Gehalte ($Fe_{ox}+Al_{ox}$) und P_{DL} -Bodentestwerte an den Versuchsstandorten (Mittelwert) und durch Düngung bedingte Variation (SD, Balken)

Tab. 1: Gehaltsklassen für oxalatlösliches Eisen und Aluminium ($Fe_{ox}+Al_{ox}$ in $mmol\ kg^{-1}$) für die untersuchten Böden (in Klammern: Bodenart im Ap)

$Fe_{ox}+Al_{ox}$	n_{Orte}	n_{PG}	Böden
≤ 40	4	30	Regosole (s), Braunerden, Fahlerden (s, ls) der Jungmoränengebiete
$>40-70$	6	30	Parabraunerden (sl, l), Schwarzerden (sl, l, stl)
$>70-100$	6	44	Parabraunerden (l, sl, ul), Braunerden (sl),
$>100-130$	5	35	Pseudogley (l), Schwarzerde (st)
250-270	1	7	Basenarme Braunerde (ul) des Berglandes

3.2 Beziehung von Parametern der P-Intensität und P-Quantität zu P-Bodentestwerten

Ohne Berücksichtigung der $Fe_{ox}+Al_{ox}$ -Gehalte besteht zwischen verschiedenen Boden-P-Parametern und dem P_{DL} -Gehalt eine unterschiedlich enge Beziehung (Tab. 2). Ermittelte hohe Bestimmtheitsmaße bringen nicht in jedem Fall deutliche Unterschiede zwischen den Böden zum Ausdruck (Tab. 2, Abb. 2: c_{GBL} vs. P_{DL} , P_{NaOHan} vs. P_{DL}). Mit Berücksichtigung der $Fe_{ox}+Al_{ox}$ -Gehalte konnte eine deutliche Verbesserung der Regression für einige P-Parameter und einige Klassen erzielt und die Aussagen zum P-Haushalt präzisiert werden (Tab. 2 und

3, Abb. 2). Deutlich abzugrenzen sind Böden mit extrem niedrigen und mit extrem hohen $Fe_{ox}+Al_{ox}$ -Gehalten.

Tab.2: Bestimmtheitsmaße der Regressionsfunktionen für die Beziehung von Parametern der P-Intensität und P-Quantität (y) zum P_{DL} -Gehalt (x) ($Fe_{ox}+Al_{ox}$ -Gehalt in $mmol\ kg^{-1}$)

$Fe_{ox}+Al_{ox}$	P_{exch}	P_{NaOHan}	P_{ox}	c_{GBL}	$lg\ PU_c$	PSI_{100}
Funktion $y=f(x)$						
	$Ln\ x$	x	x	x, x^2	$Ln\ x$	$Ln\ x$
alle Werte	0,63	0,63	0,10	0,61	0,33	0,21
≤ 40	0,70	0,14	0,75	0,81	0,74	0,52
>40-70	0,73	0,37	0,14	0,66	0,62	0,61
>70-100	0,68	0,35	0,54	0,42	0,26	0,02
>100-130	0,69	0,00	0,17	0,59	0,47	0,32
250-270	0,98	0,93	0,84	0,43	0,27	0,49

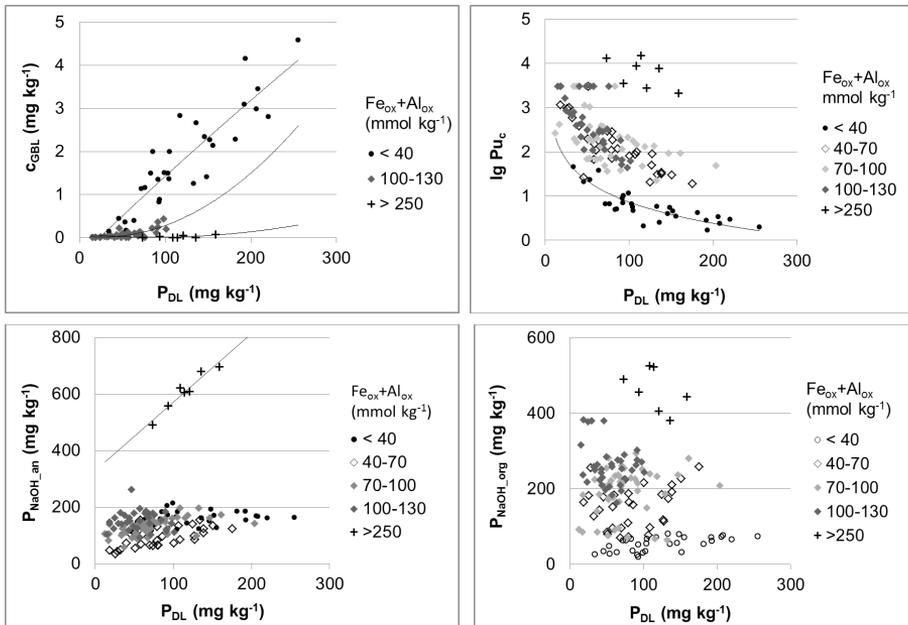


Abb. 2: Beziehung von Boden-P-Parametern zum P_{DL} -Gehalt

Tab. 3: Spannweite von Parametern der P-Intensität und-Quantität differenziert nach dem oxalatlöslichen Fe- und Al-Gehalt (Spannweite der P_{DL} -Gehalte Klasse B bis D)

$Fe_{ox}+Al_{ox}$	P_{DL}	P_{exch}	P_{NaOHan}	$P_{NaOHorg}$	P_{ox}
$Mmol\ kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$				
alle Werte	34-119	21-108	48-621	19-524	143-1253
≤ 40	34-117	21-94	104-214	19-70	221-406
$>40-70$	32-109	24-84	48-153	69-221	143-463
$>70-100$	34-119	22-108	57-196	67-293	244-448
$>100-130$	32-102	31-85	92-261	161-379	222-522
250-270	73-114	43-69	490-621	455-524	1056-1253
$Fe_{ox}+Al_{ox}$	DPS	C_{GBL}	PU_c	PSI_{100}	
$mmol\ kg^{-1}$	-	$mg\ l^{-1}$	$(mg\ kg^{-1})/(mg\ l^{-1})$	$mg\ kg^{-1}$	
alle Werte	0,12-0,96	0,00-2,83	2->15000	5-100	
≤ 40	0,39-0,96	0,14-2,83	2-66	5-42	
$>40-70$	0,15-0,38	0,00-0,57	26->3000	52-86	
$>70-100$	0,18-0,33	0,00-0,59	35->3000	51-86	
$>100-130$	0,12-0,31	0,00-0,43	44->3000	57-90	
250-270	0,27-0,31	0,00-0,03	3469->15000	99-100	

Extrem niedrige $Fe_{ox}+Al_{ox}$ -Gehalte von $<40\ mmol\ kg^{-1}$ und gleichzeitig sehr niedrige Ton- und Humusgehalte besitzen die Sandböden der Jungmoränenlandschaften (vgl. Tab. 1). Die ermittelten hohen P-Konzentrationen von $>0,03\ mg\ l^{-1}$ ab P_{DL} -Klasse B weisen auf eine überwiegend unspezifische P-Sorption hin, die auf die geringe P-Sorptionskapazität, die allgemein hohe P-Sättigung und damit geringe P-Pufferung zurückzuführen ist (Tab. 3). Die durch Lookman et al. (1996) für vergleichbare Böden nachgewiesene lineare Beziehung zwischen P-Sättigungsgrad und P-Konzentration der Bodenlösung konnte mit $r^2 = 0,71$ bestätigt werden. Insgesamt sind diese Böden durch eine hohe P-Mobilität gekennzeichnet. Sie wird durch den P_{DL} -Gehalt, der in einer engen Beziehung zur P-Konzentration der Bodenlösung und zur P-Pufferung steht, sehr gut wiedergegeben (Tab. 2 und Abb. 2: C_{GBL} vs. P_{DL} , $r^2 = 0,81$). Zusätzlich sollte das hohe P-Nachliefervermögen berücksichtigt werden, zu dem in diesen Böden auch die beachtlichen Reserven an Fe- / Al-assoziiertem Phosphat beitragen (Schweitzer und Baumecker, 2012).

Ebenso deutlich abzugrenzen ist die basenarme Braunerde des Berglandes mit sehr hohen $\text{Fe}_{\text{ox}}+\text{Al}_{\text{ox}}$ -Gehalten von $> 250 \text{ mmol kg}^{-1}$. Spezifisch ist die extrem niedrige P-Konzentration der Bodenlösung von $0-0,03 \text{ mg l}^{-1}$, die durch die extrem hohe P-Pufferung (Tab. 3) auch bei ansteigendem P_{DL} -Gehalt quasi stabil gehalten wird (Abb. 2). Zugeführtes Phosphat wird sofort nahezu vollständig sorbiert ($\text{PSI}_{100} > 99 \text{ mg kg}^{-1}$). Im Vergleich zu Böden mit niedrigem $\text{Fe}_{\text{ox}}+\text{Al}_{\text{ox}}$ -Gehalt ist bei gleicher P-Sättigung die P-Konzentration der Bodenlösung deutlich geringer (Tab. 3). Das bestätigt Ergebnisse aus der Literatur (Beauchemin und Simard, 1999), die zeigen, dass P-Sättigungsgrad und P-Mobilität in einem bodenspezifischen Verhältnis stehen. Bei hohem Gehalt an aktivem Fe/Al verbunden mit hohem Fe/Al-P-Gehalt (Tab 3: P_{NaOHan} , P_{ox}) und gleichzeitig geringer P-Löslichkeit ist davon auszugehen, dass die P-Dynamik in diesem Boden durch spezifische Fe- und Al-Bindungen und/oder durch okkludiertes Phosphat dominiert wird. Der P_{DL} -Gehalt korreliert mit dem Gehalt an Fe / Al-assoziiertem Phosphat (Tab. 2, Abb. 2: P_{NaOHan} vs. P_{DL} , Tab. 3: P_{NaOHan} , P_{ox}), jedoch nicht mit der P-Konzentration der Bodenlösung (Abb. 2: c_{GBL} vs. P_{DL}). Die Bewertung des P-Zustandes mittels P_{DL} -Methode sollte spezifisch unter Berücksichtigung von Faktoren der Mobilisierung des Fe/Al-assoziierten P-Pools erfolgen. Zu klären ist außerdem die Verfügbarkeit des hohen organisch gebundenen P-Vorrates (Tab. 3, Abb. 2: $\text{P}_{\text{NaOHorg}}$ vs. P_{DL}).

Nicht eindeutig differenziert werden können die Böden mit mittleren $\text{Fe}_{\text{ox}}+\text{Al}_{\text{ox}}$ -Gehalten. Diese Gruppe ist sehr heterogen zusammengesetzt. Die P-Dynamik dieser Böden wird durch den Tongehalt, den Humusgehalt und durch den aktiven Fe/Al-Gehalt sowie durch die Wechselwirkung dieser Faktoren bedingt sein (pH-Werte liegen für die Versuchsböden im optimalen Bereich).

Der Gehalt an organisch gebundenem Phosphat nimmt im Trend mit steigendem $\text{Fe}_{\text{ox}}+\text{Al}_{\text{ox}}$ -Gehalt zu (Tab. 3). Jedoch wäre auch hier die Wechselwirkung von Humus- und Fe/Al-Gehalt zu prüfen. Zwischen dem durch die DL-Methode bestimmten Orthophosphat und dem organisch gebundenen Phosphat besteht erwartungsgemäß keine Beziehung (Abb. 2: $\text{P}_{\text{NaOHorg}}$ vs P_{DL}).

4. Zusammenfassung

Durch die Berücksichtigung des oxalatlöslichen Fe- und Al-Gehaltes kann der P-Haushalt karbonatfreier Böden mit extrem geringen Gehalten und

vorwiegend unspezifischer P-Bindung und von Böden, in denen aufgrund extrem hoher Gehalte die spezifische Fe- und Al-P-Bindung dominiert, präzisiert werden. In Böden mit mittleren Gehalten an oxalatlöslichem Fe und Al müssen weitere Faktoren wie der Tongehalt und der Humusgehalt und ihre Wechselwirkung mit dem Gehalt an aktivem Fe und Al berücksichtigt werden.

5. Literaturangaben

- Beauchemin, S., Simard, R.R., 1999: Soil phosphorus saturation degree. Review of some indices and their suitability for P management in Quebec, Canada. *Canadian Journal of Soil Science* 79, 615-625.
- Lookman, R., Jansen, K., Merckx, R., Vlassak, K., 1996: Relationship between soil properties and phosphate saturation parameters. A transect study in northern Belgium. *Geoderma* 69, 265-274.
- Quenum, M., Nolin, M.C., Bernier, M., 2012: Digital mapping of soil phosphorus maximum sorption capacity. *Canadian Journal of Soil Science* 92, 733-750.
- Schweitzer, K., Baumecker, M., 2012: Hohe Phosphornachlieferung trotz dauerhafter P-Unterversorgung: Folgen unterlassener P-Düngung für den P-Zustand und den Ertrag eines trockenen Sandbodens. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 68, 331-340. Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Danksagung

Die Probenahme wurde durch folgende Institutionen ermöglicht und unterstützt: Zentrales Landwirtschaftliches Kontroll- und Untersuchungsamt der Tschechischen Republik (UKZUZ), LELF Brandenburg, UFZ Halle-Leipzig GmbH, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Rheinische Friedrichs-Wilhelms-Universität Bonn, Versuchsstützpunkt Lauterbach / Erzgebirge, Humboldt-Universität zu Berlin/Lehr- und Forschungsstation.

Langzeitbetrachtung der Düngekalkwirkung auf die Phosphatverfügbarkeit im Boden

V. König¹, M. Kerschberger²,

¹Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, ²Weimar

1. Einleitung

Die Phosphat-Versorgung (pflanzenverfügbares P) der Böden ist in Thüringen in den vergangenen 20 Jahren infolge negativer P-Bilanzen bei der landwirtschaftlichen Nutzung drastisch zurückgegangen. 50 % der Ackerböden haben die P-Gehaltsklasse (GHK) A und B. Der Flächenanteil von 23 % mit unzureichendem Kalkversorgungszustand (pH-Klassen A und B) ist ebenfalls beachtlich. Bei den Thüringer Grünlandflächen beträgt der Anteil 67 % in den P-GHK A und B sowie 30 % in den pH-Klassen A und B. In diesem Kontext wird in der Praxis die Frage diskutiert, ob die Kalkung von Böden mit niedriger Bodenreaktion die Phosphatverfügbarkeit durch Bildung von Calcium-Phosphaten einschränkt. Dabei besteht häufig die Ansicht, dass sich mit der Zufuhr von basisch wirksamer Substanz durch Kalkdüngung schwerlösliche Calcium(Ca)-Phosphate bis hin zum weitgehend unlöslichen Apatit bilden. Dieser Prozess ist abhängig von den allgemeinen Standortfaktoren der Böden wie geologische Herkunft und bodenphysikalische Struktur. Dazu zählen aber auch als wesentliche Faktoren der Tongehalt und die Bodenreaktion. Die Bodenreaktion ist von den basisch wirksamen Substanzen (Calcium-/Magnesium-Hydroxide und -Carbonate) abhängig und wird bei der Kalkbedarfsermittlung analytisch durch den pH-Wert bestimmt.

Tatsache ist, dass sich aus den mit der Düngung dem Boden zugeführten, in der Regel leichtlöslichen, pflanzenverfügbaren Düng-Phosphaten Bodenphosphate mit unterschiedlichem Fixierungsgrad (labil- bis schwerlöslich) bilden. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass die Fixierung von wasserlöslichem Phosphat als labiles bzw. schwer lösliches Phosphat schneller erfolgt als der umgekehrte Prozess.

Unter den bodenchemischen Milieubedingungen von sauren Böden entstehen infolge der erhöhten Gehalte an Aluminium(Al)- und Eisen(Fe)-Ionen schwerlösliche Al- bzw. Fe-Phosphate. In Böden mit neutraler und alkalischer Bodenreaktion sind es Ca-Phosphate. Kerschberger und Marks (1974) haben analytisch

nachgewiesen, dass die Anteile der Bodenphosphatformen am Gesamtphosphat wesentlich von der Bodenreaktion und vom Tongehalt abhängen (Tab. 1). Der Tongehalt ist ein Merkmal für die Sorptionskapazität eines Bodens und insofern auch mit dem P-Vorrat im Boden korreliert. Die bodenchemische Wirksamkeit einer Kalkdüngung in sauren Böden besteht u. a. darin, dass die Bildung von Fe- und Al-Phosphaten behindert bzw. reversibel wird.

Tab. 1: Mittlere Bodengehalte der wichtigsten P-Fractionen

Bodenarten- gruppe	Anzahl Versu- che	mittlerer pH-Wert	% -Anteile Bodenphosphatformen ¹			
			leicht lösl. P	Al-P	Fe-P	Ca-P
Sand	5	5,5	3	55	25	17
schwach lehmiger Sand	4	5,6	2	40	40	18
stark lehmiger Sand	2	5,7	2	35	43	20
sandig schluffiger Lehm	5	6,2	2	25	25	48
lehmiger Ton bis Ton	1	7,1	3	20	7	70

¹Summe der vier Fraktionen = 100 % gesetzt; verwendete Extraktionsmittel: NH_4Cl → leicht lösliche Phosphate; NH_4F → Al-Phosphate; NaOH → Fe-Phosphate; H_2SO_4 → Ca-Phosphate

Das beruht auf der besonderen Affinität von Fe- und Al-Ionen zu den aus den Düngekalken resultierenden Hydroxid-Ionen. Dieser dynamische Prozess der Fixierung und Freisetzung von Phosphationen bestimmt letztendlich die diesbezügliche Wirkung von Düngekalk. Sie kann anhand der in der Bodenuntersuchung angewendeten CAL- bzw. DL-Methode (Calciumacetat-Laktat- bzw. Doppellaktat-Methode) zur Bestimmung der pflanzenverfügbaren P-Gehalte im Boden festgestellt werden. Dafür sind Kalksteigerungsversuche auf Acker- und Grünland besonders geeignet.

2. Ergebnisse von Ackerlandversuchen

Aus umfangreichen Untersuchungen (28 Versuche/8 Jahre Laufzeit; 23 Versuche/4 Jahre Laufzeit) zur Ermittlung des Kalkbedarfs von Ackerböden Ostdeutschlands resultieren Erkenntnisse zur Veränderung der pflanzenverfügba-

ren P-Gehalte im Boden nach der Kalkdüngung (Kerschberger, 2011). Hierzu wurden die Prüfglieder ohne Phosphordüngung herangezogen. In den achtjährigen Versuchen ist bei 25 von 28 Versuchen eine Zunahme des doppellaktat-löslichen P-Gehalts (P_{DL}) mit steigendem pH-Wert festgestellt worden. Dieser Effekt war in 15 Versuchen statistisch abgesichert nachweisbar. Je mehr der pH-Wert eines sauren Bodens durch Kalkung angehoben wurde, umso deutlicher war auch die Phosphatgehaltszunahme. Im Bereich von pH 4 bis pH 7 resultierte eine P-Gehaltszunahme von 1 mg/100 g Boden bezogen auf eine pH-Einheit. Auf den kalkbedürftigen Standorten lag in den ersten drei bis vier Jahren nach der Kalkung die höchste Zunahme des Phosphatgehalts vor. Nach Überschreitung der höchsten Neutralisationswirkung und zurückgehenden pH-Werten stagnierten die P-Gehalte bzw. nahmen wieder leicht ab.

Ähnliche Ergebnisse erbrachten die Ackerlandversuche mit vierjähriger Laufzeit (Abb. 1).

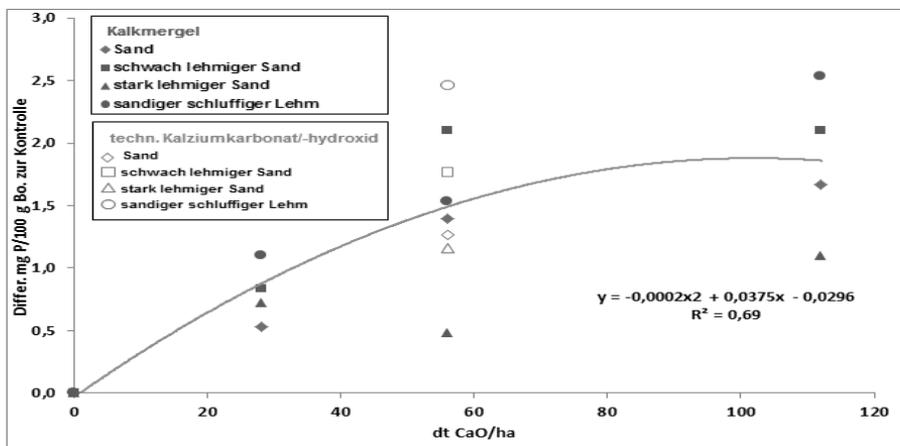


Abb. 1: Einfluss der durch gesteigerte Kalkdüngung erhöhten Bodenreaktion auf die P_{DL} -Gehalte im Boden in Ackerland – Versuchsserie B (23 Feldversuche; Mittelwerte der Bodenartgruppen)

Hier erfolgte die Bodenuntersuchung im 4. Jahr nach der Kalkdüngung. Aus den analogen Trends kann geschlossen werden, dass die Erhöhung der P-Gehalte bereits in den Vorjahren eingetreten ist. Bei rd. 75 % der 23 Versuche stieg der pflanzenverfügbare P-Gehalt im Boden nach der Kalkdüngung

mit natürlichem Kalkmergel bzw. technischem Kalziumkarbonat/-hydroxid (aus der Ammoniaksynthese) an. Selbst bei Ausgangs-pH-Werten des Bodens im neutralen Bereich von pH 6,0 bis 6,5 war die Phosphatgehaltserhöhung noch bedeutsam. Daraus resultiert, dass die Erhaltungskalkung u. a. auch ein Beitrag zur P-Versorgung der Nutzpflanzen ist.

Im Mittel der Versuchsserien betrug die Erhöhung des DL-löslichen Phosphatgehalts in Folge der Kalkdüngung 2-3 mg/100 g Boden. Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass auf fast allen Böden mit pH-Werten unterhalb des optimalen pH-Bereichs (pH-Klasse C) durch Kalkzufuhr der pflanzenverfügbare Phosphatgehalt des Bodens im Laufe der Jahre mehr oder weniger deutlich angehoben wird.

Im Fazit ist für die Versuche auf Ackerland festzustellen, dass die allgemein positive Wirkung der Kalkdüngung auf die Bodenfruchtbarkeit auch die P-Dynamik betrifft.

3. Ergebnisse von Grünlandversuchen

Zur Fragestellung des Zusammenhangs zwischen P-Dynamik im Boden und Kalkdüngung konnten zwei Kalksteigerungsversuche mit 15-jähriger Laufzeit der TLL Jena genutzt werden. Die Versuche sind 1996 zur Prüfung der Immobilisierungswirkung von gesteigerten Düngerkalkmengen auf mit Cadmium (Cd) belasteten Standorten (stark sandiger Lehm bzw. sandiger schluffiger Lehm) angelegt worden (Abb. 2, Tab. 3).

10	8	4	7	3	6	2	5	1	9	Block A
9	7	3	5	1	8	4	6	2	10	Block B
10	5	1	6	2	7	3	8	4	9	Block C
9	6	2	8	4	5	1	7	3	10	Block D

Kontrolle (Ohne Kalk u. WWS) Kalk (1996)
 WWS (2002) Kalk(1996)/WWS(2002)

Abb. 2: Übersicht: Versuchsplan

Im Jahr 2002 wurde der Versuchsplan durch Teilung sowie Erweiterung der Parzellen modifiziert. Damit sollte einerseits die langzeitliche Kalkwirkung ermittelt und andererseits die Immobilisierungswirkung eines kalkhaltigen Eisenoxidschlammes (WWS) geprüft werden. WWS fällt bei der Trinkwasseraufbereitung an. Die Anwendung des WWS erfolgte in drei Steigerungsstufen (Berechnungsbasis 0,5 %, 0,75 %, 1 % Fe in der obersten 5-cm-Bodenschicht) mit der Zielstellung, eine Cd-Immobilisierung durch Fe-Ionenüberschuss einzuleiten. Der WWS ist im Gegensatz zum Kalk in die oberste Bodenschicht eingearbeitet worden. Es lagen somit ab 2002 bis 2011 10 Prüfglieder vor, mit denen neben der eigentlichen Versuchsfrage Cd-Immobilisation auch einerseits die alleinige Kalkwirkung und andererseits die kombinierte Kalk- und FeO-Wirkung des WWS auf die P-Dynamik im Boden geprüft werden konnte.

Tab. 2: Versuchsplan eines Grünlandversuchs

Prüfglied	Anwendung	Anlagejahr	CaOdt/ha	Fe%
1 (Kontrolle)	-	1996	-	-
2	Kalk	1996	63	-
3	Kalk	1996	140	-
4	Kalk	1996	245	-
5	WWS	2002	104	1
6	Kalk/WWS	1996/2002	63/104	1
7	Kalk/WWS	1996/2002	140/104	1
8	Kalk/WWS	1996/2002	245/104	1
9	WWS	2002	75	0,75
10	WWS	2002	161	1,5

Durch die Anwendung des eisenhaltigen WWS war sowohl eine Cd- als auch eine P-immobilisierende Wirkung zu erwarten. Das ist bei Klärschlämmen mit Fe-haltigen P-Fällungsmitteln zu beachten, die eine reduzierte P-Verfügbarkeit haben. In diesem Zusammenhang war relevant, inwieweit der ebenfalls im WWS enthaltene Kalk die P-Immobilisierung reduzieren konnte.

4. Einfluss der Kalkung auf die verfügbaren P-Gehalte im Boden (Prüfglieder 1 bis 4)

In Abbildung 3 ist ersichtlich, dass die durch gesteigerte Kalkgaben erhöhte Bodenreaktion (pH-Werte) im Mittel in der 2. Hälfte der 15-jährigen Versuchslaufzeit die verfügbaren P-Gehalte im Boden deutlich angehoben hat (Tab. 4).

Dieser Zusammenhang ist bei den Prüfgliedern 2 bis 4, die nur Kalk erhalten haben, am stärksten ausgeprägt. Die pH-Werte sind auch in der zweiten Hälfte der 15-jährigen Versuchslaufzeit noch deutlich differenziert.

Bezüglich der bei Versuchsanlage verabreichten teilweise sehr hohen und über das Maß der guten fachlichen Praxis hinausgehenden Kalkgaben (Prüfgl. 3 und 4) ist zu berücksichtigen, dass keine landwirtschaftliche Versuchsfrage bestand. Zwischen der Bodenschicht 0-10 cm und 11-20 cm bestehen nahezu keine Unterschiede (Tab. 4). Die pH-Unterschiede der Prüfglieder ohne Kalk und niedrige Kalkgabe zu den hoch gekalkten Prüfgliedern sind statistisch gesichert.

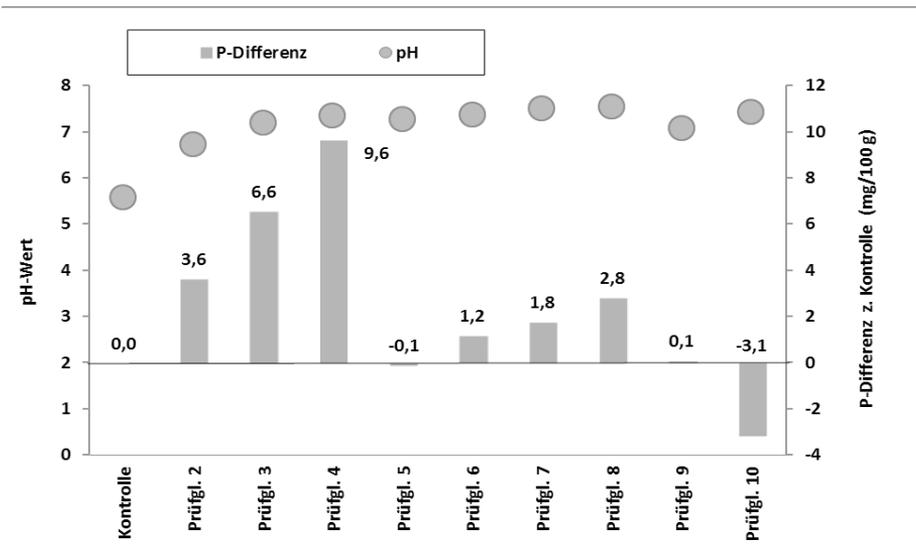


Abb. 3: Einfluss von pH-Wert und Kalk-/MWS-Behandlung auf die P_{CAL} -Gehalte im Vergleich zur Kontrolle in 10 cm Bodentiefe (Mittel 2003-2011; stark sandiger Lehm)

Die verfügbaren P-Gehalte weisen in der 10-cm-Bodenschicht deutliche Unterschiede zwischen den Prüfgliedern auf. Die Differenzen sind statistisch gesichert. Bei diesen Prüfgliedern resultiert aus den P_{CAL} -Bodengehalten in der 10-cm-Bodenschicht eine Anhebung der verfügbaren P-Gehalte von 5,6 mg/100 g Boden je pH-Einheit.

In der 20-cm-Bodenschicht ist ebenfalls noch eine Graduierung in Abhängigkeit von den pH-Werten zu erkennen. Allerdings sind die Unterschiede zwischen den Prüfgliedern wesentlich geringer als im Oberboden und nicht statistisch gesichert. Die relativ hohen P-Gehalte insbesondere in der 10-cm-Bodenschicht sind darauf zurückzuführen, dass zu allen Versuchspartzen im Gegensatz zu den oben beschriebenen Ackerlandversuchen im Rahmen einer NPK-Düngung jährlich eine P-Düngung von 52 kg P/ha verabreicht wurde. Aus den stark differenzierten P-Gehalten zwischen den beiden Bodenschichten resultiert auch, dass im Unterschied zur Kalkdüngewirkung keine wesentliche Angleichung der Gehalte stattgefunden hat.

Tab.3: Mittlere pH-Werte und P_{CAL} -Gehalte (Vers.jahre 2003-2011; stark sandiger Lehm)

Prüfglied	pH-Werte		P_{CAL} -Gehalte	
	0-10 cm	11-20 cm	0-10 cm	11-20 cm
Kontrolle	5,6	5,8	8,2	3,4
2	6,7	6,7	11,8	4,2
3	7,2	7,1	14,8	4,9
4	7,3	7,2	17,8	5,5
5	7,3	7,0	8,1	3,8
6	7,3	7,2	9,4	4,1
7	7,5	7,3	10,0	4,4
8	7,5	7,3	11,0	4,9
9	7,1	7,0	8,3	4,1
10	7,4	7,3	5,1	3,4
GD (Tuk.5%)	0,2	0,2	1,5	0,8

5. Einfluss von kombinierter Kalk- und Eisenoxidzufuhr (Prüfgl. 5 bis 10)

Die pH-Werte in der 10-cm-Bodenschicht sind durch die zusätzliche Kalkzufuhr des WWS im Jahr 2002 auf das hohe pH-Niveau von $> 7,0$ angehoben bzw. gehalten worden. Die Neutralisationswirkung des Kalkes im WWS ist besonders bei den Prüfgliedern 5, 9 und 10 im Vergleich zum pH-Wert der Kontrolle (pH 5,6) erkennbar (Tab. 4). Der Kalk im WWS hat allerdings die pH-Werte der Prüfglieder 7 bis 9 mit bereits bestehender Kalkwirkung aus der 1. Hälfte der Versuchslaufzeit nicht weiter angehoben. Die pH-Unterschiede zwischen den Prüfgliedern sind aufgrund der geringen Differenzen nicht statistisch gesichert. Lediglich der pH-Anstieg im Vergleich zur Kontrolle ist signifikant. Auch bei diesen Prüfgliedern bestehen hinsichtlich der pH-Werte keine bemerkenswerten Unterschiede zwischen den beiden Bodenschichten.

Die verfügbaren P-Gehalte sind in der Bodenschicht 0-10 cm teilweise signifikant um 20 % bis 38 % niedriger als bei den ausschließlich gekalkten Parzellen. Das ist auf die immobilisierende Wirkung des Eisenoxids im WWS zurückzuführen. Im Vergleich der Kontrolle und Prüfglied 5 wird das deutlich. Hier hat die immobilisierende Wirkung der Fe-Verbindungen im Boden die mobilisierende Wirkung des Kalkes bezüglich der verfügbaren P-Gehalte trotz hoher pH-Werte bei Prüfglied 5 aufgehoben. Die höchste immobilisierende Wirkung ist erwartungsgemäß bei Prüfglied 10 mit der höchsten Fe-Zugabe aufgetreten, bei dem der P-Gehalt unter das Niveau der Kontrolle abgesenkt worden ist. In der Bodenschicht 11-20 cm sind die P_{CAL} -Gehalte weitgehend analog wie im Oberboden differenziert. Das Gehaltsniveau ist ähnlich wie bei den ausschließlich gekalkten Parzellen.

6. Einfluss der Kalk- und Eisenoxidaufbringung auf die P-Gehalte in den Pflanzen

Die P-Gehalte in den Pflanzen liegen aufgrund der jährlichen Düngung generell im ausreichenden Gehaltsbereich. Sie unterscheiden sich zwischen den Prüfgliedern mit ausschließlicher Kalkung (Prüfgl. 2 bis 4) und der Kontrolle nicht wesentlich. Gleiches gilt zwischen den Prüfgliedern mit kombinierter Kalk-/FeO-Wirkung.

Tab. 4: Mittlere P-Gehalte (% i. d. TM) in den Pflanzen (Vers.jahre 2003-2011; stark sandiger Lehm)

	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	Gesamt
Kontrolle	0,34	0,40	0,37
2	0,34	0,42	0,37
3	0,34	0,38	0,37
4	0,34	0,41	0,37
5	0,31	0,38	0,34
6	0,31	0,39	0,35
7	0,31	0,38	0,34
8	0,31	0,38	0,34
9	0,31	0,38	0,34
10	0,30	0,36	0,33
GD (Tuk. _{5%})	0,02	0,03	0,01

Statistisch gesicherte Unterschiede bestehen allerdings zwischen den Prüfgliedern 1 bis 4 einerseits und 5 bis 10 andererseits. Das bestätigt die Einschränkung der P-Verfügbarkeit durch die immobilisierende Wirkung des FeO. Analoge Ergebnisse sind auch auf dem zweiten Versuchsstandort (sandiger schluffiger Lehm) festgestellt worden.

7. Schlussfolgerungen

Die Erhöhung der Bodenreaktion durch Kalkdüngung hat sowohl auf dem Acker als auch auf dem Grünland die Verfügbarkeit des Phosphors gemessen anhand der P_{DL} - bzw. P_{CAL} -Gehalte im Boden erhöht. Ansteigende pH-Werte im Bereich von pH 4 bis pH 7 hatten ansteigende P-Gehalte im Boden zur Folge. Das ist ein wichtiger Aspekt der ertragsverbessernden Wirkung durch Aufkalkung versauerter Böden. Weiterhin ist es ein Argument für die Notwendigkeit der Erhaltungskalkung im optimalen pH-Bereich. Ein Überschuss an Fe-Ionen im Boden senkt die P-Pflanzenverfügbarkeit.

8. Literaturangaben

Kerschberger, M., Marks, G., 1974: Beitrag zur Ermittlung des P-Düngebedarfs und des pflanzenverfügbaren Phosphats in Ackerböden der DDR. Akad. D. Landwirtsch.wissensch., Ber. Pflanzenprod., 225 S.

Kerschberger, M., 2011: Mit Kalk den Phosphor locken. Landwirtschaftliches Wochenblatt Bauernzeitung, 16. W., 20-21.

Pflanzenverfügbarkeit von Phosphaten aus Klärschlamm- und Tiermehlaschen nach Aufschluss in flüssiger Konverterschlacke

M. Rex¹, P. Drissen², S. Bartsch³, J. Breuer⁴, J. Pischke⁵

¹Arbeitsgemeinschaft Hüttenkalk e. V., Duisburg, ²FEhS-Institut für Baustoff-Forschung, Duisburg, ³ERICH FRIEDRICH Hüttenservice GmbH, Salzgitter, ⁴RETERRA Service GmbH, Erfstadt, ⁵Salzgitter Flachstahl GmbH, Salzgitter

1. Einleitung

In der Verwertung von Phosphaten aus Aschen der Klärschlamm- oder Tiermehlverbrennung besteht ein erhebliches Potential zum P-Recycling. Diese Thema war in den letzten Jahren und ist auch gegenwärtig Schwerpunkt verschiedener Forschungsprojekte. In dem hier vorgestellten Forschungsvorhaben im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Rohstoffintensive Produktionsprozesse“ werden die Ergebnisse von Phosphor-Anreicherungen und den Aufschlüssen phosphathaltiger mineralischer Aschen in flüssiger LD-Schlacke im Stahlwerk sowie der Wirkungsprüfungen der behandelten Schlacken im Vegetationsversuch dargestellt.

2. Material und Methoden

2.1 Phosphataufschluss

Im Schmelzlabor sowie großtechnisch im Stahlwerk wurden Aschen aus der Verbrennung von Tiermehl (TMA) und Klärschlamm (KSA) mit Konverterschlacke (LDS) eingeschmolzen bzw. in die schmelzflüssige Schlacke im Konverter oder in der Schlackenpfanne überführt (Abb. 1). Nach Erkalten der Schlacke wurde diese zerkleinert und auf den für Thomasphosphat geforderten Siebdurchgang (75 % < 0,16 mm; 96 % < 0,63 mm) vermahlen. Die mineralogische Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien sowie der angereicherten LD-Schlacken wurde röntgendiffraktometrisch ermittelt. Die mineralsäure- und citronensäurelöslichen Phosphatgehalte wurden nach den Methoden des VDLUFA (1995) bestimmt.

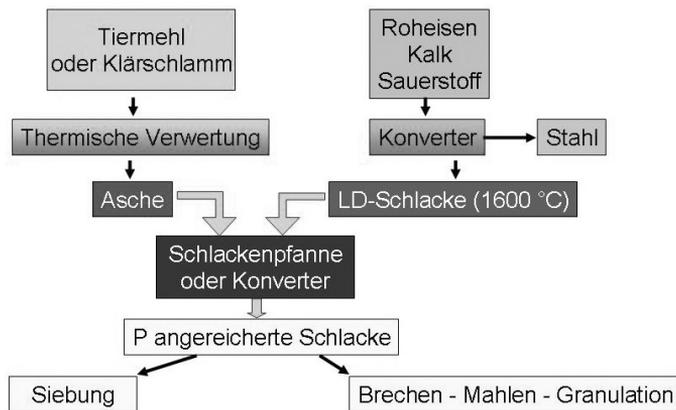


Abb. 1: Schematische Darstellung der Schlackenanreicherung mit Klärschlamm- oder Tiermehlasche im Stahlwerk

2.2 Vegetationskundliche Wirkungsprüfung

Die Wirkungsprüfung im Vegetationsversuch erfolgte zunächst mit den angereicherten Schlacken der Labor-Schmelzversuche in Riviera-Kleingefäßen (ca. 500 ml Bodenvolumen) mit Sommerweizen (Sorte: Taifun). Die im Stahlwerk angereicherten Schlacken wurden in Mitscherlich-Gefäßen mit 6 kg Bodensubstrat geprüft, zunächst mit Mais sowie in einem weiteren Versuch über zwei Vegetationsperioden mit Sommerraps „Ability“, Sommerroggen „Turbogreen“ und Welschem Weidelgras „Tigris“. Dieser Versuch wurde auf zwei Böden, einem nährstoffarmen Sandboden und einem phosphatarmen Lehmboden durchgeführt (Tab. 1).

Tab. 1: Kenndaten der Versuchsböden des zweijährigen Gefäßversuchs

Boden	pH (CaCl ₂)	P ₂ O ₅ (CAL) mg/100 g	K ₂ O (CAL) mg/100 g	Mg (CaCl ₂) mg/100 g	Humus %	Ton %	Schluff %	Sand %
Lavesum	3,8	2,6	0,77	0,33	1,2	6,1	11,7	82,2
Vörden	4,9	3,7	20	6,8	1,7	15,1	56,3	28,6

Zum Einsatz kamen eine mit Tiermehl- und drei mit Klärschlamm-Asche angereicherte Konverterschlacken (TMA/KSA, LDS/KSA) aus vier verschiedenen

Anreicherungsprozessen. Deren Wirkung auf das Pflanzenwachstum wurde mit den Wirkungen der beiden Ausgangsaschen, einem Rohphosphat sowie mit den Referenzdüngern Thomas- und Triplesuperphosphat verglichen. Die Phosphatdüngung erfolgte auf zwei Niveaus, ausgehend vom mineralsäurelöslichen Phosphatgehalt der Dünger. Die unterschiedliche Kalkzufuhr wurde mit Kohlensäurem Kalk auf ein einheitliches Niveau ausgeglichen (Tab. 2). Stickstoff, Kalium, Magnesium, Schwefel und Spurenelemente wurden einheitlich in bedarfsgerechtem Maß in allen Gefäßen verabreicht.

Tab.2: Versuchsplan des zweijährigen Gefäßversuchs mit angereicherter Konverterschlacke

Var.	P-Form	% gesamt P ₂ O ₅	%CaO basisch wirksam	P-Stufe mg P/kg	g CaO/Gef. aus P-Dünger	Kalk- ausgleich g CaO/Gef.
1	Ohne Phosphat			0	0,0	16,0
2	Triplesuperphosphat	48,2	0,0	44	0,0	16,0
3	Triplesuperphosphat	48,2	0,0	87	0,0	16,0
4	Thomasphosphat	16,7	45,0	44	1,6	14,4
5	Thomasphosphat	16,7	45,0	87	3,2	12,8
6	Klärschlammasche	21,8	13,2	44	0,4	15,6
7	Klärschlammasche	21,8	13,2	87	0,7	15,3
8	LDS/KSA 02/2012	3,7	46,8	44	7,5	8,5
9	LDS/KSA 02/2012	3,7	46,8	87	15,0	1,0
10	LDS/KSA 03/2011	3,3	46,0	44	8,4	7,6
11	LDS/KSA 03/2011	3,3	46,0	87	16,7	0,0
12	LDS/KSA 03/2010	3,9	39,3	44	6,0	10,0
13	LDS/KSA 03/2010	3,9	39,3	87	12,0	4,0
14	Tiermehlasche	26,5	25,0	44	0,6	15,4
15	Tiermehlasche	26,5	25,0	87	1,1	14,9
16	LDS/TMA 11/2010	3,4	45,0	44	7,9	8,1
17	LDS/TMA 11/2010	3,4	45,0	87	15,8	0,2
18	Rohphosphat	26,8	20,0	44	0,4	15,6
19	Rohphosphat	26,8	20,0	87	0,9	15,1

LDS/KSA : mit Klärschlammasche angereicherte LD-Schlacke

LDS/TMA : mit Tiermehlasche angereicherte LD-Schlacke

Nach dem gleichen Versuchsplan wurde die Düngung auf dem Lehmboden verabreicht mit den P-Stufen 36 bzw. 73 mg P/kg Boden.

Auf dem Versuchsstandort Marienmünster-Vörden wurde 2012 ein Feldversuch angelegt, in dem neben Triplesuperphosphat auch eine mit Klärschlammasche angereicherte Konverterschlacke als P-Dünger eingesetzt wurde. Der

Kalkausgleich erfolgte mit einem phosphatarmen Konverterkalk aus Pfannenschlacke bzw. mit kohlenurem Kalk.

3. Ergebnisse

3.1 Phosphatanreicherung

Die Anreicherung der Konverterschlacke führte zu einer Veränderung der mineralogischen Zusammensetzung (Tab. 3). Die schwer pflanzenverfügbaren, phosphathaltigen Minerale wie Apatit und Whitlockit in der Klärschlamm- und Tiermehlasche wurden aufgelöst und gingen in die Calcium-Silikophosphate über.

Tab.3: Mineralogische Zusammensetzung der Ausgangsstoffe und der angereicherten Schlacke

		Ausgangsmaterialien			Schmelzversuch	
		LDS	KSA	TMA	81%LDS + 19%KSA	81%LDS + 19%TMA
Mineral:	Formel:	Anteil in %				
Srebrodolskit	$\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$	30				25
Brownillerit	$\text{Ca}_2\text{Fe}_{1,3}\text{Al}_{0,3}\text{O}_5$				30	
Spinell	$\text{FeAl}_2\text{O}_4, \text{MgFe}_2\text{O}_4$				15	
Wüstit	FeO_x	5			20	5
Larnit	Ca_2SiO_4	50				
Freikalk	CaO	5				5
Portlandit	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	10				
Calcit	CaCO_3	< 5				
Apatit	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$			65		
Whitlockit	$\text{Ca}_{2,86}\text{Mg}_{0,14}(\text{PO}_4)_2$		25	10		
Monetit	CaHPO_4		20			
Wolfeit	$\text{Fe}_2\text{PO}_4(\text{OH})$			25		
Calcium Phosphat Silikat	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2(\text{SiO}_4)_6$				35	
Calcium Phosphat Silikat	$\text{Ca}_{15}(\text{PO}_4)_4(\text{SiO}_4)_6$					65
Quarz	SiO_2		20			
Hämatit	Fe_2O_3		25			
Ferrobustamit	$\text{Ca}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{SiO}_3$		10			

Im Labor-Schmelzversuch wurden P-Anreicherungen bis knapp 10 % P_2O_5 erreicht (Tab. 4). Dabei wiesen die mit KSA angereicherten LD-Schlacken

höhere citronensäurelösliche Anteile am Gesamt-Phosphat auf als die mit TMA angereicherten. Die P-Anreicherungen im Konverter lagen deutlich unter denen im Laborversuch (Tab. 2), da mit den gewählten Verfahren der Aschenzufuhr keine höhere Anreicherung möglich war. Zur Zeit wird ein Einblasverfahren erprobt.

Tab. 4: Phosphatgehalte der Labor-Schmelzen von LD-Schlacke mit Tiermehl- bzw. Klärschlammasche

P-Form (Anteile LDS/Aschen in %)	Probe-Nr.	% mineralisl. P ₂ O ₅	% citrsl. P ₂ O ₅	citrsl./Gesamt-P ₂ O ₅ (%)	% CaO basisch wirksam
P1 - LDS/KSA-Schmelze (81/19)	11564	4,70	4,38	93	40,9
P2 - LDS/KSA-Schmelze (67/33)	11565	7,01	6,76	96	39,0
P3 - LDS/KSA-Schmelze (57/43)	11566	9,34	8,70	93	39,7
P4 - LDS/TMA-Schmelze (89/11)	11567	5,09	4,08	80	45,7
P5 - LDS/TMA-Schmelze (81/19)	11568	8,04	6,45	80	45,8
P6 - LDS/TMA-Schmelze (75/25)	11569	9,83	6,70	68	45,3
Thomasphosphat	11570	15,66	14,64	93	44,2

LDS: LD-Konverterschlacke KSA: Klärschlammasche TMA: Tiermehlasche

3.2 Ergebnisse der Vegetationsversuche

Im ersten Gefäßversuch mit den im Labor angereicherten Schlacken stiegen die Erträge des Sommerweizens und auch dessen Phosphataufnahme durch die P-Düngung signifikant an, ohne nennenswerte Unterschiede zwischen den P-Formen (Tab. 5).

Die relativ geringen Phosphatgehalte in den im Stahlwerk angereicherten Konverterschlacken hatten in dem Gefäßversuch in Mitscherlich-Gefäßen zur Folge, dass vergleichsweise hohe Kalkmengen mit den angereicherten Produkten ausgebracht wurden, die wiederum die pH-Werte vor allem auf dem Sandboden stark anstiegen ließen (Tab. 6). Der Kalkausgleich führte zwar weitgehend zum gleichen pH-Niveau, jedoch war die basische Wirksamkeit der Tiermehlasche schwächer und die der angereicherten Schlacken stärker als nach der Bestimmung des Neutralisationswerts ermittelt. Auf dem Sandboden nahmen die pH-Werte im Verlauf der beiden Vegetationsperioden deutlich ab (Abb. 2).

Tab. 5: Erträge und Nährstoffaufnahmen von Sommerweizen (51 Tage Vegetationszeit) im Gefäßversuch (Mittelwerte aus je drei Parallelgefäßen)

Produkt	P-Stufe	Ertrag	Nährstoffaufnahme (mg/kg Boden)			pH (CaCl ₂)
	mg P/kg	(g/Gefäß)	P	Ca	Mg	pH
ohne P	0	1,25	2,66	7,53	10,33	6,19
LDS/KSA 81/19	100	2,09	7,99	10,53	13,14	5,95
LDS/KSA 67/33	100	1,80	6,16	9,12	12,48	6,07
LDS/KSA 57/43	100	1,74	5,75	9,65	13,43	6,11
LDS/TMA 89/11	100	1,94	6,97	6,90	10,58	5,94
LDS/TMA 81/19	100	1,95	6,40	7,93	11,15	5,98
LDS/TMA 75/25	100	1,72	5,21	7,62	11,73	6,05
Thomasphosphat	100	1,86	6,31	9,66	14,39	6,15
LDS/KSA 81/19	200	1,86	9,94	13,66	13,88	6,73
LDS/KSA 67/33	200	1,83	9,84	14,68	14,05	6,38
LDS/KSA 57/43	200	2,03	9,94	10,37	15,99	6,22
LDS/TMA 89/11	200	1,89	8,23	13,91	12,18	6,58
LDS/TMA 81/19	200	1,83	7,82	10,37	13,18	6,16
LDS/TMA 75/25	200	2,29	10,00	7,92	12,83	5,92
Thomasphosphat	200	1,94	10,02	10,66	15,32	6,24
GD _{5%}		0,32	1,55	2,80	2,17	0,07

Tab. 6: pH-Werte in beiden Versuchsböden 27 Tage nach Versuchsbeginn

Boden:	Lehmboden Vörden		Sandboden Lavesum	
P-Düngung (mg P/kg Boden):	36	73	44	87
Untersuchungsmethode:	pH (CaCl ₂)			
ohne Phosphat	6,40		7,73	
Triplesuperphosphat	6,29	6,29	7,68	7,53
Thomasphosphat	6,36	6,43	7,76	7,75
Klärschlammasche	6,34	6,32	7,85	7,82
LDS/KSA 02/2012	6,58	6,67	7,78	7,74
LDS/KSA 03/2011	6,55	6,89	7,80	8,03
LDS/KSA 03/2010	6,62	6,98	7,77	8,15
Tiermehlasche	6,26	5,99	7,97	7,84
LDS/TMA 11/2010	6,50	6,79	7,94	8,32
Rohphosphat	6,29	6,15	7,86	7,83

Trotz der hohen pH-Werte auf dem Sandboden kam es dennoch zu einer guten P-Wirkung auch der kalksilikatischen Anreicherungsprodukte. Die P-Gehalte im Boden der beiden angewandten Untersuchungsmethoden (P-CAL und P-H₂O) wurden in gleicher Weise beeinflusst (Tab. 7). Während durch das Rohphosphat und die beiden Aschen allenfalls ein geringer Anstieg der P-Gehalte erreicht wurde, kam es durch die beiden Referenzdünger und vor allem durch die angereicherten Schlacken zu signifikanten Zunahmen der P-Gehalte. Es bestand

eine enge Beziehung zwischen den P-CAL und P_{Wasser} -Werten mit Regressionskoeffizienten von $r^2 > 0,82$ bei $n = 96$.

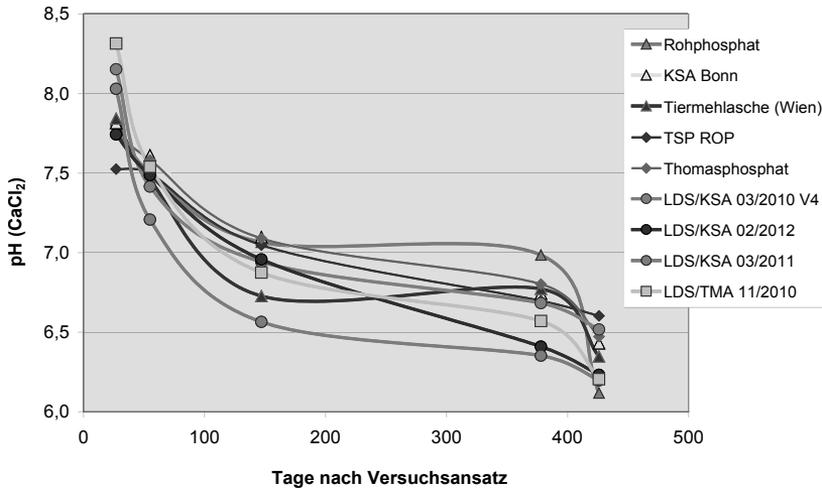


Abb. 2: Entwicklung der pH-Werte im Sandboden Lavesum im Verlauf des Gefäßversuchs

Tab. 7: Einfluss der P-Düngung in Menge und Form auf die P-CAL und P_{Wasser} -Gehalte im Boden des Gefäßversuchs 27 Tage nach Versuchsbeginn

Boden:	Lehmboden Vörden				Sandboden Lavesum			
	mg CAL-P/100 g		mg P_{Wasser} /L		mg CAL-P/100 g		mg P_{Wasser} /L	
Untersuchungsmethode:	36	73	36	73	44	87	44	87
P-Düngung (mg P/kg Boden):	1,33	1,33	2,56	2,56	2,37	2,37	2,76	2,76
ohne Phosphat	1,50	1,69	3,51	3,37	2,49	2,58	3,52	3,73
Rohphosphat	1,43	1,88	2,90	3,06	2,45	2,76	2,74	3,76
Klärschlammasche	1,47	1,62	3,32	3,43	2,41	2,73	3,41	3,85
Tiermehlasche	2,28	3,78	4,13	7,39	4,59	7,26	5,34	8,09
Triple Superphosphat	2,37	4,17	3,99	6,70	5,00	7,97	4,49	6,09
Thomasphosphat	3,00	4,82	4,43	7,74	5,01	8,74	5,79	7,88
LDS/KSA 02/2012	2,75	4,64	5,47	10,09	4,56	9,07	6,65	11,15
LDS/KSA 03/2011	2,99	4,95	5,56	11,26	5,35	8,17	6,95	12,80
LDS/KSA 03/2010	2,68	4,17	5,77	8,50	4,51	6,03	7,11	15,26
LDS/TMA 11/2010								

Die Beziehungen zwischen den P-Gehalten im Boden und den Erträgen verliefen ebenfalls eng, sowohl auf dem Sand- als auch auf dem Lehmboden. Die P-Wirkung der Aschen und des Rohphosphats auf den Ertrag der drei Kulturen war gering. Dagegen führten die aufgeschlossenen P-Referenzdünger wie die angereicherten Schlacken auf dem Sandboden zu den höchsten Erträgen. Auf

dem Lehm Boden wurden die Höchsterträge mit den angereicherten Schlacken erzielt (Abb.3).

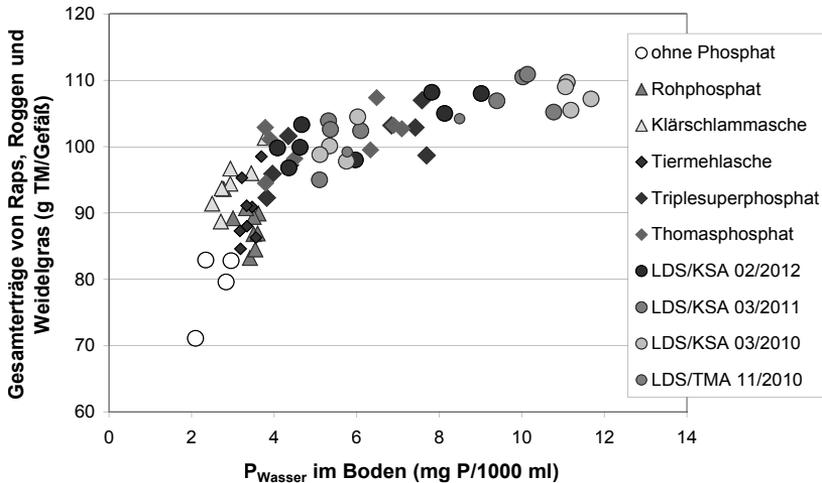


Abb.3: Gesamterträge von Raps, Roggen und Weidelgras auf dem Lehm Boden Vörden in Abhängigkeit vom P_{Wasser}-Gehalt im Boden und der P-Form

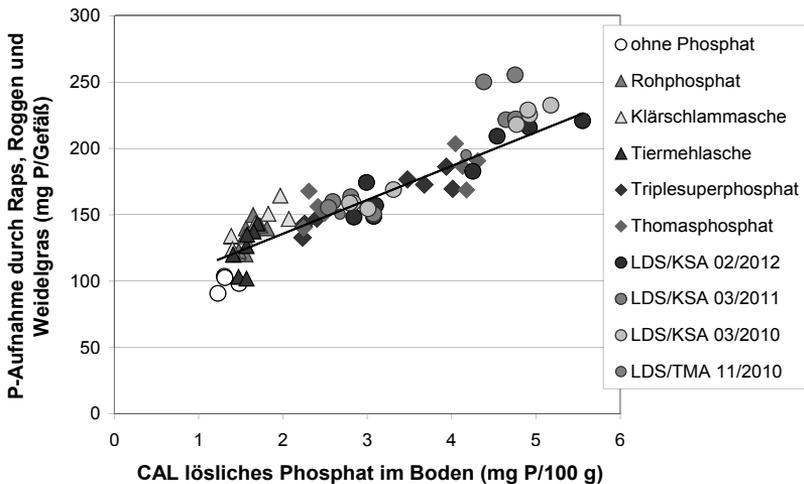


Abb.4: Gesamt-P-Aufnahme von Raps, Roggen und Weidelgras auf dem Lehm Boden Vörden in Abhängigkeit vom CAL-P-Gehalt im Boden und der P-Form

Die P-Verfügbarkeit aus den angereicherten Konverterschlacken entsprach auf beiden Versuchsböden der des Thomas- und des Triplesuperphosphats. Auf dem Lehmboden wurden die höchsten P-Aufnahmen nach Düngung mit angereicherter Konverterschlacke gemessen (Abb. 4).

In dem Feldversuch ergaben sich im zweiten Versuchsjahr 2013 signifikante Mehrerträge und P-Entzüge durch die zugeführte P-Düngung. Dabei fiel der P-Entzug nach Düngung mit angereicherter Konverterschlacke signifikant höher aus als mit Triplesuperphosphat (Tab. 8).

Tab. 8: Ergebnisse im Feldversuch Marienmünster-Vörden 2013

P-Form	Kalkform	P-Düngung (kg P/ha)	Triticale-Ertrag (dt TM/ha)	P-Entzug (kg P/ha)	pH (CaCl ₂)	CAL-P ₂ O ₅ mg/100 g
-	Kohls. Kalk	0	49,0 a	9,9 a	5,70	5,25
-	Konverterkalk	0	45,6 a	9,9 a	5,65	6,25
TSP	Konverterkalk	26	53,4 ab	11,0 ab	5,55	5,75
LDS/KSA	Konverterkalk	26	61,0 b	12,7 bc	5,63	5,25
TSP	Konverterkalk	52	55,5 ab	13,7 c	5,63	7,25
LDS/KSA	Konverterkalk	52	63,0 b	15,9 d	5,50	6,75
GD 5%			11,3	2,0		

4. Zusammenfassung

Unter Laborbedingungen wie auch großtechnisch im Stahlwerk wurde schmelzflüssige Konverterschlacke mit Phosphat über die Zufuhr von Klärschlamm- oder Tiermehlasche angereichert.

Die schwer verfügbaren P-Mineral Apatit und Whitlockit in den Tiermehl- und Klärschlamm-Aschen wurden bei ca. 1500 °C zu einem Calciumsilikophosphat umgewandelt, vergleichbar mit dem P-Mineral im Thomasphosphat.

Im Gefäß- wie im Feldversuch entsprach die Phosphatwirkung der angereicherten Schlacken den voll-aufgeschlossenen P-Düngern und übertraf diese teilweise sogar. Von den unbehandelten Aschen und dem Rohphosphat gingen nur geringe Ertragseffekte auf alle untersuchten Kulturen auf allen Böden aus.

Die P_{CAL}- und P_{Wasser}-Gehalte im Boden wie auch die Pflanzenerträge und P-Aufnahmen wurden durch die Düngung mit den angereicherten Konverterschlacken signifikant gesteigert.

Zwischen den Ergebnissen beider P-Bodenuntersuchungsmethoden und den Phosphataufnahmen aller eingesetzter Kulturen bestand eine hochsignifikante Beziehung.

Fazit:

Der energieeffiziente Aufschluss von phosphathaltigen Klärschlamm- und Tiermehlaschen in flüssiger Konverterschlacke führt bei entsprechender mechanischer Aufarbeitung der Schlacke zu einem gut pflanzenverfügbarem P-Dünger.

5. Literatur

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1995: Methode 4.1.1.1, Mineralsäurelösliches Phosphat, Nassaufschluss mit Schwefelsäure. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. II.1 Düngemittel, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1995: Methode 4.1.3, Citronensäurelösliches Phosphat. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. II.1 Düngemittel, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1995: Methode 6.3.2, Bestimmung der basisch wirksamen Bestandteile in Kalkdüngemitteln, 4. Erg. 2008. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. II.1 Düngemittel, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Phosphatlöslichkeiten und Phosphatdüngewirkung von Stoffen aus der Klärschlammaufbereitung – Betrachtung unterschiedlicher Aufbereitungsverfahren

M. Severin¹, C. Ahl¹, M. Kücke², J.-M. Greef²

¹Georg-August-Universität Göttingen, Fakultät für Agrarwissenschaften, Abteilung Agrarpedologie, Göttingen, ²Julius-Kühn-Institut Braunschweig, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig

1. Einleitung und Zielsetzung

Mit zunehmendem Bevölkerungswachstum und steigendem Fleischkonsum stieg der Phosphatverbrauch in den letzten 100 Jahren rapide an, so dass die natürlichen Phosphatvorkommen nach neuesten Berechnungen in 115-122 Jahren erschöpft sein werden (Elsner, 2008). Die wichtigsten Phosphatquellen in der Landwirtschaft sind neben mineralischen P-Düngern aus geogenem Phosphat Wirtschaftsdünger und Klärschlämme.

Klärschlämme können mit organischen und anorganischen Schadstoffen sowie Krankheitserregern in erhöhter Konzentration belastet sein. Die Ausbringung von Klärschlamm ist deshalb rückläufig. Stattdessen wird heutzutage ein Großteil der anfallenden Klärschlämme verbrannt (UBA, 2011).

Klärschlammaschen haben einen hohen P-Gehalt (4,6-9,7%), allerdings ist das Phosphat in Klärschlammaschen schlecht pflanzenverfügbar. Insbesondere hohe Cadmium-, aber auch Nickel- und Bleigehalte können eine landwirtschaftliche Verwertung unbehandelter Klärschlammaschen einschränken, da die in der Düngemittelverordnung (DüMV) festgelegten Grenzwerte nicht selten überschritten werden (Schick, 2010).

Das Ziel dieser Arbeit war die chemische Abschätzung der Pflanzenverfügbarkeit des in zwei Klärschlammaschen und vier Aufbereitungsprodukten aus Klärschlamm und Klärschlammaschen vorliegenden Phosphats durch Ermittlung der Mineralsäure-, Wasser + Neutralammonicitrat- und Wasserlöslichkeit, sowie die Ermittlung der Pflanzenverfügbarkeit in einem Gefäßversuch zur Ableitung der potentiellen P-Düngewirkung.

2. Material und Methoden

2.1 Charakterisierung der untersuchten Klärschlämme und Klärschlammprodukte

Die folgenden Produkte wurden im Labor- und Gefäßversuch miteinander verglichen:

Die unbehandelte Klärschlammasche „**Monoverbrennung**“ resultiert aus der Verbrennung eines kommunalen Klärschlammes, der mittels einer Zentrifuge entwässert und anschließend in einem Wirbelschichtofen verbrannt wurde.

Die Klärschlammasche „**Mitverbrennung**“ wurde durch gemeinsame Verbrennung von Klärschlamm mit anderen Abfällen erzeugt.

Das untersuchte Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP, „**Seaborne**“) wurde aus kommunalen Klärschlämmen erzeugt, in dem der pH-Wert durch die Zugabe von Schwefelsäure abgesenkt wird und so Schwermetalle und Phosphate in Lösung gebracht werden. Das Endprodukt ist erdfeucht und amorph.

Durch den Zusatz von Schwefelsäure (75 %ig) wird aus Klärschlammasche vollaufgeschlossene Klärschlammasche „**A KSA**“ hergestellt.

Die für das „**Mephrec**“-Verfahren eingesetzten Klärschlämme und Klärschlammaschen werden brikettiert und anschließend zusammen mit Koks und weiteren Zuschlagstoffen im Mephrec-Reaktor (Kupolofen) thermisch (1450 °C) behandelt.

Durch das „**AshDec**“-Verfahren wurde der Schwermetallgehalt von unbehandelten Klärschlammaschen durch erneute thermische Behandlung und Zusetzung von $MgCl_2$ stark reduziert.

2.2 Phosphatlöslichkeiten

Es wurden wasserlösliches Phosphat (Anonym 2003), wasser- + neutralammoniumcitratlösliches Phosphat (VDLUFA 1995) und mineralsäurelösliches Phosphat (VDLUFA 2008a) bestimmt.

Die P-Gehaltsbestimmung im Extrakt erfolgte mit ICP-OES (VDLUFA 2008b). Als Referenzprobe wurde ein mineralischer NPK-Dünger (5,3 % P, im Folgenden NPK-Referenz genannt) genutzt.

3. Gefäßversuch mit *Lolium multiflorum* zur Bestimmung der Phosphataufnahme

Zur Versuchsdurchführung wurde ein Unterboden (4 mg P/100 g Boden CAL-P, Bodenart lehmiger Sand) ausgewählt, der mit 6 % Torf gemischt wurde. Dieses Gemisch hatte einen CAL-P-Gehalt von 6 mg P/100 g Boden. Von diesem Gemisch wurden 1500 g in Töpfe gefüllt. Es wurde ein leicht saurer pH-Wert von 6 angestrebt. Jeder Topf wurde mit 100 mg Gesamt-P in Form der oben genannten Düngemittel gedüngt. Der Versuch wurde mit vier Wiederholungen angelegt.

Zusätzlich wurden eine P-Nullvariante und eine mit einer mineralischen P-Düngung mit Tricalciumphosphat (TriCaP, $\text{Ca}_3\text{O}_8\text{P}_2$) angelegt.

In jedem Topf wurden 70 Samen Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum* LAM.) ausgesät. Anschließend wurden die Töpfe im Gewächshaus (18-22 °C) in Unterschalen randomisiert aufgestellt. Der Versuch erstreckte sich über einen Zeitraum von 20 Wochen, in denen 3 Schnitte durchgeführt wurden. Nach den Schnitten wurden die Pflanzen jeweils mit einer P-freien Stickstofflösung und mit Mikronährstoffen gedüngt.

Nach einer 48 stündigen Trocknung bei 60 °C erfolgte die Bestimmung der Trockenmasse. Die Messung der P-Gehalte im Pflanzenmaterial erfolgte mit ICP-OES (VDLUFA Methode 2.1.3) (VDLUFA, 2011; VDLUFA, 2008a; VDLUFA, 2008b).

4. Ergebnisse

4.1 Löslichkeiten

Die untersuchten Produkte zeigten Gesamt-P-Gehalte zwischen 5 und 15 % P. Hinsichtlich der P-Gesamtgehalte und der entsprechenden Löslichkeiten können signifikante Unterschiede festgestellt werden (Tab. 1).

Tab. 1: Wasser- und Wasser- und neutral-Ammoniumkonzentration der untersuchten Produkte im Vergleich zu P_{gesamt}

Produkt	P_{gesamt}	SA ¹ %	Signifikanz	$P_{\text{W-NAC}}$ % von P_{gesamt}	SA ¹ %	Signifikanz	$P_{\text{H}_2\text{O}}$ % von P_{gesamt}	SA ¹ %	Signifikanz
Minimum	9,03	0,04	b	34,03	8,61	a	0,05	0,00	a
Maximum	4,07	0,04	f	62,12	0,42	a	0,11	0,00	a
Seaborne	15,72	0,05	a	95,00	2,47	b	14,61	2,49	b
AKSA	5,14	0,07	cd	90,11	1,55	c	89,61	0,05	c
Mephrec	4,41	0,03	cde	23,12	4,11	d	0,25	20,00	a
AshDec	4,69	0,09	cd	85,21	13,46	ce	0,98	4,76	a
NPK-Referenz	5,61	0,04	c	100,20	9,52	cf	76,35	0,21	dc

¹⁾SA = Standardabweichung

4.2 Wachstum und P-Aufnahme von Weidelgras

Die Erträge von Weidelgras (Summe über drei Schnitte) lagen durchschnittlich bei 25 g TM pro Gefäß. Hinsichtlich des Untersuchungsparameters „Ertrag“ zeigten sich zwischen den einzelnen Düngungsvarianten und der P-Nullvariante keine signifikanten Unterschiede.

Nach Düngung mit dem Seaborne Produkt zeigten die Pflanzen eine signifikant erhöhte P-Aufnahme gegenüber den anderen Düngemitteln, der Kontrolle und der Nullvariante, gefolgt von denen, die mit dem AshDec Produkt gedüngt wurden (Abb. 1). Bei Betrachtung der einzelnen drei Schnitte zeigte sich beim ersten Schnitt eine signifikant höhere P-Aufnahme der Varianten Seaborne und Ash-Dec gegenüber allen anderen Varianten. Die Seaborne Variante zeigte über alle drei Schnitte und in der Gesamtbetrachtung signifikant höhere P-Aufnahmen als die anderen Düngemittel.

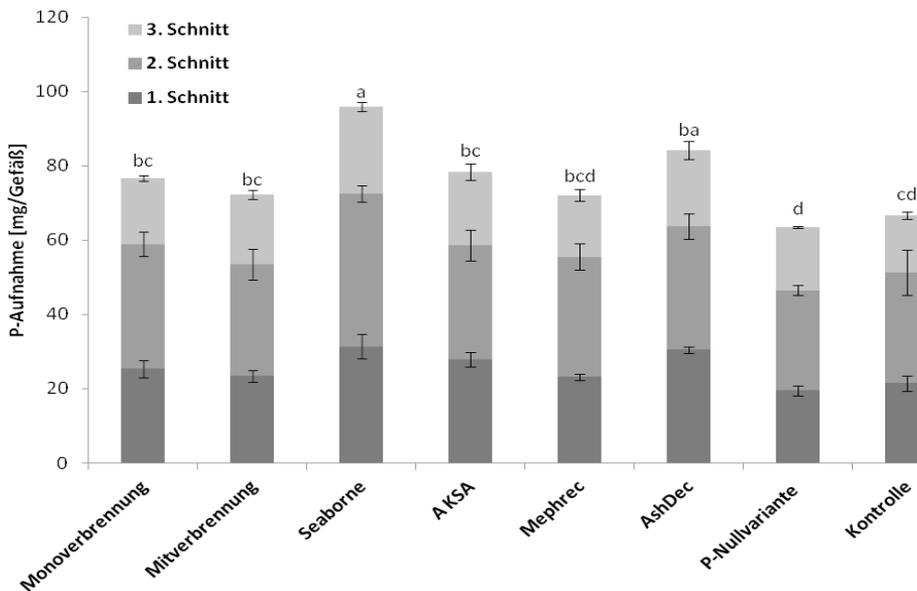


Abb. 1: P-Aufnahme von Weidelgras (Summe der 3 Schnitte [mg P/Gefäß]) nach Düngung mit 100 mg P/Gefäß mit unterschiedlichen Klärschlammprodukten und Tricalciumphosphat (Kontrolle) (Tukey-Test $\alpha < 0,05$)

Die Korrelation zwischen der P-Aufnahme und der Löslichkeit in Wasser und neutralem Ammoncitrat beträgt $r = 0,83$. Die Korrelation zwischen der P-Aufnahme und dem P_{gesamt} der Düngemittel liegt bei $r = 0,73$. Diese beiden Korrelationen sind signifikant. Zwischen der Wasserlöslichkeit und der P-Aufnahme besteht eine nicht signifikante Korrelation von $r = 0,56$.

5. Diskussion

5.1 P-Löslichkeiten

Nach BMELV (2011) fordert der wissenschaftliche Beirat für Düngungsfragen für P-Düngemittel eine Wasser- und Neutralammoncitratlöslichkeit, die sehr nahe am P-Gesamtgehalt des Düngemittels liegt, da ansonsten kein nennenswerter Düngungseffekt zu erwarten ist. Ein Großteil des gedüngten Phosphats bliebe im Boden gebunden und wäre nur sehr langsam und langfristig pflanzenverfügbar.

Das AshDec Produkt hat eine Wasser + Neutralammoncitratlöslichkeit von über 80 %, die Wasserlöslichkeit ist mit 1 % sehr gering (Abb. 1-3). Die unbehandelten Klärschlammaschen „Monoverbrennung“ und „Mitverbrennung“ sind in ihrer Wasserlöslichkeit vergleichbar mit den Ergebnissen von Kratz und Schnug (2008). Im Gegensatz zu den in dieser Arbeit erzielten Ergebnissen konnten Perez et al. (2011) für das AshDec Produkt eine Wasserlöslichkeit von 6,4 % vom Gesamt-P Gehalt feststellen.

Bestandteile des AshDec Produkts sind größtenteils Chlorapatit, Quarz und Hämatit. Dies begründet die schlechte Wasserlöslichkeit (Schick, 2010).

Das Seaborne Produkt liegt mit einer Wasser + Neutralammoncitratlöslichkeit von 95 % im Rahmen eines herkömmlichen Super- oder Triplesuperphosphats, erreichte aber deren erforderliche Wasserlöslichkeit (16 % von P_{KW}) nicht. Perez (2011) und Pinnekamp et al. (2011) konnten Wasserlöslichkeiten von unter 1 % von P_{KW} feststellen. Die mit Schwefelsäure aufgeschlossene KSA kann in ihrer Löslichkeit mit TSP verglichen werden. Das Mephrecprodukt zeigte die von den untersuchten Substanzen geringsten Löslichkeiten.

5.2 P-Aufnahme

Die im Gefäßversuch mit Weidelgras ermittelte P-Aufnahme zeigte, dass die kurzfristige P-Verfügbarkeit der Varianten Seaborne und AshDec im Vergleich zu den anderen Produkten höher sind. Für das AshDec Produkt konnten ähnliche Ergebnisse wie von Schick (2010) nachgewiesen werden. Gegenüber Perez (2011) konnte Simons (2008) für ein Magnesiumammoniumphosphat mit ähnlichem Herstellungsprozess wie das in dieser Arbeit genutzte Seaborne Produkt eine höhere P-Aufnahme gegenüber einer TSP-Kontrollvariante nachweisen. Pinnekamp et al. (2007) konnten Ergebnisse erzielen, die auf dem Niveau der in dieser Arbeit besprochenen Untersuchungsergebnisse liegen.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Wasser + Neutralammonocitratlöslichkeit entspricht bei drei getesteten Klärschlammaschen (Seaborne, A KSA und AshDec) mit über 80 % Löslichkeit (von P_{gesamt}) der eines Superphosphats. Bei der Wasserlöslichkeit hat nur das Produkt mit dem Schwefelsäureaufschluss (A KSA) eine Löslichkeit von 90 % erreicht, was der Löslichkeit von Triplesuperphosphat entspricht. Die Wasserlöslichkeit der anderen Produkte liegt zum Großteil unter 1 % vom P-Gesamtgehalt.

Die im Gefäßversuch ermittelten P-Aufnahmen zeigen, dass es möglich ist, Recyclingprodukte aus Klärschlamm herzustellen, die mit konventionellen mineralischen Düngemitteln in ihrer P-Düngewirkung konkurrieren können. Ob dies auch unter Praxisbedingungen gilt, ist in Feldversuchen zu untersuchen.

Durch diese Form der Phosphatrückgewinnung können an jedem Standort mit Klärschlammanfall Phosphatdüngemittel gewonnen werden. Dies mindert Abhängigkeiten von wenigen weltweiten Phosphatvorkommen und garantiert eine nachhaltige, regionale Versorgung mit P-Düngemitteln.

7. Literaturangaben

- EU, 2003: Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über Düngemittel. ABl. Nr. L 304 vom 21.11.2003, 1-194, zuletzt geändert durch Verordnung (EU) Nr. 463/2013 der Kommission vom 17. Mai 2013 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates über Düngemittel zwecks Anpassung ihrer Anhänge I, II und IV an den technischen Fortschritt. ABl. L 134 vom 18.5.2013, 1-14.
- BMELV, 2011: Nachhaltiger Umgang mit der begrenzten Ressource Phosphor durch Recycling und Erhöhung der Phosphoreffizienz der Düngung, Wissenschaftlicher Beirat für Düngungsfragen, Paper verabschiedet am 22.02.2011. <http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Duengungsfragen/Phosphor.html>
- Elsner, H. 2008: Stand der Phosphatreserven weltweit, Braunschweiger Nährstofftage 2008, Präsentation, zu finden in <http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_koordinierend/bs_naehrstofftage/phosphor_landwirtschaft/2_Elsner.pdf> [zitiert am 25.05.2012].
- Kratz, S., Schnug, E. 2008: Agronomische Bewertung von Phosphatdüngern, Vortrag zum Symposium Ressourcen schonender Einsatz von Phosphor in der Landwirtschaft. http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_koordinierend/bs_naehrstofftage/phosphor_landwirtschaft/15_Kratz.pdf
- Perez, R., Steingrobe, B., Claassen, N. 2011a: Phosphorrecycling – Charakterisierung der Düngewirkung recycelter Phosphatdünger im Gefäß- und Feldversuch. Wissenschaftlicher Abschlussbericht, Förderkennzeichen 02WA0786.
- Pinnekamp, J., Montag, D., Gethke, K., Goebel, S., Herbst, H. 2007: Rückgewinnung eines schadstofffreien, mineralischen Kombinationsdüngers „Magnesiumammoniumphosphat – MAP“ aus Abwasser und Klärschlamm. <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3256.pdf>
- Schick, J. 2010: Untersuchung zu P-Düngewirkung und Schwermetallgehalten thermochemisch behandelter Klärschlammaschen. Dissertation, Universität Braunschweig.
- UBA, 2011: Klärschlamm Entsorgung Stand 2011, zu finden in <<http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2307>> [zitiert am 25.05.2012].

- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2011: Methode 2.1.3 Mikrowellenbeheizter Druckaufschluss. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. VII Umweltanalytik, 4. Aufl., VDLUFA Verlag Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2008a: Methode 5.1.1.1 Königswasser-aufschluss. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), II.2, (1. Ergänzungslieferung von 2008), Die Untersuchung von Düngemitteln, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2008b: Methode 3.2.2.2 ICP-OES Bestimmung des Phosphats. In: Bd. II.2 Die Untersuchung von Sekundärrohstoffdüngern, Kultursubstraten und Bodenhilfsstoffen, 1. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1995: Methode 4.1.4 Wasser- und neutralammoniumcitratlösliches Phosphat, nach FRESSENIUS-NEUBAUER. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. II.1 Die Untersuchung von Düngemitteln, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Auswertung aktueller Versuche zur P- und K-Düngung auf dem Grünland nach der Bilanzmethode

W. Zorn, H. Hochberg, D. Zopf, G. Kießling

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Einleitung

Eine überwiegend extensive Grünlandbewirtschaftung mit langjährig negativen P- und K-Bilanzen hat in den letzten 20 Jahren zu einer erheblichen Reduzierung der P- und K-Versorgung der Grünlandböden in Thüringen geführt.

Tab. 1: Nährstoffversorgung Thüringer Grünlandböden (2007-2012)

pH- bzw. Gehaltsklasse	Flächenanteil in %			
	pH	P	K	Mg
E	30,4	11,7	15,8	52,9
D	18,4	9,6	17,3	15,6
C	22,1	15,5	23,8	17,7
B	22,0	31,3	32,9	11,7
A	7,1	31,9	10,2	2,2

Als besonders dramatisch ist die sehr niedrige und niedrige P-Versorgung auf 63 % des Grünlandes anzusehen. Eine sehr niedrige und niedrige K-Versorgung liegt auf 43 % vor. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass eine Vielzahl Thüringer Standorte über hohe K-Reserven verfügt. Insbesondere betrifft dies Muschelkalk- und Keuperverwitterungsböden, während K-Unterversorgung vorwiegend auf leichten und mittleren Buntsandstein- sowie Schieferverwitterungsböden vorkommt. Die Rückkehr zu einer bedarfsgerechten P- und K-Düngung auf dem Grünland erfordert unter Berücksichtigung gestiegener Düngemittelpreise experimentell belegte Richtwerte für die Düngedarfsermittlung. Die Ableitung von Richtwerten für die Gehaltsklasse für die Nährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium sowie die daraus abzuleitenden Düngermengen zum Erreichen des optimalen Ertrages unter Berücksichtigung der Futterqualität besitzt dabei besondere Bedeutung. In Thüringen werden seit 1997 statische

P- und K-Düngungsversuche auf drei Grünlandstandorten durchgeführt, über deren Ergebnisse zuletzt Hochberg und Zopf (2012) berichteten. Der nachfolgende Beitrag beschäftigt sich mit der Auswertung dieser Versuche nach der Bilanzkoeffizientmethode in Anlehnung an Richter und Kerschberger (1991).

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsdurchführung

Einen Überblick über die Versuchsstandorte sowie die Höhe der jährlichen P- bzw. K-Düngung geben Tabellen 1 und 2.

Tab. 2: Standorte der P- und K-Steigerungsversuche in Thüringen ab 1997

Standort	Höhe ü. NN	Bodenart	Niederschlag mm	geologische Herkunft
Heßberg	380	L-T	760	Alluvium
Oberweißbach	660	uL	842	Schiefer
Wechmar	360	L-T	550	Muschelkalk

Tab. 3: Höhe der P- bzw. K-Düngung in den P- und K-Steigerungsversuchen in Thüringen ab 1997

Prüfglied	P-Versuch P-Düngung	K-Versuch K-Düngung
P0/K0	ohne P	ohne K
P1/K1	50% Abfuhr	70% Abfuhr
P2/P2	100% Abfuhr	100% Abfuhr
P3/K3	150% Abfuhr	130% Abfuhr

Weitere Angaben sind bei Hochberg und Zopf (2012) aufgeführt.

2.2 Auswertungsmethodik

Statische P- und K-Versuche besitzen die Besonderheit, dass unterschiedliche Düngermengen zu einer Differenzierung des P- und K-Gehaltes im Boden führen und bei der Auswertung der Versuche ab dem 2. Versuchsjahr eine Trennung zwischen der Wirkung der aktuellen Düngung und der Nährstoffgehalte im

Boden auf den Ertrag nicht mehr möglich ist. Tabelle 3 verdeutlicht am Beispiel des 12. Versuchsjahres des K-Versuchs Oberweißbach, dass mit zunehmender K-Düngung auch die K-Gehalte im Boden ansteigen.

Tab. 4: Trockenmasseertrag in Abhängigkeit von der K-Düngung und dem K-Gehalt des Bodens (Oberweißbach, 12. Versuchsjahr)

	Prüfglied			
	K0	K1	K2	K3
mittlere K-Düngung kg K/ha	0	100	143	187
mg CAL-K/100g	3	4	6	8
dt TM/ha	22,7	64,3	66,5	71,3

Im vorliegenden Beitrag erfolgt die Auswertung des Datenmaterials nach der Bilanzkoeffizientmethode nach Richter und Kerschberger (1991). Aus der Differenz zwischen P- bzw. K-Düngung abzüglich der P- bzw. K-Abfuhr errechnet sich der P- bzw. K-Bilanzsaldo, die zu Bilanzgruppen für alle Versuchsjahre zusammengefasst werden (Tab. 4).

Tab. 5: P-Bilanzgruppen zur Auswertung von P-Düngungsversuchen auf Acker- und Grünland (Kerschberger und Richter, 1991)

P-Bilanzgruppe	P-Bilanz kg P/ha
8	<-24,6
7	-24,5 ... -17,6
6	-17,5 ... -10,6
5	-10,5 ... -3,6
4	-3,5 ... +3,4 (P-Düngung ~ P-Abfuhr)
3	+3,5 ... +10,4
2	+10,5 ... +17,4
1	+17,5 ... +24,4

Die Spannweite der Bilanzgruppe ist an das auszuwertende Datenmaterial sowie die Fragestellung anzupassen. Richter und Kerschberger (1991) schlugen für die Auswertung von statischen P-Düngungsversuchen auf dem

Ackerland eine Spannweite der P-Bilanzgruppen von 7 kg P/ha vor. Für jede P-Bilanzgruppe kann die Beziehung zwischen Relativertrag (Höchstertag im Versuchsjahr = 100) und dem P-Gehalt im Boden in einem zweidimensionalen Diagramm dargestellt werden. Dieses Verfahren ermöglicht die Berücksichtigung sowohl des P- bzw. K-Gehaltes im Boden als auch die Höhe der jährlichen Düngergabe. Aus dem Verlauf der Regressionslinie für einzelne Saldogruppen sind Aussagen über Richtwerte für Gehaltsklassen und ökonomisch sinnvolle Düngermengen möglich.

3. Ergebnisse

3.1 P-Versuche

Die gewählte Auswertungsmethode ermöglicht die Zusammenfassung mehrerer Versuche zur P-Düngung. Für die erste Auswertung der P-Düngungsversuche wurde eine Spannweite für den P-Saldo von 10 kg P/ha gewählt. Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse für die P-Saldogruppen von ≤ 5 kg P/ha für alle drei Standorte.

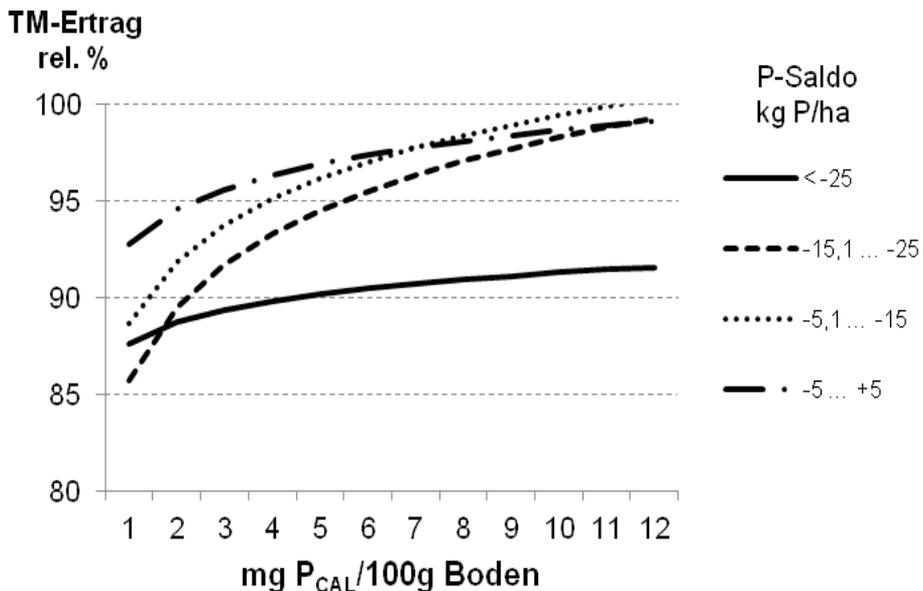


Abb. 1: Trockenmasseertrag von Grünland in Abhängigkeit von P-Bilanz und P-Gehalt des Bodens (alle 3 Standorte, P-Saldo ≤ 5 kg P/ha)

Stark negative P-Salden von unter -25 kg P/ha führen auch bei P_{CAL}-Gehalten über 10 mg P/100g Boden nur zu Erträgen von maximal 92 % im Vergleich zum

Höchstertrag. Der Verlauf der Regressionslinie für negative P-Salden von -15,1 ... - 25 kg P/ha bzw. -5,1 ... -15 kg P/ha verläuft ab 2 mg P/100g Boden über der für stark negative P-Salden und erreicht bei 10 mg P/100g Boden ca. 98 % des Versuchshöchstertrages. Die P-Düngung in annähernder Höhe der P-Abfuhr (P-Saldo von -5,1 ... +5 kg P/ha) erreicht die ca. 98 % des Versuchshöchstertrages bereits bei einer geringeren P-Versorgung des Bodens. Auf die Darstellung der P-Saldogruppen +5,1 ... 15 sowie > 15 kg P/ha wird an dieser Stelle verzichtet, da unabhängig vom P-Gehalt im Boden der Trockenmasseertrag ca. 100 % beträgt. Daraus lässt sich ableiten, dass eine P-Düngung von mehr als 5 kg P/ha über der Abfuhr unabhängig vom P-Gehalt des Bodens zu hohen und stabilen Grünlanderträgen führt.

Aus den Ergebnissen einer ersten Auswertung von drei P-Düngungsversuchen auf dem Grünland ergibt sich, dass der Einfluss des P-Gehaltes im Grünlandboden auf die Ertragsbildung vermutlich geringer ist im Vergleich zum Ackerland. Ursache dafür scheint unter anderem die geringere Durchwurzelungstiefe sowie die Bestandszusammensetzung auf dem Grünland zu sein. Auf weitergehende Auswertung hinsichtlich der Ableitung von Gehaltsklassen und P-Düngungsempfehlungen wird zunächst verzichtet, da die Auswertung eines umfangreicheren Datenmaterials vorgesehen ist.

3.2 K-Versuche

Nach der ersten Sichtung des Datenmaterials der K-Düngungsversuche war eine Trennung der Versuche in 2 Gruppen erforderlich. Die Ergebnisse der K-Düngungsversuche Heßberg und Wechmar erfolgte gemeinsam, da sie hinsichtlich Bodenart vergleichbar sind. Dagegen war für den Schieferverwitterungsstand Oberweißbach eine davon deutlich abweichende K-Dynamik im Boden zu erkennen, die eine gemeinsame Auswertung aller drei Standorte ausschloss. Für eine erste orientierende Auswertung wurde eine Spannweite für die K-Saldogruppen von 50 kg K/ha gewählt. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse für die Versuchsstandorte Heßberg und Wechmar.

Die stark negativen K-Salden von unter -125 kg K/ha weichen vom Trend aller anderen Varianten ab und sind nur mit relativ wenigen Daten belegt. Eine weitere Auswertung kann deshalb nur zusammen mit weiteren Versuchen erfolgen. Die K-Saldogruppe -25 ... +25 kg K/ha, die annähernd einer K-Düngung in Höhe der K-Abfuhr entspricht, führt bereits bei 2 mg K/100g Boden zu einem Relati-

vertrag von 96 %. Mit zunehmendem K-Bodengehalt steigt der Ertrag nur noch geringfügig an. Die Regressionslinie für die K-Saldogruppe +25,1 ... +75 kg K/ha verläuft ähnlich. Daraus lässt sich schließen, dass auf beiden Standorten eine K-Düngung über der K-Abfuhr nicht erforderlich ist.

TM-Ertrag

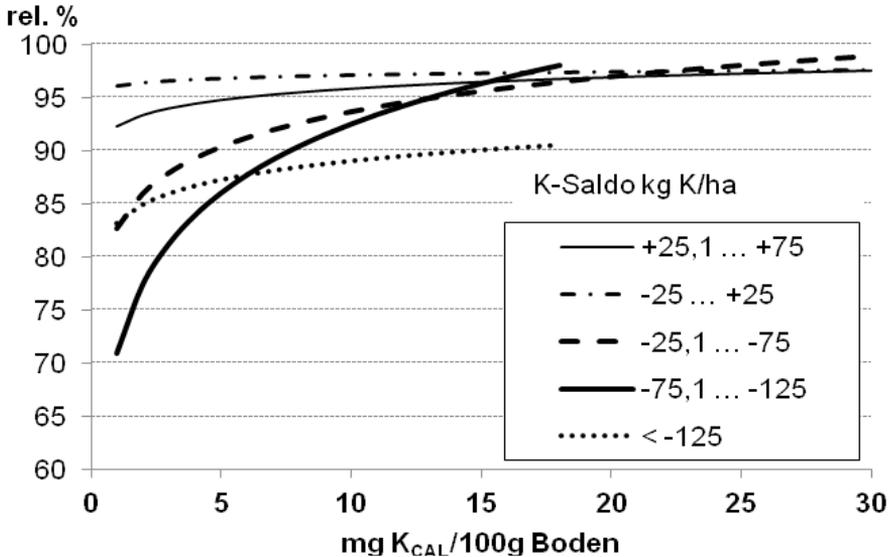


Abb. 2: Trockenmasseertrag von Grünland in Abhängigkeit von K-Bilanz und K-Gehalt des Bodens (Standorte Heßberg und Wechmar)

Der K-Düngungsversuch Oberweißbach ist durch einen deutlichen Abfall der Ertragsbildung auf der Variante ohne K-Düngung gekennzeichnet und unterscheidet sich damit erheblich von den Standorten Heßberg und Wechmar. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse für Oberweißbach. Bei K-Düngung ca. in Höhe der K-Abfuhr (K-Saldogruppe von -25 ... +25 kg K/ha) und einem K-Gehalt von 2 mg/100 g Boden beträgt der Trockenmasseertrag nur ca. 20 % des Höchstertrages. Mit zunehmender K-Versorgung des Bodens steigt der Ertrag sehr stark an und erreicht bei 7 ... 8 mg K/100 g Boden annähernd den Höchstertrag. Bei einem K-Saldo von -25,1 ... -75 kg K/ha wird der Höchstertrag erst bei ca. 10 mg K/100 g Boden erzielt. Der Richtwert für die Gehaltsklasse C für diesen Standort beträgt demnach 7 bis 10 mg K/100 g Boden. Bei K-Düngermengen deutlich über der Abfuhr (K-Saldogruppe +25 ... +75 kg K/ha) werden auch bei niedrigen K-Gehalten im Boden von ca. 3 mg K/100 g Boden im Mittel Relativerträge von >96 % erreicht. Damit unterscheidet sich der Standort Oberweißbach

deutlich von Heßberg und Wechmar.

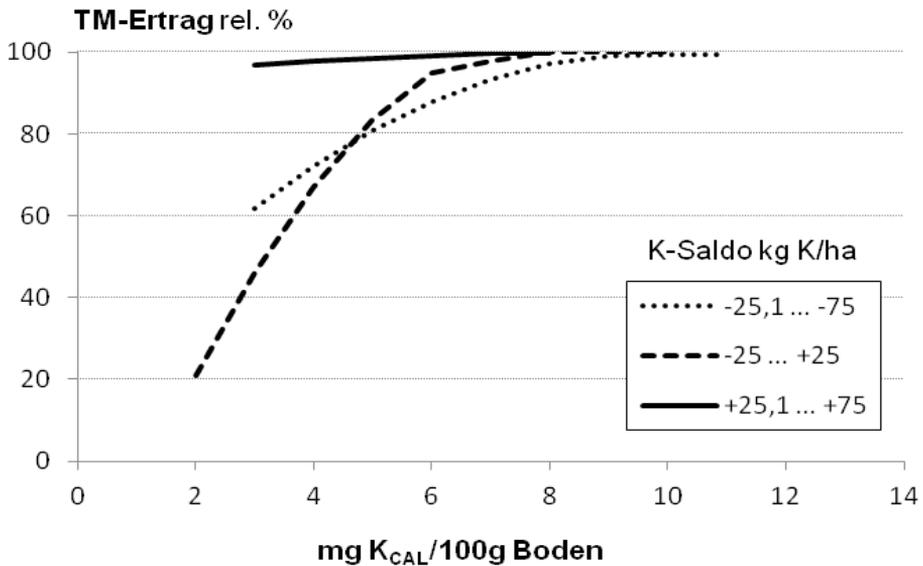


Abb. 3 Trockenmasseertrag von Grünland in Abhängigkeit von K-Bilanz und K-Gehalt des Bodens (Oberweißbach)

Eine wichtige Ursache für die differenzierte K-Dynamik der Standorte scheint der differenzierte K-Gehalt in den Zwischenschichten der Tonminerale zu sein. Hinweise darauf geben die in Tabelle 5 dargestellten schwer austauschbarer K-Gehalte der Böden (K_{sa}) nach der Methode nach Koltermann und Truog (Richter, 1975).

Tab. 6: CAL-löslicher und schwer austauschbarer K-Gehalt der Böden nach der Ernte 2011

Standort	K-Düngung	K_{CAL}	$K_{sa}^{1)}$
		mg K/100g Boden	
Heßberg	ohne K	5	70
	K-Entzug	9	75
Oberweißbach	ohne K	3	14
	K-Entzug	6	15
Wechmar	ohne K	9	90
	K-Entzug	24	97

¹⁾schwer austauschbares K nach Koltermann und Truog (Richter, 1975)

Die insgesamt niedrigere K-Nachlieferung und geringere K-Pufferung des Standortes korrespondiert mit niedrigeren K_{sa} -Gehalten im Vergleich zu Heßberg und Wechmar.

4. Fazit

Im Beitrag wurden statische P- und K-Düngungsversuche auf 3 Thüringer Grünlandstandorten nach der Methode der Bilanzkoeffizienten nach Richter und Kerschberger ausgewertet. Bei ausreichendem Datenumfang ist diese Methode zur Auswertung statischer P- und K-Versuche gut geeignet und ermöglicht die Ableitung von Richtwerten für Gehaltsklassen und die wirtschaftlich optimale P- und K-Düngung. Die Thüringer Standorte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer K-Dynamik. Als Ursache dafür können differenzierte K-Gehalte in den Tonmineralzwischenschichten angenommen werden. Es ist vorgesehen, alle verfügbaren Ergebnisse von P- und K-Versuchen der neuen Bundesländer mit dem selben Versuchsdesign gemeinsam auszuwerten, um Datengrundlage zu verbreitern und die Richtwerte für die P- und K-Düngung auf dem Grünland zu präzisieren.

5. Literaturangaben

- Hochberg, H., Zopf, D., 2012: Zur Wiedererlangung der Nachhaltigkeit nach Grünlandextensivierung. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 68, 323-330, Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Kerschberger, M., Richter, D., 1978: Ermittlung von Bilanzkoeffizienten für die P-Düngerbemessung. Arch. Acker- u. Pflanzenbau, Bodenkd. 22, 559-567.
- Kerschberger, M., Richter, D., Pfleger, D., 1986: Ermittlung von Versorgungsstufen des pflanzenverfügbaren Magnesiums in Ackerböden der DDR. Arch. Acker- u. Pflanzenbau, Bodenkd. 30, 24-250.
- Richter, D., 1975: Probleme der Charakterisierung des pflanzenverfügbaren Kaliums in Ackerböden. Arch. Acker- u. Pflanzenbau, Bodenkd. 19, 475-485.
- Richter, D., Kerschberger, M., 1991: Methoden zur Ermittlung von Grenzwerten der Phosphor-, Kalium- und Magnesium-Gehalte in Ackerböden. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 154, 337-342.

Teilflächenspezifischen Grunddüngung – erste Ergebnisse und Erfahrungen aus der Praxis

I. Borchardt¹, U. Obenauf¹, C. Lubkowitz¹, C. Kock²

¹Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Rendsburg, ²Gutsverwaltung Helmstorf

1. Einleitung

Seit dem Erntejahr 2008 testet die Landwirtschaftskammer intelligente Technik für den Marktfruchtbau der Zukunft im Modellprojekt „On Farm Research“ in großflächigen Versuchen auf Gut Helmstorf. Der Schwerpunkt des Projektes liegt im präzisen Ackerbau auf verschiedenen teilflächenspezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen u. a. auch der teilflächenspezifischen Grunddüngung.

Der Versuchsstandort ist im Östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins einem heterogenen Naturraum lokalisiert. Die Böden werden als vorwiegend sandiger Lehm beschrieben mit Ackerzahlen zwischen 20 und 55 Bodenpunkten, die Geländehöhe variiert zwischen 10 und 75 m über N.N..

2. Bodenbeprobung für die Kartenerstellung

Der Betrieb verfügte zu Projektbeginn für die 300 ha Versuchsfläche im 3 ha Raster über Informationen zur Bodenart nach Fingerprobe, zu den Hauptnährstoffgehalten und zu den pH-Werten. Es lagen auch entsprechende interpolierte Nährstoffkarten sowie Ergebnisse aus der EM38-Messung vor.

Nach der Bewertung vorhandener Daten auf Grundlage erster wissenschaftlicher und praktischer Erkenntnisse zur teilflächenspezifischen Grunddüngung wurde von deren Nutzung abgesehen. Es fiel die Entscheidung für die Anlage eines systematischen, an der Fahrgassenrichtung ausgerichteten 1 ha Rasters mit Kreisbeprobung der Teilflächen (Abb. 1), aus dem später ein intelligentes Proben- und Streuraster generiert werden soll. Alle Versuchsflächen wurden 2008 neu beprobt.

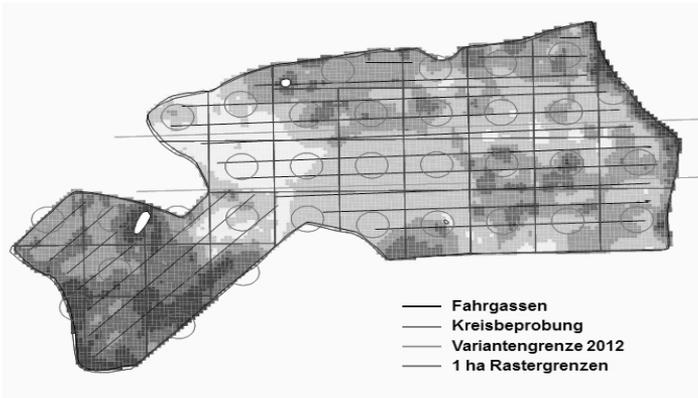


Abb. 1: Bodenproben Dwerjahren (1 ha-Raster)

3. Welches ist die richtige Bodenart?

Zu Projektbeginn 2008 wurde nach Fingerprobe für alle 300 Teilflächen als Bodenart sandiger Lehm (sL) bestimmt. Dieses stand im Gegensatz zur heterogenen Bodenbeschaffenheit im Naturraum und zur Differenzierung der Schläge aus der EM38-Messung. Eine Schlämmanalyse, zunächst nur für die Teilflächen vom Koppelschlag, kam zu einem anderen Ergebnis. Vorwiegend waren die Bodenarten lehmiger Sand (IS) und anlehmiger Sand (I'S) - sandiger Lehm dagegen mit geringen Anteilen - vertreten. (vgl. Abb. 4).

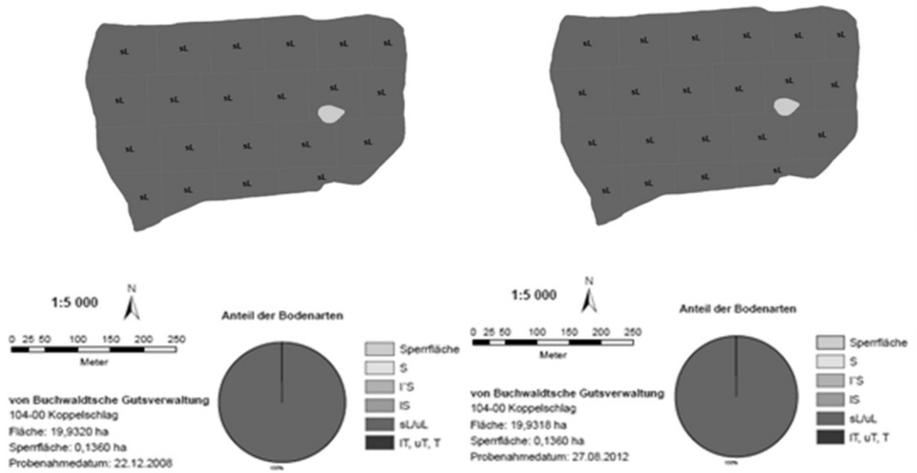


Abb. 2: Bodenart nach Fingerprobe 2008 und 2012 – Koppelschlag (20 ha)

Aus der Erkenntnis folgte der breite Einstieg in die Schlämmanalyse auf der Basis von 5 Korngrößenfraktionen, verbunden mit der erneuten Beprobung und Bodenuntersuchung der Versuchsflächen zur Projekthalbzeit in 2012.

Die in 2008 per Fingerprobe auf allen Teilflächen gefundene Bodenart sL wurde durch die Fingerprobe 2012 für 90 % der Teilflächen bestätigt (Abb. 2). Für die restlichen 10 % hat sich im zweiten Zyklus IS ergeben (Abb. 3, Fingerprobe). Die Ergebnisse zur Leitbodenart aus 2008 und 2012 stimmen mit denen aus 15 Jahren Bodenuntersuchung für Klärschlammasbringung überein. Zu 98 % wurde hier im 3 ha Raster ebenfalls mittels Fingerprobe die Bodenart sL bestimmt.

Dagegen belegt die Schlämmanalyse 2012 auch für weitere Schläge die starke Verbreitung der Bodenarten IS und I'S. Aus Kapazitätsgründen wurden zwei Schläge an einem Auswechlabor analysiert, das ebenfalls die leichteren Leitbodenarten vom Hauptlabor bestätigte. Das heißt Fingerprobe und Schlämmanalyse produzieren nicht dasselbe Ergebnis.

4. Wie wird die Bodenart richtig bestimmt?

Für die 35 Teilflächen vom „Dwerjahren“ in Abbildung 3 wurde die Bodenart mittels Fingerprobe und Schlämmanalyse bestimmt. Insgesamt ergeben sich vier Bodenartbestimmungsmöglichkeiten, da nach VDLUFA die Bodenart nach Schlämmanalyse anhand von drei verschiedenen Ansätzen abgeleitet werden kann:

- Tongehalt
- Summe aus Ton- und Feinschluffgehalt
- Ton- und Gesamtschluffgehalt

Im Vergleich zwischen Fingerprobe und den drei Ansätzen aus der Schlämmanalyse zeigt sich ein deutlich abweichendes Bild. Die Leitbodenart ist nach Schlämmanalyse IS und es werden bis zu 4 verschiedene Bodenarten erkannt.

Auf 28 von 35 Teilflächen ist die Bodenart nicht identisch und auf 6 werden sogar für dieselbe Teilfläche drei Bodenarten gefunden.

Selbst die Ansätze der Schlämmanalyse widersprechen sich hinsichtlich der Bodenart einer Teilfläche anteilig. Je nach Schlag ist dieses unterschiedlich ausgeprägt.

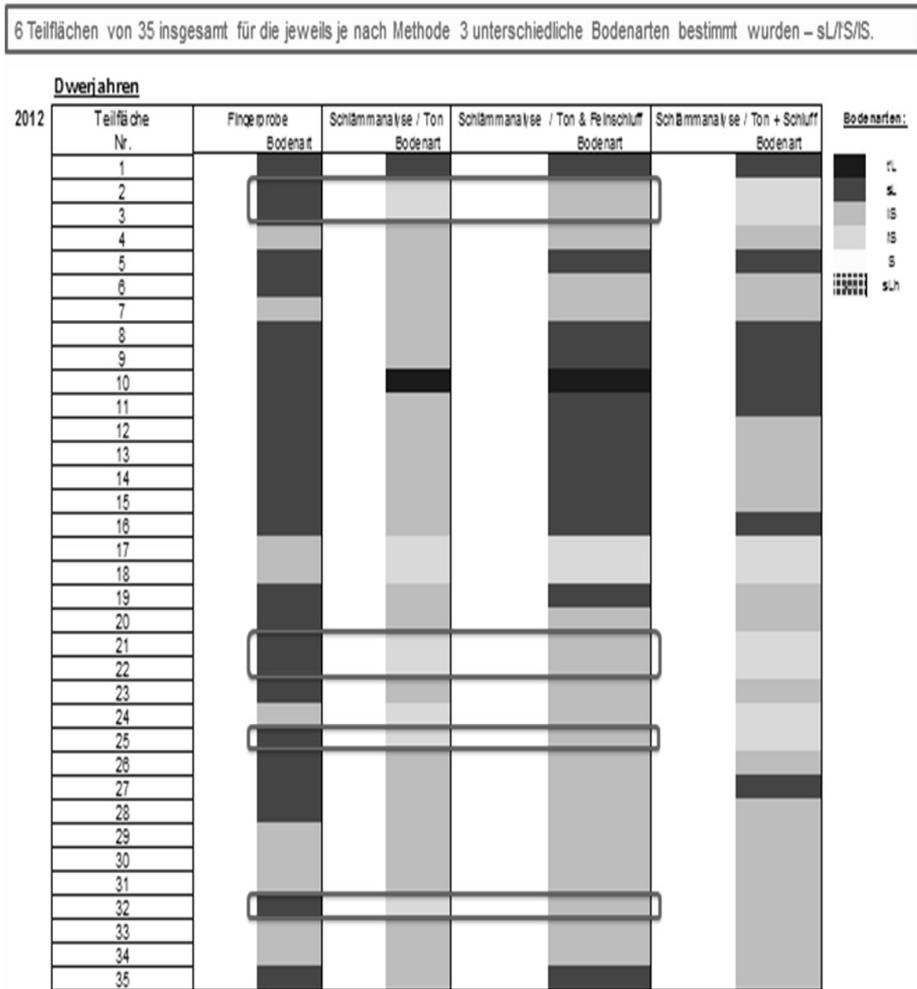


Abb. 3: Methoden der Bodenartbestimmung und ihre Teilflächenergebnisse

5. Die Bodenart bestimmt die Nährstoffkosten

Die unterschiedlichen Bestimmungsmöglichkeiten beeinflussen die Bodenartenhäufigkeit und -verteilung auf dem Schlag (Abb. 4).

Das wirkt sich bei den bodenartabhängigen Nährstoffen auf die Einstufung der Teilflächen in die Gehaltsklassen aus, wie am Beispiel Kalium für den Koppelschlag aus 2012 zu sehen ist (Abb. 5).

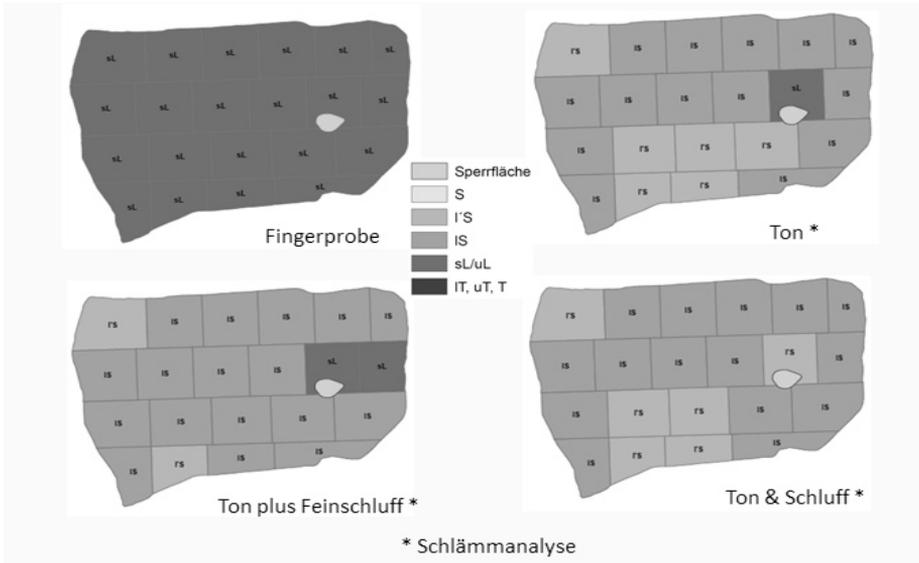


Abb. 4: Methodenabhängige Bodenarten der Teilflächen–Koppelschlag 2012

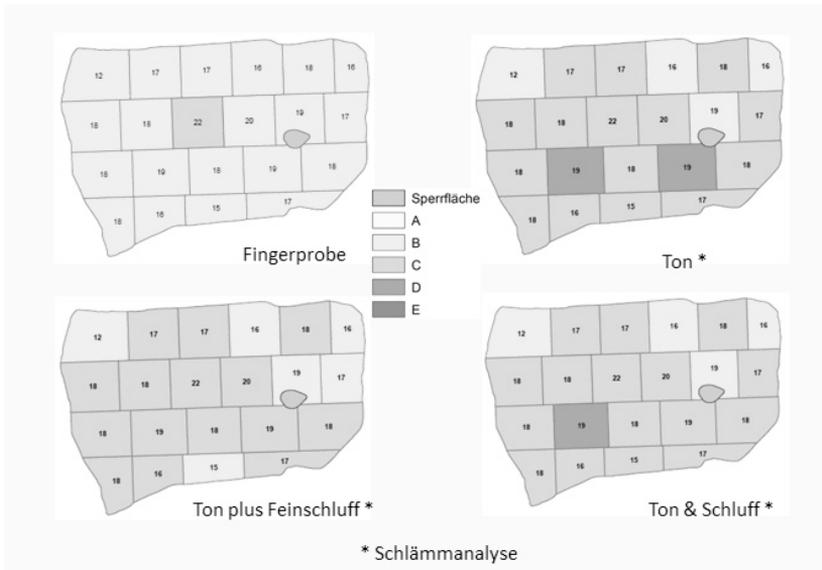


Abb. 5: Bodenart-/Methodenabhängige Kaliversorgung Koppelschlag 2012

Durch die nach Schlämmanalyse festgestellte leichtere Leitbodenart, verbessert sich die Nährstoffversorgung beim Kalium deutlich. Je nach Teilfläche sogar um

bis zu zwei Gehaltsklassen entsprechend der Bodenart und des Kaliumgehaltes (mg K₂O/100g Boden).

Die Tabelle 1 zeigt für den Koppelschlag aus der Bodenuntersuchung 2008 den aus den Bodengehalten abgeleiteten Nährstoffbedarf auf Basis der aktuellen Richtwerte für die Düngung (Schleswig-Holstein) und die damit verbundenen Nährstoffkosten.

Während Phosphat als bodenartunabhängiger Nährstoff in Mengen und Kosten nicht differiert, kommt es bei Kalium, Magnesium und Kalk abhängig von der Bodenartbestimmung zu Unterschieden. Speziell die nach Fingerprobe bestimmte schwerere Leitbodenart und der damit verbundene Nährstoffbedarf führen zu vergleichsweise hohen Nährstoffkosten für den Schlag und seine 3-jährige Fruchtfolge.

Nach Fingerprobe entstehen aus dem Mehrbedarf an 2640 kg K₂O, 840 kg MgO und 20 622 kg CaO 3324,- € höhere Nährstoffkosten als beispielsweise nach der Schlämmanalyse auf Basis Ton und Schluff.

Tab. 1: Bodenartbestimmung beeinflusst Nährstoffbedarf und -kosten

Koppelschlag 20 ha - Bodenuntersuchung 2008

Bodenartbestimmung	Nährstoffbedarf in kg *				Nährstoffkosten in € *				SUMME
	P2O5	K2O	MgO	CaO	P2O5	K2O - Verschnitt P- / K-Karten	MgO - über Kieserit / S rausgerechnet	CaO	
Fingerprobe	7.202	4.981	4.607	23.493	5.452	2.660	3.594	1.433	13.139
Ton **	7.202	2.251	3.735	2.871	5.452	1.202	2.914	175	9.743
Ton plus Feinschluff ***	7.202	2.656	3.902	2.871	5.452	1.418	3.044	175	10.089
Ton & Schluff **	7.202	2.341	3.766	2.871	5.452	1.250	2.937	175	9.814

*für den Gesamtschlag und die 3-jährige Fruchtfolge: 2009 RAW 45 dt/ha – 2010 WW 97 dt/ha – 2011 GW 98 dt/ha **Schlämmanalyse – 3 Korngrößenfraktionen ***Schlämmanalyse -5 Korngrößenfraktionen

Die Kostendifferenzen zwischen den unterschiedlichen Ansätzen der Schlämmanalyse sind auf dem Koppelschlag aus der Bodenuntersuchung 2008 heraus dagegen vergleichsweise gering (Tab. 2).

Tab. 2: Mehrkosten Nährstoffe in Abhängigkeit von der Analyse

Koppelschlag 20 ha - Bodenuntersuchung 2008

Nährstoffkostendifferenz in € * ohne MwSt	Fingerprobe	Ton **	Ton plus Feinschluff ***	Ton & Schluff **	Nährstoff- Kostenrelationen
Fingerprobe		-3.396	-3.049	-3.324	100
Ton **	3.396		346	72	74
Ton plus Feinschluff ***	3.049	-346		-275	77
Ton & Schluff **	3.324	-72	275		75

Schlämmanalysekosten	Anzahl Proben pro Schlag	€/Probe	€ Schlag excl. MwSt
3 Korngrößenfraktionen	21	35	735
5 Korngrößenfraktionen		60	1.260

*für den Gesamtschlag und die 3-jährige Fruchtfolge: 2009 RAW 45 dt/ha – 2010 WW 97 dt/ha – 2011 GW 98 dt/ha **Schlämmanalyse – 3 Korngrößenfraktionen
***Schlämmanalyse - 5 Korngrößenfraktionen

Den um ca. 3000,- bis 3400,- € geringeren Nährstoffkosten aus der Schlämmanalyse stehen höhere Kosten für diese Methode der Bodenartbestimmung von 735,- bzw. 1260,- € im Vergleich zur Fingerprobe gegenüber.

6. Teilflächenspezifische Phosphatdüngung

Der Einstieg in die teilflächenspezifische Grunddüngung ist nach einem pragmatischen Ansatz des Betriebes in Anlehnung an die Richtwerte für die Düngung erfolgt. Dargestellt in Abbildung 6 für den Koppelschlag, hat sich die Phosphatversorgung nach einheitlicher Düngung bis 2008 und anschließender teilflächenspezifischer Ausbringung bis 2012 verbessert (mg P₂O₅/100g).

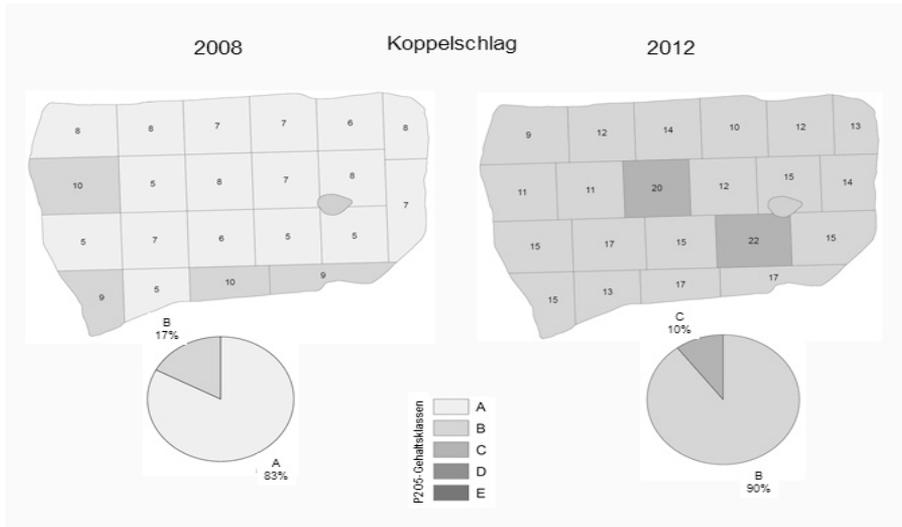


Abb. 6: Phosphatversorgung 2012 nach teilflächenspezifischer Düngung

7. Was leistet die Ausbringtechnik?

Zur technischen Umsetzung der teilflächenspezifischen Grunddüngung wurde der vorhandene Bredal-Großflächenstreuer für 5200,- € umgerüstet. Die Ansteuerung des Streuers von der Streukarte über das Terminal funktioniert stabil. Die Technik ermöglicht es jedoch nicht, einen Rückschrieb zur ortsspezifisch ausgebrachten Düngermenge zu generieren. Die Praxis aus Mecklenburg-Vorpommern berichtet von 3 bis 10 Sekunden Streuverzögerung. Herstellerangaben lassen sich hierzu kaum finden. Die Abbildung 7 vermittelt einen Eindruck über die räumliche Abweichung vom vorgegebenen Streubild bei 10 Sekunden Streuverzögerung.

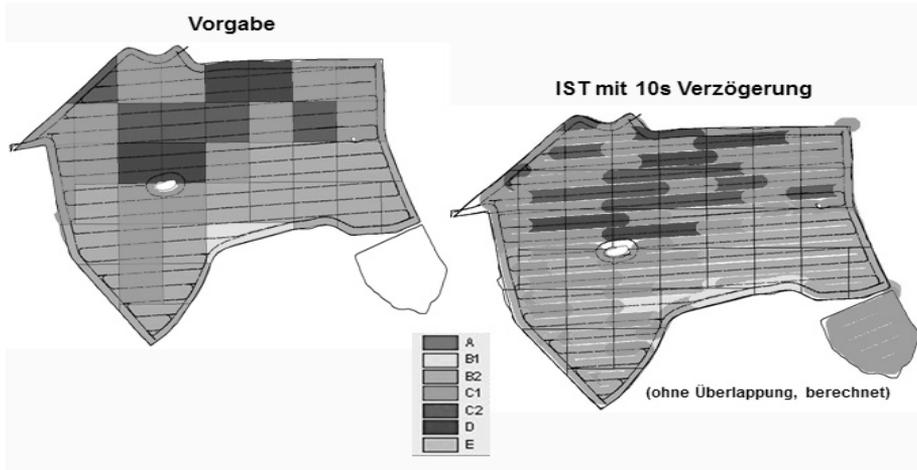


Abb. 7: SOLL und IST der teilflächenspezifischen Kali-Applikation – Achterweide Herbst 2011

8. Fazit

Über die anerkannten Methoden und Ansätze kann die Bodenart am Standort Helmstorf (Östliches Hügelland) offensichtlich nicht eindeutig bestimmt werden. Die Bodenart ist jedoch ein entscheidender Faktor für die Ermittlung der Nährstoffversorgung und des Düngebedarfs bei Kalium, Magnesium und Kalk.

Der Praktiker braucht letztendlich für seinen wirtschaftlichen Erfolg in Grunddüngung und Pflanzenbau eine verlässliche Bodenartbestimmung. Dieses gilt für flächeneinheitliche Düngung gleichermaßen wie für teilflächenspezifische Verfahren.

Die Minimierung der Streuverzögerung, d. h. die Zeit vom Impuls aus der Streukarte bis zum Auftreffen des Düngerkorns, erfordert künftig eine schneller arbeitende Dosiereinheit. Nur so kann das ursprüngliche Ziel durch teilflächenspezifische Düngung wirtschaftlich besser zu werden, auch erreicht werden.

Weitere Informationen finden Sie unter <http://www.lksh.de/landwirtschaft/pflanze/on-farm-research-2012/>

Die digitale Hofbodenkarte als Grundlage für die teilschlagspezifische Landbewirtschaftung

F. Lorenz

LUFANord-West, Oldenburg

1. Einleitung

Für die Planung und Umsetzung GPS-gestützter, teilschlagspezifischer Bewirtschaftungsmaßnahmen – angefangen von der Bodenprobenahme über Kalkung und Grunddüngung bis hin zu Bodenbearbeitung und Aussaat – ist eine digitale Karte notwendig, die die Teilschläge voneinander abgrenzt. Diese Abgrenzung erfolgt auf Grundlage wesentlicher, den Pflanzenwuchs bestimmender Standorteigenschaften. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Bodenaufbau und Bodenart. Darüber hinaus nehmen das Relief, die Wasserhältnisse und manchmal die Vorbewirtschaftung Einfluss. Diese Ursachen muss eine solche Karte erklären können.

Außer dem effizienten Einsatz von Produktionsmitteln interessiert in der Praxis die Frage, ob das Ertragspotential der Teilflächen bereits ausgeschöpft ist oder ob die Möglichkeit besteht, durch gezielte ackerbauliche Maßnahmen – z. B. Be- und Entwässerung, Beseitigung von Störungen, Zufuhr von organischer Substanz – die Ertragsfähigkeit zu verbessern. Dabei stehen nicht nur Jahreseffekte im Fokus, sondern auch der langfristige Erhalt und Aufbau der Bodenfruchtbarkeit.

Weitere Forderungen an eine solche Karte schließen die EDV-gerechte Aufbereitung der Attribute ein, um Algorithmen für teilschlagspezifische Maßnahmen einfach umsetzen zu können, ferner ein Format, das von gängigen, in elektronischen Ackerschlagkarteien eingebauten geografischen Informationssystemen verarbeitet werden kann und nicht zuletzt die Möglichkeit, in Zukunft verfügbare Informationen zu integrieren.

2. Problemstellung

Um eine solche hoch auflösende Standortpotentialkarte zu erstellen – für die sich in der Praxis der Begriff „Digitale Hofbodenkarte“ durchgesetzt hat

(Boess, 2004) –, ist es erforderlich, die boden- und bewirtschaftungsbedingten Unterschiede innerhalb von Ackerschlägen zu beschreiben und als Teilschläge zu georeferenzieren.

Diese Arbeit erfordert eine hohe Genauigkeit, soll doch die Hofbodenkarte wenigstens für eine Bewirtschaftergeneration Bestand haben. Die Kosten müssen aber dennoch in einem Rahmen bleiben, der einen hohen Nutzen erwarten lässt. Daher ließe sich eine Hofbodenkarte nicht – z. B. in Anlehnung an die Bodenschätzung – alleine mittels einer engmaschigen Bodenkartierung erstellen. Es ist daher erforderlich, durch die Auswahl, Verarbeitung und Kombination ausgewählter Standortinformationen zunächst eine Konzeptkarte anzufertigen und anschließend die Bodenkartierung an Stellen durchzuführen, wo keine Bodeninformationen vorliegen oder diese nicht eindeutig zu interpretieren sind. Dies wird im Folgenden beschrieben.

3. Informationsquellen zur Ermittlung der Standortheterogenität

Um Standortunterschiede qualitativ und quantitativ zu identifizieren, gibt es ein breitgefächertes Angebot an Informationsquellen und Verfahren auf dem Markt. Diese sind in Tabelle 1 aufgeführt.

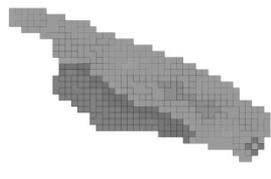
Man kann zwei Gruppen von Informationen unterscheiden: **strukturell** und **erklärend**.

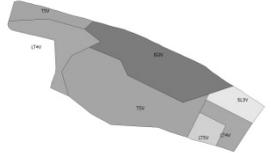
Struktur-Informationen aus der Fern- (z. B. Luftbilder) und Naherkundung (z. B. elektrische Leitfähigkeitsmessung) zeigen Strukturen meistens ganzflächig und detailliert. Sie sind relativ einfach und kostengünstig zu erheben, weshalb sie auch in der Praxis schon weite Verbreitung gefunden haben. Sie liefern jedoch keine Erklärungen für die Ursachen der Unterschiede, sondern in der Regel relative Messwerte. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass sich Struktur-Informationen ergänzen, aber auch widersprechen können. So stimmen Luftbilder und Biomassekarten mit der Leitfähigkeitsmessung nicht immer überein, weil Messgegenstand (hier Biomasse, dort Boden) und Messverfahren völlig unterschiedlich sind.

Erklärende Informationen (z. B. ein Bodenprofil) benennen die zugrunde liegenden Ursachen. Sie werden meistens an einem Punkt erhoben und die Infor-

mationen auf die um den Punkt liegende, sich einheitlich präsentierende Fläche bezogen.

Tab. 1: Informationsquellen zur Ermittlung der Standortheterogenität (Beispielbilder von einem 21-ha-Schlag)

Verfahren	Eigenschaften
Struktur-Informationen: Detaillierte Differenzierung von Strukturen möglich, aber keine Erklärung zu den Ursachen	
Luftbilder, Satellitenaufnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Bei optimalen Aufnahmebedingungen (abtrocknende, unbewachsene Felder oder bewachsene Äcker zu Zeiten relativen Wassermangels) sehr gute Differenzierung von Strukturen, die durch spektrale Auflösung noch verbessert werden können • boden- und bewirtschaftungsbedingte Ursachen werden nicht unterschieden
Biomassekarten	<ul style="list-style-type: none"> • z. B. von Stickstoff-Sensoren; sinnvolles Hilfsmittel, wenn deutliche Unterschiede im Bestand zutage treten (vgl. Luftbilder) • abhängig von der bei der Überfahrt gemessenen Fläche
TF Basiskarte 	<ul style="list-style-type: none"> • Mehrjährige Auswertung von Satellitenbildern • zeigt beständige sektorale Standortunterschiede als prozentuale Abweichung vom Mittel des Schlates im 20 m x 20 m-Raster • boden- und bewirtschaftungsbedingte Unterschiede werden nicht unterschieden
Ertragskarten 	<ul style="list-style-type: none"> • Beeinflussung des Ergebnisses sowohl durch die Wasserversorgung als auch durch Bewirtschaftungsmaßnahmen • Kartenerstellung unter Erntebedingungen kann mit Schwierigkeiten behaftet sein • gut zum Finden von Problemstellen geeignet, Nährstoffabfuhr kann berechnet werden

<p>Elektrische Bodenleitfähigkeitsmessung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Leitfähigkeit wird wesentlich durch den Bodenwassergehalt bestimmt • Messung sollte bei gleichmäßiger Durchfeuchtung des Bodens erfolgen – der Boden muss außerdem noch so viel Wasser enthalten, dass er leitfähig ist • Korrelation der Messwerte zum Tongehalt des Bodens variiert und lässt sich nicht direkt ableiten; tief messende Geräte (EM38 bis 150 cm) betonen stark den Untergrund; bei wechselnder Substratabfolge (z. B. Lehm über Sand) Verfahren wählen, die mehr Tiefen messen, z. B. Veris 3100 (0-30 und 0-90 cm), Geophilus electricus (6 Tiefen bis 150 cm)
<p>Digitales Geländemodell</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Zeigt die Höhenunterschiede im Gelände • leistet Hilfestellung bei der Erklärung von reliefbedingten Bodenunterschieden
<p>Erklärende Informationen: Liegen an Punkten vor und werden auf die darum herumliegende, einheitliche Fläche übertragen</p>	
<p>Bodenschätzung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Man unterscheidet <ul style="list-style-type: none"> – Klassenzeichen: Zusammengefasste Information über die Ertragsfähigkeit einer Teilfläche (= Klassenfläche), z. B. IS3V 46/44. – Bestimmendes Grabloch: Detailliertes, einer Klassenfläche zugeordnetes Bodenprofil • Grenzen orientieren sich nicht nur an natürlichen Verhältnissen; Überprüfung der Angaben sinnvoll • Digitalisierung noch nicht in allen Bundesländern abgeschlossen

<p>Geologische Karten</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • liefern Informationen über Art und Verbreitung des Untergrundes • leistet Hilfestellung bei der Erklärung von Bodenunterschieden
<p>Bodenkartierung</p> 	<p>Gezielte Ursachenforschung, meistens genutzt zur Erstellung einer Hofbodenkarte in Verbindung mit Struktur-Informationen</p>
<p>Erfahrung der Bewirtschafter</p>	<p>Informationen zu Boden- und Bewirtschaftungsunterschieden aus langjährigen Erfahrungswerten</p>

4. Vorgehensweise bei der Erstellung der Hofbodenkarte

4.1 Informationen sammeln

Im ersten Schritt werden die vorhandenen Informationen gesichtet und erforderlichenfalls weitere hinzugezogen. Luftbilder sind in jedem Fall vorhanden und bieten eine erste Orientierung. Welche weiteren strukturabbildenden Informationen herangezogen werden, beruht auf deren Verfügbarkeit und den Standortgegebenheiten. Als erklärende Informationen sollten auf jeden Fall die Ergebnisse der Bodenschätzung hinzugezogen werden und wenn möglich auch geologische Karten.

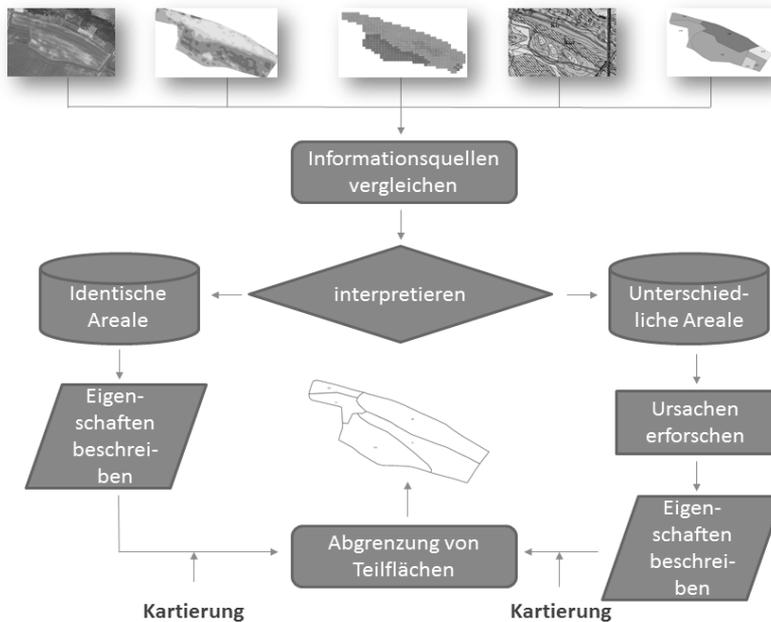


Abb. 1: Vorgehensweise bei der Abgrenzung von Teilschlägen mittels unterschiedlicher Informationsquellen

4.2 Informationen vergleichen und interpretieren

Vereinfacht dargestellt werden mit Hilfe der Struktur-Informationen (Luftbilder, Leitfähigkeitsmessung, Biomassekarten) Teilflächen – auch mittels räumlicher Analysen im GIS – herausgearbeitet und mit Hilfe erklärender Informationen (zum Beispiel mit Hilfe von Bodenschätzung und Kartierung) die zugrunde liegenden Ursachen ermittelt (Abb. 1). Diese Vorgehensweise wurde vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) in Hannover entwickelt (Boess, 2004). Die Größe der Teilflächen richtet sich ganz allein nach den boden- und bewirtschaftungsbedingten Unterschieden. Erfahrungsgemäß sind allerdings unter landwirtschaftlichen Verhältnissen Teilflächen $< 0,5$ ha mit gängigen Arbeitsbreiten kaum mehr sinnvoll differenziert zu bewirtschaften.

4.3 Selektive Bodenkartierung

Eine Bodenkartierung ist in den Teilflächen sinnvoll, in denen keine Informationen über den Bodenaufbau vorhanden sind und dort, wo widersprüchliche

Informationen vorliegen und der tatsächliche Bodenaufbau nicht z. B. aus den Grablochbeschrieben der Bodenschätzung ermittelt werden kann. Die Bodenkartierung erfolgt nach den Regeln der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-hoc-AG Boden, 2005), und die Ergebnisse werden in einer normierten Datenbank niedergelegt. Das gängige Verfahren ist die Peilstangenbohrung mit dem Pürckhauer-Bohrstock bei einer Mindestdiefe von 1 m.

Bei bewirtschaftungsbedingten Unterschieden kann der Bodenaufbau trotzdem gleich sein. Hier ist eine weitergehende Ursachenforschung erforderlich, wie eine Untersuchung auf pH-Wert und Bodennährstoffgehalte oder die Sondierung der Wasserverhältnisse – nicht selten wurde beobachtet, dass defekte Drainagen Wuchsbeeinträchtigungen verursachen. Hier ist natürlich die Rücksprache mit dem Bewirtschafter sinnvoll, dessen Anwesenheit bei der Kartierung sich erfahrungsgemäß für beide Seiten als sehr gewinnbringend erweist.

4.4 Hofbodenkarte anfertigen

Die Hofbodenkarte besteht in der Regel aus einem ESRI-Shapefile, das von allen gängigen elektronischen Ackerschlagkarteien mit GIS gelesen werden kann, und enthält die georeferenzierten Teilschläge mit den Bodeneigenschaften als Attribute in einem Datenbankformat. Die Attribute enthalten die Bodenschichten mit Ober- und Untertiefe, der Feinboden- und Skelettbeschaffenheit, der Abschätzung von Humus- und Kalkgehalten sowie Hydromorphie- und weiteren bedeutenden Merkmalen. Idealerweise wird für den 1. Horizont zusätzlich zu der nach der bodenkundlichen Kartieranleitung ermittelten Bodenart des Feinbodens die Bodenart nach den Düngerichtlinien des jeweiligen Bundeslandes angegeben. Bei der Bodennährstoffuntersuchung kann diese an das Labor weitergeleitet werden, so dass die Düngeempfehlungen bzw. die Applikationskarten passend zur Bodenart berechnet werden können.

5. Anwendungen der Hofbodenkarte

Aktuell am häufigsten wird die teilschlagspezifische Bewirtschaftung bei der Kalkung und Grunddüngung angewendet. Die Probenahme hat aufgrund den nach der Bodenart differenzierten pH-Optima und Düngungsempfehlungen z. B. für Kalium und Magnesium innerhalb der Teilflächen zu erfolgen. Dafür ist es erforderlich, dass die Ganglinien des Probenehmers bzw. die Probenahme-

punkte bereits vor der Probenahme festgelegt werden und der Probenehmer mit einem GPS-Gerät ausgestattet ist, auf dem er die Route nachgehen oder –fahren kann. Wenn die Teilschläge größer sind als für die Bodenprobenahme empfohlen (VDLUFA, 1991), sind sie weiter zu unterteilen (Abb. 2).

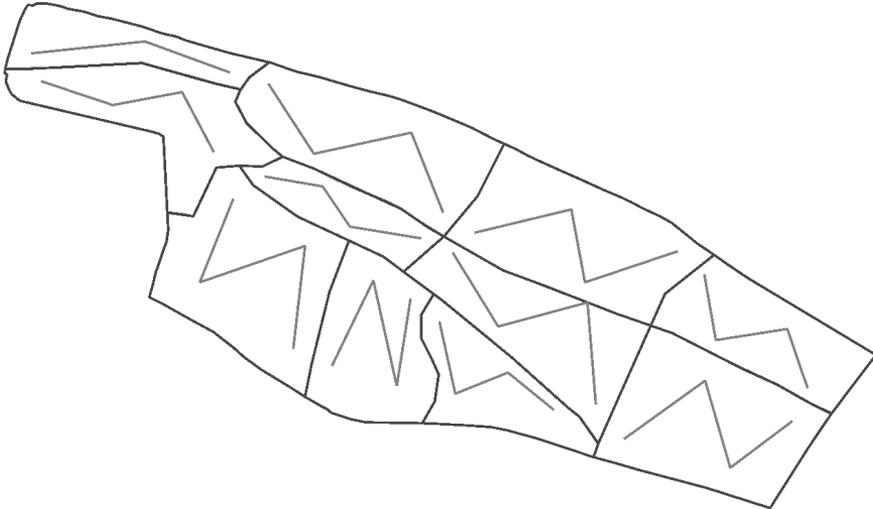


Abb.2: Probenahmeflächen und Ganglinien für die Untersuchung auf pH-Wert und Grundnährstoffe am Beispiel eines 21-ha-Schlages.

Die Hofbodenkarte lässt sich prinzipiell für alle planungsrelevanten, bodenbezogenen Maßnahmen im Acker- und Pflanzenbau einsetzen. Diese Maßnahmen umfassen neben der Kalkung und Düngung die teilschlagspezifische Aussaat, Bodenbearbeitung, Verbesserung der Humusversorgung, Beregnung und mehr. Vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie in Hannover wurde eine Sammlung von Algorithmen für die Hofbodenkarte entwickelt (Müller und Waldeck, 2011), die u. a. Algorithmen für die Berechnung der nutzbaren Feldkapazität, der ortsspezifischen Bodenbearbeitung nach Voßhenrich (2004) oder der Erosionsgefährdung enthält. Algorithmen können auch betriebsindividuell entwickelt werden, wie es sich zum Beispiel für die Differenzierung der Aussaatstärke als sinnvoll erwiesen hat.

6. Zusammenfassung

Mit der digitalen Hofbodenkarte wird für die landwirtschaftliche Praxis eine Möglichkeit geschaffen, Teilschläge aufgrund von boden- und bewirtschaftungsbedingten Unterschieden zu georeferenzieren und ihre Eigenschaften zu beschreiben. Darauf aufbauend können acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen geplant werden, die den Standortbedingungen angepasst sind und helfen, den Betriebsmitteleinsatz zu optimieren und langfristig die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten.

7. Literaturangaben

- Ad-hoc-AG Boden, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Boess, J., 2004: Kartierkonzept zur Erstellung einer hochauflösenden Bodenkarte für die teilschlagspezifische Bewirtschaftung. Arb.-H. Boden 5, 35-45.
- Müller, U., Waldeck, A., 2011: Auswertungsmethoden im Bodenschutz – Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®). GeoBer. 19, 1-415.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1991: Methode A 1.2.1, Probenahme für die Untersuchung auf pflanzenverfügbare Nährstoffe in Acker- und Gartenböden. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch). Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Voßhenrich, H.-H., 2004: Ortsspezifische Bodenbearbeitung. Arb.-H. Boden 5, 65-69.

Einsatz von „Biokohle“ in der Landwirtschaft (Zwischenergebnisse eines BLE-Drittmittel- projektes)

M. Mokry, T. Aichele, K. Michels, J. Breuer

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe

1. Einleitung

Die Ertragsleistung eines Bodens wird maßgeblich durch seine Bodenfruchtbarkeit definiert. Durch die Wechselwirkungen von Klima, Bodeneigenschaften und Bewirtschaftung werden die Voraussetzungen hierfür und somit für das Wachstum einer Pflanze bestimmt.

Die Bodenbewirtschaftung, wie sie heute häufig Anwendung findet, ist nicht immer vorteilhaft für die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften eines Bodens. Zudem werden durch die ständig wachsende Weltbevölkerung immer mehr Nahrungs- und Futtermittel gebraucht, während gleichzeitig die landwirtschaftlich nutzbare Fläche kontinuierlich abnimmt. Somit müssen die Bewirtschaftungsmethoden optimiert werden, um die Bodenfruchtbarkeit möglichst nachhaltig zu sichern oder – wenn nötig – zu verbessern.

So weckte beispielsweise die Wiederentdeckung der „Terra Preta“ im Amazonasbecken Brasiliens in den letzten Jahrzehnten ein enormes wissenschaftliches Interesse für die Nutzung von Biokohle zur Bodenverbesserung. Forscher entdeckten dort tiefgründige, sehr fruchtbare schwarzerdeartige Böden durchsetzt mit Tonscherben aus der vorkolumbianischen Zeit. Schätzungen zufolge beläuft sich die Ausdehnung der sogenannten „Terra Preta“ auf 10 % des Amazonasbeckens (Mann, 2002). „Terra Preta“- Böden haben sich anthropogen aus anorganischen und organischen Komponenten entwickelt. Man fand heraus, dass sich diese tiefgründige Humusschicht aus der Vermischung von Feuerstellenresten wie Asche und Kohle mit Essensresten wie Knochen und Fischgräten sowie Exkrementen, Urin und Biomasseabfällen entwickelt hat. Diese Bestandteile wurden mikrobiell metabolisiert und durch Humifikation im Boden stabilisiert. Noch ist unklar, ob die Bildung der „Terra Preta“ beabsichtigt oder unbeabsichtigt war. Die Landwirte vor Ort berichten von höheren Erträgen, bei denen sich die Kohleanteile als Schlüsselfaktor erweisen, die sie aufgrund ihrer

Stabilität und der Fähigkeit, Nährstoffe sowie Wasser zu speichern, einnehmen (Glaser et al., 2012).

Dieses Wissen möchte sich die Wissenschaft zunutze machen. Durch die Zufuhr von auf technischem Wege hergestellter Biokohle in landwirtschaftlich genutzten Böden könnte einerseits Kohlenstoff langfristig gespeichert (= C-Sequestrierung), andererseits könnten nährstoffarme oder mit Schadstoffen belastete Böden nachhaltig aufgewertet werden (Blackwell et al., 2009).

Zur bioenergetischen Nutzung von Restbiomasse werden derzeit zwei Verkohlungsverfahren – das Pyrolyse- und das HTC-Verfahren (= hydrothermale Karbonisierung) – als sehr effiziente und emissionsarme Verwertungsschienen genutzt. Die Option, das Umsetzungsprodukt „Biokohle“ als Wertstoff für landwirtschaftliche Böden anzuwenden, könnte vor dem Hintergrund der effizienten Verarbeitung schlecht verwertbarer, unbedenklicher Restbiomassen zu neuen Wertschöpfungspotentialen führen.

2. Material und Methoden

2.1 Pyrolyseverfahren

Durch Variation von Temperatur und Prozessdauer, aber auch der Aufheizrate werden während des Pyrolyse-Prozesses die Mengenanteile an flüssigen, gasförmigen oder festen Komponenten im Endprodukt beeinflusst. Die Pyrolyse ist ein in der Industrie häufig benutztes Verfahren, um beispielsweise Bio-Öl, Pyrolysegase oder Biokohle zu gewinnen. Bei der Kohleherstellung haben sich ein langsames Aufheizen, Temperaturen zwischen 400 °C bis 800 °C und eine Verweildauer über mehrere Stunden bewährt. Je höher die Temperatur, desto höher ist der Kohlenstoffgehalt und desto abbaustabiler wird die Kohle (Rönsch, 2011). Für die Pyrolyse eignen sich besonders Ausgangssubstrate mit einem Trockensubstanzgehalt größer 50 % (Holz sowie trockene Reststoffe aus der Landwirtschaft wie z. B. Stroh), da ansonsten das Material vorher energieaufwändig getrocknet werden müsste.

2.2 HTC-Verfahren

Die hydrothermale Carbonisierung, –kurz HTC genannt– ist ein Nassverfahren, bei dem die Kohle bei Temperaturen von ca. 200 °C und einem Druck von etwa

20 bar hergestellt wird. Während die Biomasse für ungefähr 6 Stunden im Reaktor unter Zugabe von Säuren und Salzen behandelt wird, wird eine Vielzahl von Prozessen wie beispielsweise Hydrolyse, Dehydratisierung, Decarboxylierung sowie Agglomeration und Polymerisierung in Gang gesetzt. Hierdurch entstehen verschiedenste Zwischenprodukte wie Zucker, Furfurale oder organische Säuren (Buttmann, 2011).

2.3 Eigenschaften der Biokohletypen

Da mit dem HTC-Verfahren eine Vielzahl von HTC-Kohlen mit unterschiedlichsten Eigenschaften hergestellt werden kann, ist im Vergleich zur pyrogenen Kohle bisher nur wenig über ihre Auswirkungen im Boden bekannt. Während es beim HTC-Prozess zu einer vollständigen strukturellen Auflösung des verwendeten Ausgangsmaterials mit anschließender Polymerisation der Abbauprodukte kommt, bleibt bei der Pyrolyse die Struktur des Ausgangsmaterials weitestgehend erhalten. Daher ist die pyrogene Biokohle äußerst porös und besitzt eine enorme spezifische Oberfläche von teilweise über 300 m² pro Gramm (Schmidt, 2011). Durch den hohen Porengehalt können sowohl die Wasser-, als auch die Luftkapazität eines Bodens erheblich verbessert werden. Die Poren stellen nicht nur einen möglichen Wurzeldurchgang dar, sondern bieten auch Mikroorganismen ein nährstoffreiches Habitat an, das vor „Feinden“ geschützt ist. Aufgrund der großen spezifischen Oberfläche und der damit einhergehenden Adsorptionsleistung kann die pyrogene Biokohle zum einen als Trägermittel für Nährstoffe und zum anderen als Puffer gegen die Auswaschung von organischen Schadstoffen und Schwermetallen ins Grundwasser gesehen werden. Diese Eigenschaft kann zwar in nährstoffarmen Böden erhebliche Vorteile bringen, es besteht aber durchaus auch die Möglichkeit, dass Nährstoffe – mit der Folge möglicher Ertragseinbußen – zunächst immobilisiert werden (Schmidt, 2011). Obwohl bereits zahlreiche Untersuchungen zu den physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften verschiedener Kohlen durchgeführt wurden, fehlt immer noch ein präziser Leitfaden für den Einsatz von Biokohle in der Landwirtschaft.

2.4 Feldversuche zum Einsatz von „Biokohle“

Das Landwirtschaftliche Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg beschäftigt sich aktuell mit dem Einsatz von Biokohle in der Landwirtschaft. Das von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) über die landwirtschaftliche

Tab. 1: Kenndaten der Versuchsstandorte

Parameter	Dimension	Forchheim	Freiburg
Bodenart		IS	uL
pH		5,4	7,3
Humus	[% TM]	2,2	1,7
Gesamt-N		0,1	0,1
P ₂ O ₅	[mg/100 g B.]	16	20
K ₂ O		12	17
Mg		5	7
Bor	[mg/kg TM]	0,14	0,24
Mangan		73	14
Zink		4	3
Kupfer		1,6	1,7

Tab. 2: Kenndaten der organischen Dünger

org. Dünger bzw. Biokohlen	TS [% FM]	pH-Wert	N	NH ₄	P [% TM]	K	Mg
Kompost	54,8	7,3	0,91	-	0,71	1,61	1,08
Gärrest fest	18,5	9,2	2,80	1,54	0,82	3,60	0,29
HTC-Kohle	33,9	4,7	3,80	0,18	1,21	0,02	0,23
Pyrolyse-Kohle	67,0	10,5	0,60	-	3,05	0,78	0,51

Tab. 3: Versuchsplan

Variante (VG)	Behandlung	Aufwandmenge
1	ohne jegliche Düngung	
2	Kompost	40 t FM/ha
3	Gärrest fest	20 t FM/ha
4	mineralische Düngung	N: kulturspezifisch; P: Abfuhr; K: kulturspezifisch
5	HTC-Kohle (Biertreber)	20 t TM/ha
6	HTC-Kohle + Kompost	20 t TM/ha + 40 t FM/ha
7	HTC-Kohle + GR fest	20 t TM/ha + 20 t FM/ha
8	Pyrolyse-Kohle (Grünmasse)	20 t TM/ha
9	Pyrolyse-Kohle + Kompost	20 t TM/ha + 40 t FM/ha
10	Pyrolyse-Kohle + GR fest	20 t TM/ha + 20 t FM/ha

Rentenbank geförderte sog. „CarboSolum“-Projekt untersucht dabei u. a. die physikalischen, chemischen und biologischen Auswirkungen zweier auf unterschiedliche Weise karbonisierter Restbiomassen (Landschaftspflegematerial und Biotreber) auf den Boden und die Pflanzenproduktion über drei Versuchsjahre. Ziel der hierfür angelegten Feldversuche ist es, Aussagen über Mindeststandards der gewählten Biokohlen zu treffen. Für die Feldversuche wurden zwei Standorte mit verschiedenen Bodeneigenschaften ausgewählt (Tab. 1).

Da es bislang keine gesetzlichen Regelungen für den Einsatz von Biokohle auf landwirtschaftlich genutzten Böden gibt, orientierte man sich bei der Versuchsdüngung an der BioAbfV (= Bioabfall-Verordnung). Dementsprechend wurden zur Versuchsanlage 20 t TM ha⁻¹ Biokohle einmalig ausgebracht und flach (maximal 10 cm) eingearbeitet. Auf der Basis einer standort- und kulturspezifischen N-Düngebedarfsermittlung wurden alle Versuchsglieder unter Beachtung des bereits aktuell vorhandenen oder zu erwartenden löslichen N zusätzlich mit mineralischem Stickstoff gedüngt.

Tab. 4: Nährstofffrachten [kg/ha] – mit Düngung zu Versuchsbeginn ausgebracht

Variante	Nährstofffrachten				
	N	lösl. N	P	K	M
	kg ha ⁻¹				
Kompost	19	1	156	35	23
Gärrest (fest)	10	5	3	26	1
Gärrest	6	3	1	8	8
HTC-	76	1	242	4	4
HTC +	95	2	398	35	28
HTC + Gärrest (fest)	86	6	272	27	5
Pyrolyse-Kohle	12	-	610	15	10
Pyrolyse + Kompost	31	1	766	50	33
Pyrolyse + Gärrest (fest)	22	5	640	42	11

*Aufbringung im 2. Versuchsjahr (VG 4)

In Tabelle 2 sind die Nährstoffgehalte der ausgebrachten Substrate aufgeführt. Zunächst wird davon ausgegangen, dass der Ertrag maßgeblich von den tatsächlich ausgebrachten Nährstoffen (Tabelle 4) beeinflusst wird, jedoch sind auch Parameter wie pH-Wert und physikalische Beschaffenheit des jeweiligen Düngerstoffes ausschlaggebend für die Bindungsform und Verfügbarkeit der Nährstoffe und somit für die Ertragsbildung.

Da die Biokohlen aus verschiedenen Ausgangssubstraten (Pyrolyse-Kohle aus Landschaftspflegematerial – HTC-Kohle aus Biertreber) hergestellt wurden, sind deren Inhaltsstoffe und physikalischen Eigenschaften ebenfalls z. T. sehr unterschiedlich.

Besonders hervorzuheben sind hierbei die deutlichen Unterschiede im TS-Gehalt. Dies beruht darauf, dass bei der Bildung der pyrogenen Kohle unter sehr hohen Temperaturen Wasser ausgetrieben, während beim HTC-Verfahren Wasser zugesetzt (= Nassverfahren) wird. Auch der pH-Wert der beiden Kohlen unterscheidet sich wesentlich. Dies kann in Abhängigkeit von der Ausbringungsmenge einen starken Einfluss auf die mikrobielle Besiedlung der Kohle und dadurch u. a. auf die N-Verfügbarkeit ausüben. Die Nährstoffgehalte der im Versuch verwendeten Vergleichssubstrate „Kompost“ und „Gärreste fest“ variieren in Abhängigkeit vom jeweiligen Ausgangsmaterial und Herstellungsverfahren deutlich. In Folge anaerober Vergärung im Biogasreaktor weisen beispielsweise die Gärreste fest einen hohen Gehalt an verfügbaren $\text{NH}_4\text{-N}$ auf, der beim Kompost und den Biokohlen vernachlässigbar klein ist. Dagegen ist der Stickstoff im Kompost vorwiegend in organischer Form gebunden, weshalb dieser erst nach einer längeren Verweilzeit verfügbar wird. Im Vergleich zum Landschaftspflegematerial, welches vorwiegend aus Cellulose, Hemicellulose und etwas Lignin besteht, enthalten Biertreber einen hohen Anteil an Proteinen. Deshalb weist die HTC-Kohle höhere N-Gehalte als die pyrogene Kohle auf. Die Kaliumgehalte sind bei der HTC-Kohle im Vergleich zu den anderen Substraten sehr gering, da einerseits der Kaliumgehalt von Getreidekörnern niedrig ist und andererseits während des HTC-Prozesses ein Großteil des löslichen Kaliums in das sog. Prozesswasser übergeht.

3. Versuchsergebnisse

Dargestellt sind die Ergebnisse des Standortes „Forchheim“. Abbildungen 1 und 2 zeigen die **Körnermais- bzw. Wintergetreideerträge** und die korrespondierenden **Rohproteingehalte** im Mittel von vier Wiederholungen. Statistisch gesehen gab es im ersten bzw. zweiten Versuchsjahr weder Tendenzen noch Unterschiede zwischen den gedüngten Versuchsgliedern bei Körnermais wie Winterweizen. Im 3. Versuchsjahr mit Wintergerste wurde der errechnete N-Düngebedarf um 20 % reduziert. In der Folge waren nun die Kornerträge der Varianten mit zusätzlicher Kompost- bzw. GR-Feststoff-Zufuhr sowie im Block

mit HTC-Kohlezufuhr gesichert höher als bei alleiniger (reduzierter) mineralischer N-Gabe und bei einer Kombination von Pyrolysekohle mit GR-Feststoff. Letzteres könnte als Folge des deutlich geringeren N-Inputs mit pyrolytischer Kohle im Vergleich zur HTC-Kohle gewertet werden.

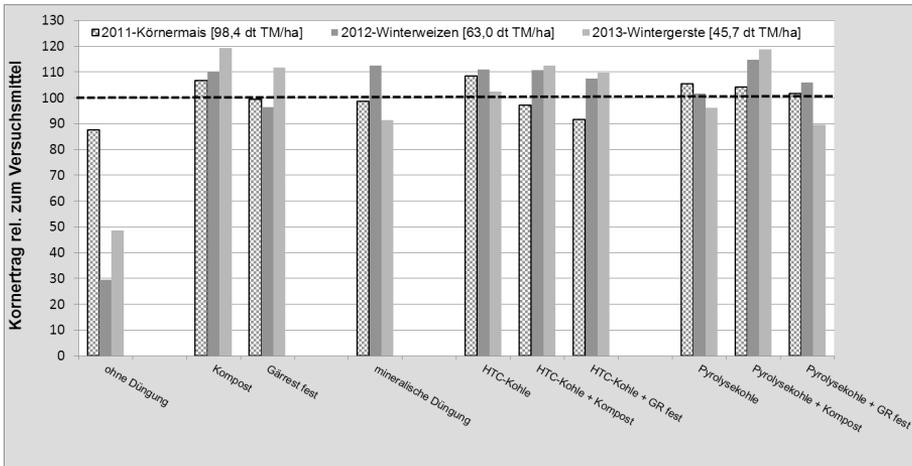


Abb. 1: Kornerträge [rel. zum Versuchsmittel] am Standort „Forchheim“

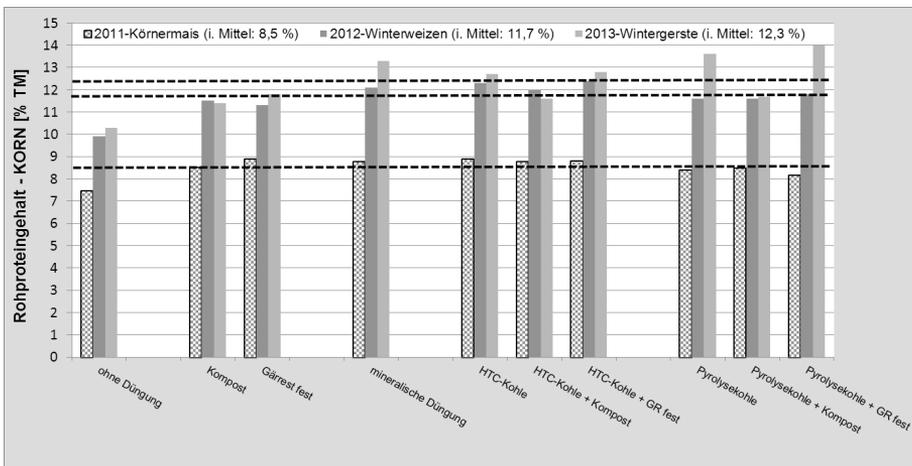


Abb. 2: Rohproteingehalte [% TM bzw. im Mittel] am Standort „Forchheim“

Die Proteingehalte variierten in Abhängigkeit vom Ertragsniveau und der jeweiligen Kultur und lagen nur in Einzelfällen (konzentrationsbedingt) über den ausgewiesenen Versuchsmitteln.

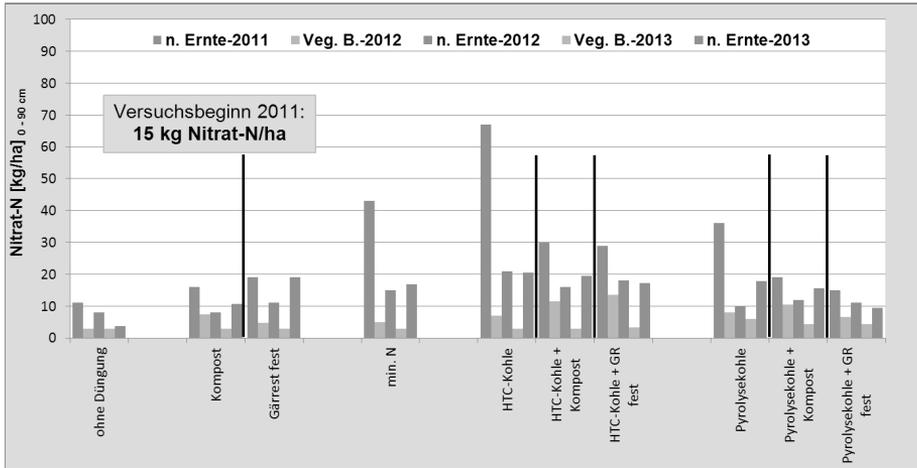


Abb. 3: N_{min} -Gehalte [kg Nitrat-N/ha von 0 bis 90 cm] am Standort „Forchheim“

Die **Mineralstoffgehalte** P, K und Mg der Ernteproben wiesen keine Unterschiede unabhängig vom Versuchsjahr, vom Standort oder von der jeweiligen Kultur auf.

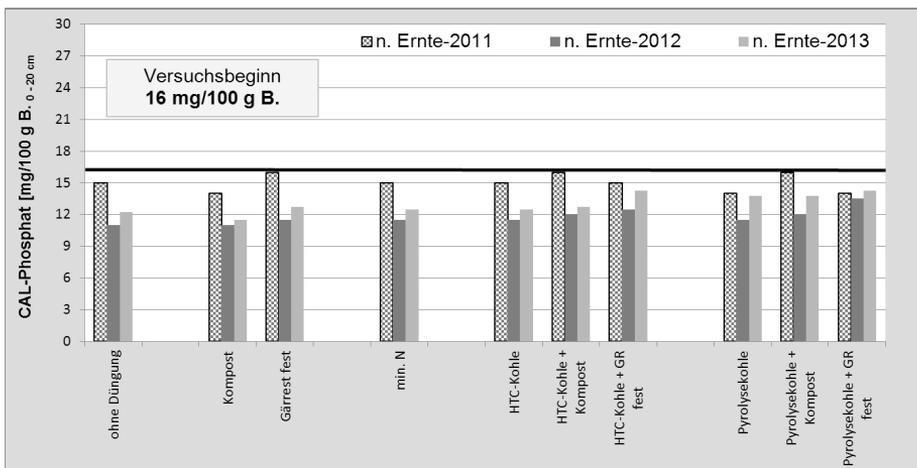


Abb. 4: CAL-Phosphatgehalte [0 bis 20 cm] am Standort „Forchheim“

Die N_{min} -**Ergebnisse** (Abb. 3) der mineralisch sowie ausschließlich mit HTC- bzw. Pyrolysekohle gedüngten Varianten waren nach der Ernte des 1. Ver-

suchsjahres am Standort „Forchheim“ leicht erhöht. Alle weiteren im Versuchsverlauf ermittelten Werte sind unspektakulär und lassen sich nicht zwingend einer Versuchsdüngung zuordnen.

Die Grundnährstoffe **Phosphat**, **Kali** und **Magnesium** sowie die **pH-Werte** der Böden zeigten bislang keine Reaktion auf die Versuchsanstellung. Überrascht hat dies besonders beim Phosphat im System mit Pyrolysekohle, da in diesem Falle hohe, kaum verfügbare P-Frachten (Tab. 4) ausgebracht wurden, die sich bislang weder in der löslichen P-Fraktion des Bodens (Abb. 4), noch in den P-Gehalten der Ernteprodukte niedergeschlagen haben.

Die C-Gehalte (kein Humus im herkömmlichen Sinn!) haben sich im Verlauf der Versuchsreihe kaum verändert, wenn man Unsicherheiten bei der jährlichen Herbstbeprobung und den Einfluss unterschiedlicher Versuchserträge in Betracht zieht. Am Standort „Forchheim“ deutet sich an, dass ein Teil des zugeführten Kohlenstoffs nach 3 Jahren „verbraucht“ ist. Inwieweit sich das Ausgangsniveau oder ein geringfügig höherer C-Gehalt einstellen wird, muss in den kommenden Jahren beobachtet werden.

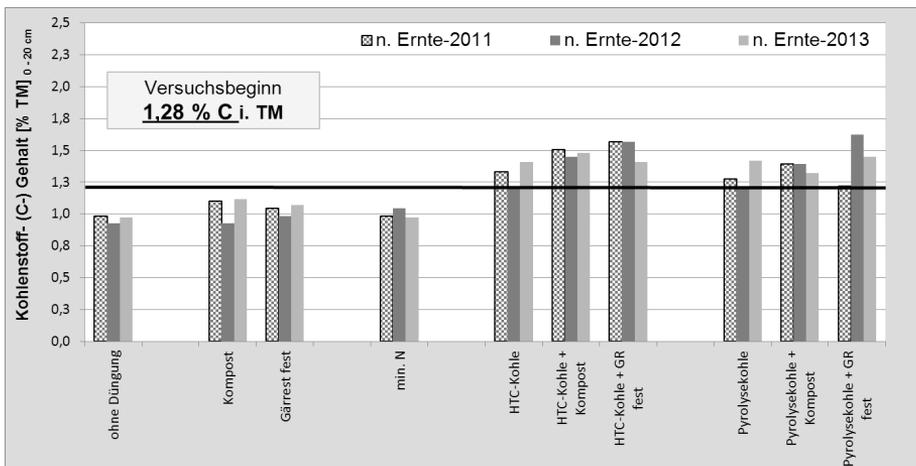


Abb. 5: Kohlenstoff- (C-) Gehalte [% TM von 0 bis 20 cm] am Standort „Forchheim“

4. Fazit

Die vorliegenden Versuchsergebnisse über zwei Vegetationsperioden mit Körnermais und Winterweizen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Körnerträge und Kornqualitäten unterscheiden sich nicht signifikant zwischen den mit Biokohle behandelten bzw. unbehandelten Versuchsgliedern im bisherigen Versuchszeitraum.
- Eine Reduzierung der N-Zufuhr hatte im 3. Versuchsjahr eine deutlichere Differenzierung der Erträge zur Folge. Dieser Aspekt sollte bei künftigen Feldversuchen näher untersucht werden.
- Erwartungsgemäß führt eine Biokohle-Zufuhr zu einem Anstieg der C-Gehalte im Boden. Es ist anzunehmen, dass die Prozesse, die zu einem höheren Anteil stabiler Humusformen führen können, nach 3 Jahren noch nicht abgeschlossen sind. Hierzu bedarf es der Beobachtung über einen längeren Zeitraum.
- Im Falle einer Kombination von Biokohle mit Kompost bzw. Gärrest fest sind die C-Gehalte deutlich höher. Dies weist auf eine positive Wechselwirkung hin, da Kompost bzw. Gärrest fest allein ausgebracht, diesen Effekt weniger deutlich zeigen.
- Es ist bekannt, dass die pyrogene Kohle die Fähigkeit besitzt, Ammonium- und Kali-Ionen in größerem Umfang zu binden. Somit könnten Biokohlen dieses Typs einerseits für den Einsatz im Grundwasserschutz an Bedeutung gewinnen, andererseits aber auch bei ihrer direkten Aufbringung auf Ackerböden zunächst eine Ammonium- und/oder Kalifixierung bewirken. Deshalb ist vor einem Einsatz von Biokohlen der Versorgungszustand der Böden insbesondere mit Kali zu prüfen oder eine vorherige Behandlung der Kohlen empfehlenswert, um Ertragsminderungen zu vermeiden.
- Zum heutigen Zeitpunkt können noch nicht alle positiven wie negativen Auswirkungen einer Zufuhr von Biokohle beschrieben werden, jedoch lässt sich feststellen, dass förderliche Eigenschaften eher auf leichteren („schwächeren“) Standorten zu beobachten sein werden.
- „Biokohle“ kann dann in der Landwirtschaft als Zusatzstoff an Bedeutung gewinnen, wenn die verwendeten Ausgangssubstrate bekannt und vor allem hinsichtlich ihrer stofflichen Zusammensetzung unbedenklich sind, wenn die zu behandelnden Böden „Schwachstellen“ bspw. eine schlechte Wasserversorgung oder hohe Schadstoffgehalte (anorganisch wie organisch) aufweisen (Sanierungsfälle) und wenn die Kosten für eine fachgerechte Zufuhr von 20 bis 30 t FM/ha Biokohle in einem finanzierbaren, aber auch konkurrenzfähigen Bereich liegen.

5. Literaturangaben

- Blackwell, P., Riethmuller, G., Collins, M., 2009: Biochar Application to Soil. Biochar for Environmental Management: Science and Technology. London. Sterling, VA: Eathscan, 2009. Ed. Lehmann J, Joseph S.
- Buttmann, M., 2011: Klimafreundliche Kohle durch Hydrothermale Karbonisierung von Biomasse. Chemie Ingenieur Technik 2011, 83, No II, 1890-1896.
- Glaser, B., Birk, J.J., 2012: State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earth in Central Amazonia, Terra Preta de Índio. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 82, 39-51.
- Mann, C.C., 2002: The real dirt on rainforest fertility. *Science* 297(9), 920-923.
- Rönsch, S., 2011: Optimierung und Bewertung von Anlagen zur Erzeugung von Methan, Strom und Wärme aus biogenen Festbrennstoffen. Deutsches Biomasse Forschungszentrum, Leipzig.
- Schmidt, H.-P., 2011: Pflanzenkohle. *Ithakajournal*, Delinat-Institut für Ökologie und Klimafarming, 75-82.

Terra Preta – was ist dran? Eine Bestandsaufnahme

R. Kluge¹, J. Reinhold²

¹Karlsruhe, ²Potsdam

1. Einführung

1.1 Was ist Terra Preta? Historische Entstehung

Als Terra Preta (TP) wird ein kohlenstoff(C)-reiches, schwarzes Substrat bezeichnet, das in den tropischen Regenwäldern von Amazonien wiederentdeckt worden ist. Entstanden sind solche Substrate, indem die Vorfahren der heutigen Regenwaldbewohner Küchenabfälle, Aschereste mit Pflanzenkohleanteilen, Fäkalien und Pflanzenreste kompostierten. Die über längere Zeiträume gebildeten TP-Substrate zeichnen sich durch hohe und stabile Humusgehalte aus, die unter tropischen Bedingungen nicht der ansonsten schnellen Humusmineralisierung unterliegen. Dieses Phänomen wird von Glaser (2007 und 2012) und anderen Wissenschaftlern als Modell für eine nachhaltige Landwirtschaft des 21. Jahrhunderts propagiert.

1.2 Herstellung

Nach bisher vorliegenden Erfahrungen (z. B. Reckin, 2012, Dunst, 2012) wird aus organischen Abfällen (Pflanzenreste, Wirtschaftsdünger, Gärreste, Küchenabfälle u. a.) unter Zusatz von Ton- und Urgesteinsmehl sowie 10-20 % Pyrolyse-Holzkohle, nachfolgend Pflanzenkohle genannt, durch mikrobiologische Umwandlung (Kompostierung, Fermentierung) ein kohlenstoff- und nährstoffreiches TP-Substrat hergestellt.

1.3 Prognostizierte Vorteilswirkungen

Durch den Pflanzenkohleanteil im TP-Substrat, der (offenbar) nicht bzw. nur sehr langsam abgebaut wird, soll nach Reckin (2012), Heckel und Pieplow (2010) und Glaser (2012) mit einer dauerhaften C-Konservierung im Boden (C-Sequestrierung) ein wesentlicher Beitrag zum Klimaschutz erreicht werden. Gleichzeitig soll kein Humusverlust mehr stattfinden. Durch den Pflanzenkohleanteil würden dauerhaft hohe Humusgehalte als Voraussetzung für eine hohe

Bodenfruchtbarkeit geschaffen, mit der sowohl eine optimale Nährstoffversorgung der Pflanzen als auch eine nachhaltige Bodenverbesserung gewährleistet werden sollen.

Die hohen Nährstoffanteile des TP-Substrates sollen einerseits an der Pflanzenkohle fest gebunden und damit zuverlässig vor Auswaschung geschützt sein. Andererseits würden diese den Pflanzen bei Bedarf zur Aufnahme voll zur Verfügung stehen. Eine Ergänzungsdüngung sei dann nicht mehr erforderlich. Gleichzeitig sollen durch das TP-Substrat alle Aspekte der Bodenverbesserung (Krümelstruktur, Porenvolumen, Wasserhaltekapazität, aktives Bodenleben) optimiert werden. Damit werde zudem die Phytohygiene so verbessert, dass auf chemische Pflanzenschutzmittel verzichtet werden könne. Voraussetzung für die richtige Anwendung des TP-Verfahrens sei, dass man – im Unterschied zur konventionellen Landwirtschaft – sehr hohe Humusgehalte im Boden von etwa 6-7% (Dunst, 2012), besser noch 10-15% (NDR, 2013) einstellt.

1.4 Bisherige Propagierung des TP-Verfahrens

Die Befürworter sagen dem TP-Verfahren eine herausragende Bedeutung für die nachhaltige Landbewirtschaftung voraus. Damit würden künftig alle (vermeintlichen) Nachteile der Bodenbewirtschaftung in der konventionellen Landwirtschaft behoben und mit der C-Sequestrierung zusätzlich ein wesentlicher Beitrag für den Klimaschutz geleistet. Die TP-Protagonisten plädieren deshalb schon seit längerem mit medialen Aktivitäten (z. B. Fernseh-Dokumentationen, wie ZDF, 2011, NDR, 2013, BR, 2013) für eine umfassende Einführung des TP-Verfahrens in die praktische Landwirtschaft der Bundesrepublik, weil nach ihrer Meinung nur auf diese Weise künftig dauerhaft hohe Humusgehalte und damit eine nachhaltig optimale Bodenfruchtbarkeit der Ackerböden gewährleistet werden können.

1.5 Stand der agrarwissenschaftlichen Bearbeitung

Bisher liegen kaum wissenschaftlich belastbare Ergebnisse vor, welche die – nach Meinung der TP-Befürworter herausragenden – Vorteilswirkungen des TP-Verfahrens für die Landwirtschaft belegen. Agrarwissenschaftliche Forschungsgruppen mit versuchstechnischem Equipment und Sachverstand bearbeiten nur ganz vereinzelt entsprechende Forschungsprojekte (z. B. Mokry et al., 2013). Einzelne Wissenschaftler aus angrenzenden Fachbereichen (Gla-

ser, 2012), haben mit ersten Feldversuchen begonnen, die offenen Fragen einer möglichen landwirtschaftlichen Anwendung der Terra Preta zu untersuchen. Außer drei Fernsehbeiträgen (vgl. Punkt 1.4), welche die visionäre Bedeutung des TP-Verfahrens herausstellen, liegen jedoch noch keine Ergebnisse vor, die wenigstens ansatzweise zu einer fachlichen Beurteilung des TP-Verfahrens beitragen könnten.

2. Bestandsaufnahme der Fakten

2.1 Humussituation deutscher Ackerböden

Ebertseder (2010) kam nach einer Studie an 41 000 Bodenanalysen deutscher Ackerböden zu der Einschätzung (zit.) „Die Humussituation hat sich in 13 Jahren (von 1996 bis 2008) nicht verschlechtert“. Körschens (2013) konnte am Beispiel deutscher Dauerversuche zeigen, dass in den letzten 20 Jahren keine Verringerung des Humusgehaltes in Ackerböden festzustellen war. Deshalb kommen die „AgrarFakten Humus“ (Körschens, Breitschuh und Eckert, 2013) zu der Einschätzung, dass es – bei aller Differenzierung einzelbetrieblicher und regionaler Unterschiede – keine belastbaren Ergebnisse für eine allgemein besorgniserregende Abnahme der Humusgehalte deutscher Ackerböden, gar eine „systematische Zerstörung des Bodenhumus“, gibt.

2.2 Abhängigkeit anzustrebender Humusgehalte der Ackerböden von Bodenart und Wasserstatus

Langjährige Untersuchungsreihen an 21 Dauer-Feldversuchen in Deutschland und Mitteleuropa belegen (Körschens, 2013, Körschens, Breitschuh und Eckert, 2013), dass die standorttypischen Humusgehalte vor allem von der Bodenart und dem Wasserstatus abhängen. Leichte, sandige Böden erreichen ihre standorttypische optimale Ertragsfähigkeit bei deutlich niedrigeren Humusgehalten als schwere, tonreiche Böden. Eine weitere Erhöhung der Humusgehalte über die standorttypischen Optima hinaus bringt im integrierten Pflanzenbau nachweislich keine zusätzliche Ertragssteigerung. Jedoch kann dadurch, bedingt durch eine verstärkte Mineralisierung der überschüssigen organischen Substanz, die Gefahr von Nährstoffauswaschungen aus dem Boden und auch die Bildung klimaschädlicher Gase (CO_2 , N_2O) zunehmen.

2.3 Gewährleistung einer optimalen Humusversorgung der Ackerböden

TP-Befürworter behaupten, dass bei konventioneller Landbewirtschaftung keine optimale Humusproduktion gewährleistet werden könne (vgl. Punkt 1.4). Tatsächlich stehen jedoch für die nachhaltige Humusversorgung bewährte Verfahren zur Verfügung, die wissenschaftlich geprüft und langfristig erprobt sind, wie

- geeignete Fruchtfolge-Rotationen (z. B. mit Anteilen von Ackergras-Leguminosen-Gemengen)
- Zwischenfruchtanbau, insbesondere legumer Fruchtarten
- Einsatz von Wirtschaftsdüngern, Stroh, Kompost,

mit denen eine nachhaltige Bodenfruchtbarkeit nachweislich gesichert werden kann.

2.4 Faktencheck zu den prognostizierten Vorteilswirkungen des TP-Verfahrens

Die kritische Diskussion hat gezeigt, dass das derzeit diskutierte Wirkungsmodell (vgl. Punkt 1.2) noch eine Reihe von fachlichen Fragen offen lässt, die vor einer Übernahme in die Pflanzenproduktion verbindlich geklärt werden müssten, um folgenreiche Fehlentscheidungen zu vermeiden (Tab. 1, in Anlehnung an „AgrarFakten Terra Preta“ nach Kluge, Reinhold und Breitschuh, 2013).

Die Annahmen und Prognosen sind in einzelnen Punkten zwar vielversprechend, reichen aber auf Grund fehlender Belege keinesfalls für eine Übernahme des TP-Verfahrens in die professionelle Pflanzenproduktion aus. Dazu werden belastbare Ergebnisse aus Grundlagenuntersuchungen und Langzeit-Feldversuchen benötigt, die nach bewährten Methoden der Agrarforschung zu erarbeiten sind.

Klärungsbedarf besteht vor allem zur Wirkung der TP-Substrate auf sämtliche Parameter der Bodenfruchtbarkeit (Humusversorgung, Bodenphysik, -chemie und -biologie, pH-Wert, lösliche Nährstoffgehalte), umweltrelevante Bodenparameter (Nährstoffauswaschung, Schadstoffgehalte) sowie auf Ertrag und Qualität der Ernteprodukte. Insbesondere Behauptungen, wie die dauerhafte Nährstoffbindung an der Pflanzenkohle, wodurch eine Nährstoffauswaschung verhindert und gleichzeitig die bedarfsgerechte Pflanzenversorgung gesichert

Tab. 1: Faktencheck zu agrarwissenschaftlichen Fragen der landbaulichen Anwendung des TP-Verfahrens

Behauptet wird	Fakt ist
dauerhafte C-Bindung im Boden, langfristig kein Humusabbau	trifft für reine Pflanzenkohle sicher zu, nicht jedoch für die anderen organischen Materialien im TP-Substrat
unabhängig von der Bodenart sind wesentlich höhere Humusgehalte erforderlich (min. 6-7%, besser 10-15%) als bei konventioneller Landwirtschaft	widerspricht allen Ergebnissen aus Langzeitversuchen, nach denen bei Überschreitung anzustrebender Humusgehalte Umweltgefahren (Nitratauswaschung, Freisetzung klimaschädlicher Gase) zu befürchten sind
feste Nährstoffbindung an der Pflanzenkohlenoberfläche verhindert Nährstoffauswaschung gleichzeitig Nährstoffbereitstellung nach Pflanzenbedarf	zweifelhaft, abhängig von physiko-chemischen Bindungsgleichgewichten im Boden bisher reine Hypothese, fachliche Beweise fehlen, nach den Gesetzmäßigkeiten des Ionenaustausches eher unwahrscheinlich
Nährstoffe dauerhaft ausreichend, keine mineralische Ergänzungsdüngung mehr erforderlich („Tischlein-Deck-Dich-Prinzip“)	nur anfangs denkbar, solange TP-Substrat hoch mit Nährstoffen angereichert ist; Entzüge der Ernteprodukte müssen aber mittelfristig je nach Nährstoffstatus des Bodens ersetzt werden
Pflanzen ernähren sich direkt von lebenden Mikroorganismen („Vollwerternährung“ ohne Nährstoffionen“)	spekulative Hypothese; Hauptquelle für Nährstoffe ist Wurzelaufnahme von gelösten oder sorbierten Nährstoffionen aus dem Boden
verbesserte Bodenbiologie: Phytohygiene durch hohe biologische Aktivität des Bodens gewährleistet, keine Fungizide und Insektizide mehr erforderlich	Eingeschränkt schon aus Kompost-Anwendung bekannt, keine oder nur geringe Wirkungen gegen tierische Schädlinge zu erwarten
verbesserte Bodenphysik: höhere Wasserkapazität, bessere Krümelstabilität, höheres Porenvolumen, geringere Erosion	schon aus Kompost-Anwendung bekannt, kein Alleinstellungsmerkmal des TP-Verfahrens

werden soll, bedürfen einer fachlichen Bestätigung. Dies gilt auch für den fehlenden Humusabbau sowie für den Verzicht auf Mineraldüngung und chemischen Pflanzenschutz (Fungizide, Insektizide).

Insgesamt muss für das TP-Verfahren – in Übereinstimmung mit einer BUND-Studie (BUND, 2013) – erst noch belegt werden, dass es die Bodenfruchtbarkeit unter unseren klimatischen Bedingungen signifikant besser und nachhaltiger fördern kann als herkömmliche Verfahren der konventionellen Pflanzenproduktion.

3. Kosten und Ressourcen des TP-Verfahrens

Die Preise der Pflanzenkohle bewegen sich aktuell zwischen 300 und 600 Euro/t. Eine Modellbetrachtung zeigt, dass für eine wirksame TP-Gabe im Zeitraum von drei Jahren von etwa 500 m³/ha entsprechend 350 t/ha TP-Substrat mit einem Pflanzenkohleanteil von 10 % (entspr. 35 t/ha Pflanzenkohle) *allein für die Pflanzenkohle* Kosten von etwa 10 000 bis 20 000 Euro/ha (!) entstehen würden. Diese erheblichen Aufwendungen können allein durch Erlössteigerungen aus den unterstellten Mehrerträgen nicht gedeckt werden. Daran ändert auch die Eigenherstellung von Pflanzenkohle im landwirtschaftlichen Betrieb, angesichts der damit verbundenen Investitionen (z. B. Preis einer PYREG-Anlage zur Pyrokohle-Herstellung: ca. 300 000 Euro), nur wenig.

Hinzu kommt, dass organische Ressourcen zur Produktion von Pflanzenkohle in der Bundesrepublik nur sehr begrenzt verfügbar sind. Stroh sowie Forstabfälle und landwirtschaftliche Nebenprodukte werden bereits heute überwiegend energetisch genutzt bzw. direkt für die organische Düngung verwendet. Pflanzenabfälle gehen überwiegend in die Kompostierung und anschließend in die Produktion von Kultursubstraten. Eine Hochrechnung hat ergeben (Kluge, Reinhold und Breitschuh, 2013):

Um nur 1,2 Mill. ha (ca. 10 % der deutschen Ackerfläche) mit TP-Regelgaben von jährlich 100 t/ha mit 10 % Pflanzenkohle zu versorgen, würden jährlich ca. 12 Mill. t Pflanzenkohle benötigt, zu deren Herstellung wiederum ca. 60 Mill. t Pflanzenabfälle erforderlich wären. Das aktuelle Aufkommen in der Bundesrepublik beläuft sich nur auf 3 bis 6 Mill. t. Der Bedarf könnte demnach nur zu einem Bruchteil gedeckt werden.

4. Zusammenfassung

Im konventionellen Ackerbau bestehen für die breite Anwendung des TP-Verfahrens in absehbarer Zukunft praktisch keine Chancen. Denn einerseits ist die Überlegenheit des TP-Verfahrens über die herkömmlichen und bewährten Verfahren der Humusanreicherung und -stabilisierung unter unseren klimatischen Bedingungen derzeit nicht belegt. Zum anderen wären die Kosten, vor allem für die Bereitstellung der Pflanzenkohle, noch zu hoch, um eine wirtschaftliche Anwendung des Verfahrens zu ermöglichen. Zudem gibt es nicht annähernd genügend pflanzliche Abfälle für die Produktion der benötigten Mengen an Pflanzenkohle.

Vermutlich wird das TP-Verfahren deshalb noch für längere Zeit auf einzelne Betriebe oder Regionen mit günstigen Rahmenbedingungen bzw. auf hochwertige Anwendungen (z. B. Produktion gärtnerischer Erden, Rekultivierung devastierter Standorte) beschränkt bleiben.

5. Literaturangaben

- BR, 2013: BR-Dokumentation „Terra Preta – Forschung an der schwarzen Erde“, in: „Unser Land – Magazin für Landwirtschaft und Umwelt“, 19.04.2013, www.br.de/fernsehen/bayerisches-fernsehen/sendungen/unser-land/themen-rubriken/land-wirtschaft-und-forst/terra-pret-a-forschung-100.html.
- BUND, 2013: Einschätzung Terra Preta/ Biokohle, Hrsg. Arbeitskreis Bodenschutz/ Altlasten des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V. (BUND), 27.08.2013.
- Dunst, J., 2012: Die Anwendung von Pflanzenkohle in der Ökoregion Kaindorf (Österreich). 73. ANS-Symposium Berlin, 19./20.09. 2012, Proceedings, 187-193.
- Ebertseder, T., 2010: Auswertung von Bodenuntersuchungsdaten zur Ableitung von Einflussfaktoren auf die Humusgehalte von Böden. VDLUFA Schriftenreihe 66, 361-372, Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Glaser, B., 2007: Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Phil. Trans. R. Soc. B* 362, 187-196.

- Glaser, B., 2012: Das Terra Preta-Konzept. Chancen für nachhaltiges Management natürlicher Ressourcen, Müll und Abfall, 3/2012, 148-49.
- Heckel, M, Pieplow, R., 2010: Das Terra Preta Phänomen ..., in: Alpenparlament.TV, 30.12.2010, <http://alpenparlament.tv/playlist/367-terra-pret>.
- Kluge, R., Reinhold, J., Breitschuh, G., 2013: Anwendung des Terra-Preta-Verfahrens in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion – was ist dran? In: AgrarFakten „Terra Preta“, September 2013, <http://www.agrarfakten.de/terra-pret/>.
- Körschens, M., 2013: Reproduktion der organischen Bodensubstanz (OBS) – Bedeutung des organischen Kohlenstoffs für Boden, Nahrung, Energie und Klima. Mitt. Agrarwissenschaften, 24, 13-27.
- Körschens, M., Breitschuh, G., Eckert, H., 2013: Wieviel Humus braucht der Boden? In: AgrarFakten „Humus“, Juni 2013, <http://www.agrarfakten.de/humus/>.
- Mokry, M., Aichele, T., Beyer, J., 2013: Einsatz von Biokohle in der Landwirtschaft Landinfo Baden-Württemberg 4/2013, 35-42.
- NDR, 2013: NDR-Dokumentation „Terra Preta – die Wundererde für das Wendland“. In: Die Reportage, 25.01.2013, <http://www.ndr.de/fernsehen/media/diereportage471.html>.
- Reckin, J., 2012: Terra Preta, die legendäre Schwarzerde der Indios von Amazonien“. In: Natürlich gärtnern & anders leben – Mai/Juni 2012, Organischer Landbau Verlag, 11 Seiten.
- ZDF, 2011: ZDF-Dokumentation „Die Wiederentdeckung der Terra Preta“, 12.11.2011, <http://www.zdf.de/ZDFmediathek/hauptnavigation/startseite#/suche/terra%20pret>.

Hygienerisiken organischer Düngemittel bei deren landwirtschaftlichen Verwertung

W. Philipp, R. Haumacher, L. E. Hölzle

Institut für Umwelt- und Tierhygiene, Universität Hohenheim, Stuttgart

1. Einleitung

Der Transport von Gülleüberschüssen aus viehstarken in viehschwache Regionen wird in breiten Bevölkerungsschichten hinsichtlich möglicher Umwelt- und Gesundheitsproblemen zunehmend kritisch gesehen.

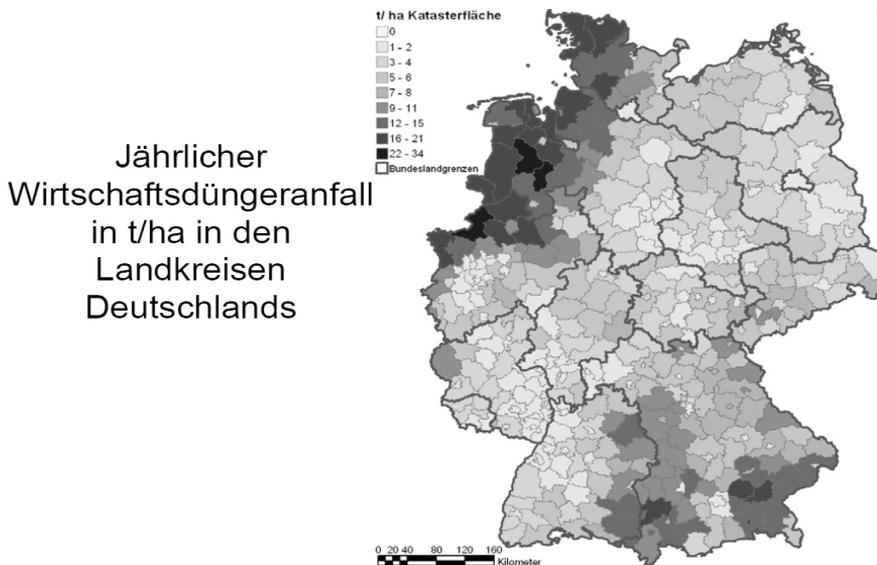


Abb. 1: Anfall an Wirtschaftsdüngern in Tonnen je ha und Jahr (Bahrs und Thiering, 2010)

In Anbetracht der Tatsache, dass in einigen Regionen Deutschlands mehr als 30 Tonnen/ha von Wirtschaftsdüngern anfallen (Abb. 1) wird verständlich, dass aus diesen „Überschussgebieten“ ein Abtransport an Wirtschaftsdüngern (insbesondere Gülle und Hühnermist) erfolgen muss.

Die anfallenden Mengen an Wirtschaftsdüngern, die jährlich auf den landwirtschaftlichen Flächen verwertet werden, sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Ausgebrachte Wirtschaftsdünger im Jahr 2010 (in Tausend) (Schenkel, 2013)

Wirtschaftsdüngerart	Ausgebrachte Menge in t	Aufgebracht auf		
		Dauergrünland	Acker	Dauerkulturen
Flüssiger Wirtschaftsdünger in m ³	190 689	64 305	126 226	
Festmist in t	25 707	5 109	20 492	105
Geflügeltrockenkot (incl. Hühner- und Putenmist)	1 665	46	1 607	
Fester Biogasgärrest in t	915		852	

Tab. 2: Vorkommen von Bakterien und Krankheitserregern in Wirtschaftsdüngern (Strauch, 1996; Krüger, 2010, verändert)

<i>Salmonella</i> spp.	Klebsiellen
<i>Escherichia coli</i>	Campylobacter
<i>Brucella</i> spp.	<i>Leptospira</i> spp.
<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	<i>Terponema hyodysenteriae</i>
<i>Mycobacterium</i> spp.	<i>Chlamydia</i> spp.
<i>Bacillus anthracis</i>	<i>Rickettsia</i> spp.
Yersinien	<i>Clostridium perfringens</i>
Listerien	

Es bestehen Bedenken wegen der möglichen Verbreitung von antibiotikaresistenten Keimen aus Nutztierställen über den Transport und die Verwertung der unbehandelten Wirtschaftsdünger über weite Strecken. Insbesondere MRSA-Bakterien (Methicillin Resistente Staphylococcus Aureus), ESBL-Bakterien (Extended-Spectrum-Beta-Lactamase) und Salmonellen sind von Bedeutung. Zu den ESBL-bildenden Bakterien zählen vorwiegend *E.coli*, *E.cloacae*, *Proteus*, Klebsiellen und andere.

Daneben gibt es eine Vielzahl weiterer Erreger die in Wirtschaftsdüngern quantitativ unterschiedlich vorkommen können (Strauch, 1996; Krüger, 2010).

Seit wenigen Jahren spielen insbesondere Erreger von sog. „Bestandserkrankungen“ in den Wirtschaftsdüngern eine zunehmende Bedeutung. Dies insbesondere deshalb, weil über deren Verhalten und Überlebensfähigkeit in den organischen Düngern bisher wenig bekannt ist. Dies sind Erreger wie *Mycoplasma* spp., *Coxiella* spp. *Chlamydia* spp. und *Mycobacterium paratuberculosis*. Vor allem der Erreger der Paratuberkulose ist von hoher Umweltstabilität, schwierig und aufwändig desinfizierbar und besitzt daher eine hohe epidemiologische Relevanz.

2. Einteilung der organischen Dünger in Risikoklassen

Eine nachhaltige und für Mensch, Tier und Umwelt unbedenkliche Verwertung und Anwendung von organischen Düngemitteln ist nach dem Düngegesetz unerlässlich. Daher dürfen Krankheits- und Schaderreger in Düngemitteln nicht enthalten sein, von denen eine Gefahr für die Gesundheit von Menschen, Tieren und Nutzpflanzen ausgeht. Sind welche vorhanden, müssen diese eliminiert werden, um eine Kontamination mit Krankheitserregern von Pflanzen, die als Futter und Nahrungsmittel verwendet werden, zu verhindern. Dies insbesondere dann, wenn die Wirtschaftsdünger (Gülle, Gärreste) in Verkehr gehen und dabei in aller Regel über weite Strecken transportiert werden.

Ausgehend von der ständigen Möglichkeit des Eintrages von human- und tierpathogenen Krankheitserregern über unbehandelte organische Dünger in die Umwelt und von dort zurück entweder über das Tier (Lebensmittel tierischer Herkunft) oder direkt zum Menschen (Schmierinfektionen), wurden die verschiedensten Dünger, aufgrund ihres „seuchen- und phytohygienischen Potentials,“ in Risikoklassen eingeteilt.

Der Einteilung in verschiedene Risikoklassen lag die wissenschaftliche Erarbeitung und Auswertung von Daten zu Grunde, wobei das Risiko einer Infektion hauptsächlich bestimmt wird durch die Art des Erregers (vegetative Zellen oder Sporen), der Erregerkonzentration (gering 10-100 Zellen/hoch 10^6 - 10^7 Zellen/g), dem Übertragungsweg und der Art der möglichen Infektion (Schmierinfektion oder Tröpfcheninfektion) sowie dem Immunstatus von Tier oder Mensch.

Aufgrund fehlender Daten zu den Herstellungsprozessen der einzelnen organischen Düngemittel bzw. zu deren Ausgangsstoffen, die in Tabelle 7 der Dün-

gemittelverordnung gelistet sind, stellt die Einteilung in die Risikoklassen keine endgültige Klassifizierung dar. In diesem Zusammenhang sollen nur die Stoffe der Risikoklasse III erwähnt werden.

Tab.3: Zusammengefasste Einteilung von Wirtschaftsdüngern in Risikoklasse III (Hölzle et al., 2012).

Organische Düngemittel	Klassifizierung
Küchen- und Kantinenabfälle	III
Gülle von Rindern, Schweinen, Hühnern	III
Festmist	III
Jauche	III
Pferdemist	III
Hofdünger	III
Magen- und Darminhalte	III
Stoffe aus der Behandlung von Abwässern	III
Stoffe von Tieren und Tierteilen	III
Hemmstoffhaltige Milch	III
Guano	III
Klärschlämme, unbehandelt	III
Organische Abfälle aus der getrennten Sammlung aus privaten Haushaltungen	III
Küchen- und Speiseabfälle	III
Bioabfall, unbehandelt	III

Die Risikoklasse III beinhaltet Stoffe mit einem hohen hygienischen Risiko (Tab. 3). In diese Klasse wurden Küchen- und Kantinenabfälle, pflanzliches Filtermaterial aus der biologischen Abluftreinigung, pflanzliches Abfisch- und Rechengut aus der Gewässerbewirtschaftung, Gülle von Rindern, Schweinen, Hühnern, Festmist, Jauche, Pferdemist, Gärreste aus der mesophilen Güllevergärung mit oder ohne NaWaRo, Hofdünger, Magen- und Darminhalte, Stoffe aus der Behandlung von Abwässern, Stoffe von Tieren und Tierteilen, hemmstoffhaltige Milch, tierische Exkrememente nicht von Nutztieren, Fermentationsrückstände der Enzymproduktion aus tierischen Stoffen, Guano, Abwasser aus der Verarbeitung von tierischen Stoffen, unbehandelte Klärschlämme, organische Abfälle aus der getrennten Sammlung aus privaten Haushaltungen, Küchen- und Speiseabfälle, unbehandelter Bioabfall, lebende Mikroorganis-

men, synthetische Polymere eingeteilt. Im Hinblick auf die Seuchenhygiene bestehen insbesondere Risiken bei der Verwertung von Gülle, Gärresten aus mesophiler Vergärung und Klärschlämmen.

Daher sollten bestehende Hygieneregeln im Düngerecht angepasst bzw. geändert werden. Die Regelungen zur organischen Düngerverwertung sollten in allen betroffenen Rechtsbereichen (AbfKlärV, DüMV) dasselbe Hygieniveau erreichen (Hölzle et al., 2012).

3. Möglichkeit und Vorschlag einer künftigen Regelung der organischen Düngerverwertung

Aus seuchenhygienischer Sicht sollte eine unbedenkliche Verwertung organischer Dünger die Stoffe bzw. Produkte aus der Risikoklasse III (Gülle, Gärreste aus mesophiler Vergärung und Klärschlämme) berücksichtigen.

Für Gülle, die anaerob in Biogasanlagen vergoren wird und deren Gärreste in Verkehr gehen, ist ein sog. „Hygienisierungsbonus“ denkbar, unter der Voraussetzung, dass die Biogasanlage entweder eine Vollstromhygienisierung (Pasteurisierung aller Substrate incl. Gülle) oder thermophile Fahrweise entsprechend den Vorgaben der BioAbfV (2013) betreibt (Behandlungspflicht). Die Teilnahme an einer Gütesicherung ist empfehlenswert.

Für Gülle, die in Verkehr geht und Klärschlämme zur landwirtschaftlichen Verwertung steht eine sog. Untersuchungspflicht („Erleichterungsbonus“) zur Diskussion. Dabei könnte für das Inverkehrbringen von Gülle und für die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlämmen die Behandlungspflicht entfallen, sofern eine regelmäßige Qualitätsüberwachung durch die Teilnahme an einer Gütesicherung mit ergänzenden mikrobiologischen Untersuchungen erfolgt.

Gemäß der Düngemittelverordnung (DüMV) dürfen in Düngemitteln, die in Verkehr gehen, keine Salmonellen nachgewiesen werden. Durch die Teilnahme an einer Gütesicherung darf bei einem positiven Salmonellennachweis durch ergänzende quantitative Untersuchungen des abgabefertigen Produktes (Feuchtgewicht) in 4 von 5 Proben die Anzahl von 100 Salmonellen in 1 g (1×10^2 KBE/g) Material nicht überschritten werden. Der Höchstwert in einer Probe darf maximal 500 Salmonellen betragen (5×10^2 KBE/g).

Werden Salmonellengehalte in den untersuchten Produktchargen von $> 5 \times 10^2$ KBE/g überschritten, empfiehlt sich entweder eine hygienisierende Behandlung oder eine kontaminationsfreie Lagerung des Produktes (Gülle, Klärschlamm) bis zu voraussichtlich 6 Monaten.

Vor der landwirtschaftlichen Verwertung muss eine quantitative Untersuchung auf Salmonellen deren Nichtnachweis bestätigen bzw. der maximale Gehalt darf 100 KBE Salmonellen pro g Material nicht übersteigen. Auf Grünland und Futterbauflächen darf aus seuchenhygienischer Sicht nur behandelter Klärschlamm angewendet werden. Die Anzahl an *Escherichia coli* sollte maximal 1000 KBE/g (1×10^3 KBE/g) betragen.

Im Hinblick auf die Phytohygiene kann konstatiert werden, dass insbesondere Risiken bei der Verwertung von Resterden aus der Reinigung landwirtschaftlicher Erzeugnisse, Gärresten aus der mesophilen Vergärung nachwachsender Rohstoffe (NaWaRos) und Klärschlamm bestehen. Aufgrund fehlender Daten und methodischer Begrenzungen ist eine nähere Bestimmung des Risikos nicht möglich. Auf der Grundlage eines Vergleiches verschiedener Behandlungsoptionen wird für diese Stoffe die Gefahr der Verbreitung von neuen, Quarantäne- und Nichtquarantäneschadorganismen mit den betreffenden Hauptbestandteilen gesehen, die zu Ertragsausfällen, nachhaltigen Schäden und Anbaubeschränkungen z. B. im Kartoffelanbau und anderen relevanten Kulturen führen könnte. Resterden von Kartoffeln und Rüben sollten daher generell hygienisiert werden, allerdings besteht noch erheblicher Forschungsbedarf an der Entwicklung geeigneter Hygienisierungsverfahren.

Es bestehen Zweifel an der phytohygienischen Unbedenklichkeit von Gärresten aus der mesophilen Vergärung, da eine ausreichende Verweilzeit in der für die Hygienisierung erforderlichen Prozessphase aufgrund der verbreiteten Fermentationstechnologie nicht garantiert werden kann.

4. Neue Verwertungswege für organische Düngemittel

Gärprodukte werden neben ihrer wertvollen Düngerwirkung und Humusbildung zunehmend auch als Einstreumaterialien in Milchviehhaltungen verwendet. Zur Trocknung bzw. Entwässerung werden dabei in vielen Biogasanlagen vielfach ungenutzte Wärmemengen zur Aufbereitung der Gärprodukte sinnvoll verwenden

det (Messner, 2013). Insgesamt kann dadurch die Effizienz einer Gesamtanlage erhöht werden und die Produkte sind für Landwirte als alternative Einstreumaterialien interessant. Ob bei der Trocknung, die in Abhängigkeit des Verfahrens mit Lufttemperaturen bis zu 80 °C arbeiten und dadurch im Gesamtgut der separierten, zu trocknenden Gärprodukten ein Temperaturanstieg bis in Bereiche erfolgt, in denen eine „Hygienisierung“ erwartet werden kann, bleibt bisher unbeantwortet, wird aber untersucht.

Aus tierseuchenprophylaktischer und hygienischer Sicht ist die Einstreu von separierten Güllefeststoffen in Milchviehbetrieben weit kritischer einzustufen als getrocknete Gärreste aus Biogasanlagen. Zwar wird das Wohlbefinden der Tiere durch freie Liegeflächen mit entsprechenden Einstreumaterialien erhöht und die Landwirte versprechen sich Vorteile hinsichtlich der Tiergerechtigkeit, Tiergesundheit und der Ökonomie (Ofner-Schröck et al., 2013).

Das organische Einstreumaterial wird in den Buchten mit Kot, Urin und Milch kontaminiert. In Kombination mit der Erwärmung durch die Tiere, stellen sie ein optimales Nährmedium für die Mikroorganismen und Krankheitserreger dar. Viele Mastitiden sind auf umweltassoziierte Infektionserreger zurück zu führen. So lösen *E. coli* und coliforme Keime häufig schwere akute Mastitiden aus, die mit hochgradigen Entzündungserscheinungen, gestörtem Allgemeinbefinden und Fieber einhergehen (BfT, 2013). Auch Streptokokken, wie *Streptococcus uberis*, Enterokokken, *Klebsiella spp.* und *Enterobacter spp.* spielen wichtige Rolle (Krömker, 2007).

Daher muss das frische, unbenutzte Einstreumaterial eine geringe Keimbelastung aufweisen und darf keinesfalls pathogene Erreger wie z. B. Salmonellen, pathogene und antibiotikaresistente Staphylokokken und Enterokokken sowie Mycobakterien enthalten.

Mit 14,3 Prozent sind Eutererkrankungen die zweithäufigste Abgangsursache für Milchkühe. Als ökonomischer Verlust durch Behandlung, reduzierte Milchleistung und möglicherweise vorzeitige Schlachtung können dabei bis 400 € und mehr pro Kuh veranschlagt werden (BfT, 2013).

Berichte zur „Hygiene“ von Kompostställen zeigen, dass die Tiere sauberer sind, weniger Mastitiden und generell eine verbesserte Eutergesundheit haben (Ofner-Schröck et al., 2013). Bei der Einstreu von Gärresten aus mesophilen

Biogasanlagen und den Feststoffen aus separierter unbehandelter Gülle liegen dazu noch wenige Erfahrungen vor wobei in Holland inzwischen in 500 Betrieben separierte Gülle als Einstreu in Liegeboxen verwendet wird (Anonym, 2013). Damit sich die Einstreuarten nicht als Bumerang erweisen und zu einem Pulverfass mit explosionsartiger Ausbreitung von Bestands- und Eutererkrankungen entwickeln, müssen sie vor dem Einstreuen „hygienisch unbedenklich“ sein.

Vor dem Hintergrund, dass mit unbehandelten separierten Güllefeststoffen hohe Zahlen an *E. coli* bzw. coliformen Keimen ($3,7 \times 10^5$ KBE/g) und weiteren Fäkalbakterien in die Liegebuchten gelangen, in denen die Milchtiere je nach Wohlbefinden durchschnittlich bis 18 Stunden und länger liegen, muss das Einstreuen mit separierten Güllefeststoffen kritisch verfolgt werden. Die Gehalte an *E. coli* zwischen Roh- und Dünngülle bzw. den frischen, separierten Güllefeststoffen unterschieden sich kaum (Tab. 4).

Tab. 4: *E. coli*-Gehalte in frisch separierter Rindergülle (Gehring, 2013)

Zeitpunkt der Probnahme	Coliforme Bakterien (KBE/g)		
	Rohgülle	Dünngülle	Güllefeststoffe
16.01.2013	$4,3 \times 10^4$	$4,3 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$
21.01.2013	$9,3 \times 10^4$	$9,3 \times 10^4$	$1,5 \times 10^5$
21.2.2013	$9,3 \times 10^5$	$4,3 \times 10^5$	$9,3 \times 10^5$
Mittelwert	$3,6 \times 10^5$	$1,9 \times 10^5$	$3,7 \times 10^5$

Im Zusammenhang der sich immer weiter ausdehnenden Paratuberkulose kann es nicht angehen, dass man einerseits Bekämpfungsmaßnahmen vorschreibt, in denen an die „Hygienemaßnahmen“ im Stall und an das Güllema- nagement hohe Ansprüche gestellt werden und dann separierte Gülle, die die Erreger vielfach unbekannt beinhalten kann, wieder auf kürzestem und direktem Wege zum Kontakt mit den Tieren bringt. Dies stellt eine absolute Kontraindikation dar und ist aus tierhygienischen Gründen abzulehnen. Dieser Umstand egalisiert die Vorteile ums Vielfache, die organische Materialien hinsichtlich erhöhtem Tierwohlsein mit sich bringen. Eine ökonomisch vertretbare Maßnahme zur „Hygienisierung“ und damit Inaktivierung von Krankheitserregern in separierten Güllefeststoffen wurde erprobt; es müssen allerdings noch weitere Erfahrungen gesammelt und Ergebnisse in verschiedenen Milchviehhaltungen erarbeitet werden (Gehring, 2013).

Stammen die Gärreste aus thermophilen Anlagen oder sind Kosubstrate vor der anaeroben Verwertung entsprechend den Vorgaben der Bioabfallverordnung (BioAbfV, 2013) behandelt, ist aus seuchen- und tierhygienischer Sicht nichts gegen die Verwendung der getrockneten Gärreste als Einstreu in Milchviehhaltungen einzuwenden. Coli-Keime sind hierbei sowohl im frischen als auch im getrockneten Material nicht bzw. nur in geringen Konzentrationen nachweisbar (Tab. 5).

Tab.5: Ergebnisse von *E. coli* und Enterokokken in Gärrestproben aus einer thermophilen Biogasanlage, Angaben in KBE/g (n = 5) (Schwarzkopf, 2012)

	Durchschnitt	Minimum	Maximum	Median
<i>E. coli</i>				
Frischmaterial	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
getrocknet	1,4 x 10 ⁰	n.n.	3,6 x 10 ⁰	n.n.
Enterokokken				
Frischmaterial	5,1 x 10 ¹	n.n.	2,4 x 10 ²	3,6 x 10 ⁰
getrocknet	5,0 x 10 ⁴	4,3 x 10 ²	2,4 x 10 ⁵	4,3 x 10 ³

Für die Gärreste gemachten Aussagen treffen auch für die Komposte zu. Bei einer korrekt verlaufenden Kompostierung wird eine Hygienisierung erreicht. Grundsätzlich gleicht sich der Gehalt an Fäkalkeimen in den organischen Materialien nach der Einstreu in die Liegeboxen dem „Keimniveau“ des Kotes der Rinder an. Entscheidend ist jedoch das ursprüngliche Ausgangsmaterial; dieses muss frei sein von klassischen Krankheitserregern und sollte einen geringen Gehalt an kultivierbaren, coliformen Keimen und *E. coli* aufweisen.

5. Zusammenfassung

Zur umweltverträglichen und nachhaltigen organischen Düngerverwertung sollten bereits bestehende gesetzliche Hygieneregeln (EU-Verordnungen z. B. 1069/2009 bzw. 142/2011) sinngemäß auf alle nicht geregelten Düngemittel oder deren Ausgangsstoffe ausnahmslos angewendet werden.

Besonders das „Inverkehrbringen“ risikobehafteter organischer Dünger wie der Gülle und entsprechender Düngemittel fäkaler tierischer und menschlicher Herkunft auf die Bodenfläche sollte zukünftig nur zulässig sein, wenn ihre hygienische Unbedenklichkeit durch die Anwendung eines wirksamen Behandlungsverfahrens entsprechend den bereits oben dargestellten bestehenden rechtlichen Regelungen nachgewiesen wurde. Eine Behandlungspflicht z. B. bei Vergärung von Gülle in Biogasanlagen ist insbesondere dann geboten, wenn regional Gülle- und Nährstoffüberschüsse anfallen und in andere Regionen transportiert werden müssen. Hierbei ist die Voraussetzung, dass die Biogasanlage entweder eine Vollstromhygienisierung (Pasteurisierung aller Substrate incl. Gülle) oder thermophile Fahrweise entsprechend den Vorgaben der Bio-AbfV betreibt (Behandlungspflicht).

Zur Erleichterung der Überwachung für Düngemittel wie Gülle aus Biogasanlagen und Gärreste die in Verkehr gebracht werden, könnten Erleichterungen hinsichtlich des Einzelnachweises der hygienischen Unbedenklichkeit gewährt werden, wenn eine regelmäßige Qualitätsüberwachung durch die Teilnahme an einer Gütesicherung mit ergänzenden mikrobiologischen Untersuchungen erfolgt und die jeweils vorgegebenen mikrobiologischen Richtwerte eingehalten werden (Untersuchungspflicht).

Zur Verwertung separierter Güllefeststoffe als Einstreumaterialien in Milchviehhaltungen müssen insbesondere aus tierhygienischer Sicht weitere Erfahrungen gesammelt und die Zellzahlentwicklungen in ausgewählten Beständen über mindestens 2 Jahre verfolgt werden.

6. Literatur

- Anonym, 2013: „Gülle-Einstreu“: Bleiben die Euter gesund? top agrar 3/2013 R 20.
- Bahrs, E., Thiering, J., 2010: Licht und Schatten – wie sich der Biogas-Güllebonus auf die Landwirtschaft in Bayern auswirkt. In: Bayerisches landwirtschaftliches Wochenblatt, Band 200, 22/2010, 34-36.
- BfT, 2013: Tiergesundheit im Blickpunkt – Erfolgsfaktor Eutergesundheit 71, 3.

- Bioabfallverordnung, 2013: Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung – BioAbfV) vom 4. April 2013 (BGBl. I S. 658).
- Hölzle, L.E., Haumacher, R., Philipp, W., 2012: Schlussbericht zum Forschungsvorhaben „Hygieneaspekte organischer Düngemittel und ihre Anwendung“; Förderkennzeichen: 2811HS016 Auftraggeber: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Bonn.
- Gehring, A., 2013: Untersuchungen zu Güllefeststoffen als Einstreu in Liegboxen und Maßnahmen zur Inaktivierung von Krankheitserregern. Masterarbeit am Institut für Umwelt- und Tierhygiene der Univ. Hohenheim.
- Kroemker, V., (Hrsg.), 2007: Kurzes Lehrbuch Milchkunde und Milchhygiene. Stuttgart, 58-65.
- Krüger, M., 2010: Aktuelle Erkrankungen im Milchviehbetrieb: Diagnostik und Bedeutung von Clostridienerkrankungen bei Rindern. Vortrag bei der 9. Agrar- und Veterinär-Akademie (AVA)-Haupttagung, Göttingen, 17.-21. März 2010.
- Messner, J., 2013: Möglichkeiten und Grenzen der Gärproduktbehandlung. Trinationales Forum Deutschland-Frankreich-Schweiz. Vortrag bei der „biogas expo & congress“ am 24. Oktober 2013, Offenburg.
- Ofner-Schröck, E., Zähner, M., Huber, G., Guldemann, K., Guggenberger, T., Gasteiner, J., 2013: Tiergerechtigkeit von Kompostställen für die Milchviehhaltung. In: DVG-Fachgruppe „Tierschutz, 18. Internationale Fachtagung 21. und 22. Februar 2013 in Nürtingen“; ISBN 978-3-86345-135-6, 105-115.
- Schenkel, H., 2013: persönliche Mitteilung.
- Schwarzkopf, K., 2012: Hygienisch-mikrobiologische Untersuchungen von Kompostställen und Einstreumaterialien aus Gärresten und Kompost. Masterarbeit am Institut für Umwelt- und Tierhygiene der Univ. Hohenheim.
- Strauch, D., 1996: Hygieneaspekte bei der Cofermentation. In: Internationale Erfahrungen mit der Verwertung biogener Abfälle zur Biogasproduktion, Vorträge und Podiumsdiskussion im Rahmen der Fachtagung am 16.6.1995 im Interuniversitären Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie, Tulln, Umweltbundesamt, Wien, Österreich, 53-92.

Einflüsse auf den Strohertrag als wesentliche Größe für den aus dem landwirtschaftlichen Stoffkreislauf zur energetischen Verwertung entnehmbaren Kohlenstoff

C. Weiser, W. Zorn

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Einleitung

Die Nutzung von landwirtschaftlichen Nebenernteprodukten und Reststoffen ist eine vielversprechende Option zur Bereitstellung von Bioenergie. Eine bessere Vergütung der Strombereitstellung durch die Einsatzstoffklasse II im EEG, sowie die Mehrfachanrechnung bzgl. der Kraftstoffbeimischungsquote bei Kraftstoffen auf Basis von Reststoffen sollen den Einsatz von bisher nicht energetisch erschlossenen Reststoffen stimulieren. Bisher wird z. B. Stroh in Deutschland kaum außerhalb der Landwirtschaft genutzt. In Gegensatz dazu wird in Dänemark jährlich rund ein Drittel des ankommenden Strohs energetisch genutzt (Abb. 1). Zwei Drittel verbleiben im landwirtschaftlichen Stoffkreislauf als Futter, Einstreu und organische Düngung.

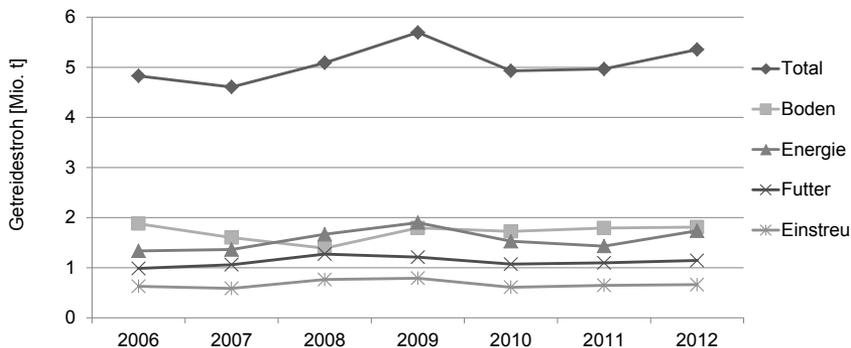


Abb. 1: Strohnutzung in Dänemark (Statbank, 2013)

In Deutschland stehen jährlich 27 bis 44 % des anfallenden Getreidestrohs für die energetische Verwertung bei ausgeglichenen Humusbilanzen zur Verfügung (Weiser et al., 2013). Trotz der bisher erfolgten umfangreichen Untersu-

chungen bestehen weiterhin Unsicherheiten, weil in der Agrarstatistik die Stroherträge nicht erfasst werden.

Die anfallende Menge an Stroh wird über fruchtartenspezifische Verhältnisse wie den Ernteindex mit Hilfe des Kornertrages errechnet. Diese Richtwerte sind abhängig von der Sorte, Standort (Boden und Witterung) und Bewirtschaftung. Damit schwanken auch die Ergebnisse der Berechnungen des zur Humusreproduktion bzw. zur energetischen Verwertung zur Verfügung stehenden Strohs erheblich. Bei der Veränderung der Korn:Stroh-Verhältnisse von Getreide (ohne Körnermais) um 0,1 schwankt das jährliche Aufkommen von Getreidestroh für Gesamtdeutschland um ± 4 Mio. t. Das entspricht ca. 13 % der gesamten aufgewachsenen Getreidestrohmenge. Nach der DirektZahlVerpflV resultiert daraus bezogen auf die Ackerfläche (AF) in Deutschland ein veränderter Humussaldo von 33 HÄq./ha AF. In Regionen mit geringem Viehbesatz, in denen die Humusreproduktion stark vom Stroh abhängig ist, können diese Schwankungen deutlich stärker ausfallen.

2. Zielstellung

Aufgrund der beschriebenen Unsicherheiten heißt es in Bezug auf die zur Humusbilanzierung zu verwendenden Korn:Stroh-Verhältnisse in der DirektZahlVerpflV (Anlage 3, zu § 3 Absatz 1 Satz 2 und 3), Tabelle 3: „Die nach Landesrecht zuständige Behörde kann wegen besonderer Standortgegebenheiten und Bewirtschaftungssysteme die Kennzahlen regional anpassen. Diese Werte sind als Richtwerte zu verstehen. In begründeten Fällen (z. B. besondere Sortenwahl, nicht aufgeführte Kultur) können andere Werte verwendet werden.“

Mit Hilfe der Auswertung von Korn- und Stroherträgen aus langjährigen Versuchsreihen sollen die Indizes aus der DirektZahlVerpflV und Düngeverordnung mit standort- und bewirtschaftungsspezifischen Korrekturfaktoren unteretzt werden. Das Ziel ist die Beseitigung von Unsicherheiten in der Bewertung der Humuswirkung von (Energie-)Pflanzenproduktionssystemen.

3. Methoden

Die verwendeten Standorte erstrecken sich über das gesamte Bundesgebiet. Die Datenbasis setzt sich zusammen aus Versuchen zur Düngung, Boden-

dauerbeobachtung, sowie Energiepflanzenversuchen und Landessortenversuchen. Dabei weisen die einzelnen Standorte Ackerzahlen von 26 bis 96 auf. Bezüglich der thermoklimatischen Typisierung decken die Versuchsstandorte nach den Lufttemperatur-Jahresschwankungen maritimes bis kontinentales Klima ab.

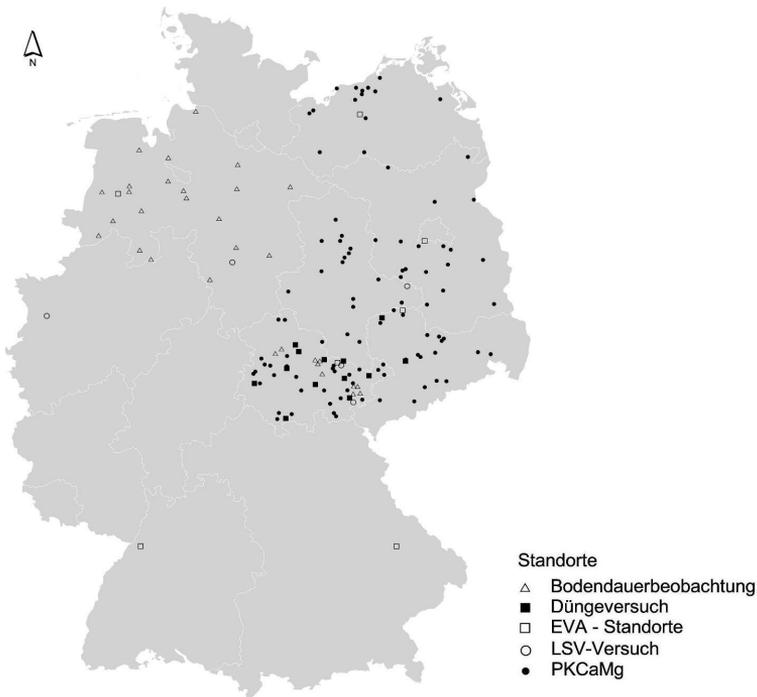


Abb.2: Standorte der zur Auswertung zur Verfügung stehenden Korn- und Strohdaten

Die recherchierten Daten sollen dahingehend untersucht werden inwieweit Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit einen Einfluss auf den Ernteindex haben.

Stroherträge bei denen nicht der gesamte oberirdische Aufwuchs bestimmt wird, können nicht ohne weiteres zur Berechnung eines pflanzenphysiologischen Index genutzt werden. In Abhängigkeit von der Mähdreschertechnologie, dem Management (Stoppelhöhe, PSM-Einsatz), der Witterung und der Bergetechnik können mehr oder weniger hohe Anteile von Spreu und Kurzstroh nicht

geborgen und erfasst werden. Zur genaueren Beurteilung von Stroherträgen und Berechnung von Ernteindizes sind die Kenntnis der Mähdreschertechnologien, Witterung, Art der Strohprägung sowie die Stoppelhöhe, vor allem beim Vergleich verschiedener Standorte Voraussetzung.

In den untersuchten Datenreihen der verschiedenen Standorte kamen bzw. kommen sechs verschiedene Ernte-, Wäge- und Bergetechniken zur Anwendung. Dabei können zwei grundsätzlich unterschiedliche Methoden der Strohprägung betrachtet werden. Einerseits wird das Stroh nach dem Dreschen ohne Bodenkontakt in ein Behältnis zur Wägung abgelegt. Bei der zweiten Variante wird das Stroh vorher auf dem Acker abgelegt und später durch verschiedene Techniken wieder aufgenommen.

Zur Bestimmung von Korrekturfaktoren zwischen den einzelnen Methoden der Strohbergung konnten in der Erntesaison 2012 in 21 Versuchen in den Anlage- bzw. Behandlungspartellen auf einer Länge von einem Meter Ganzpflanzen zur Vollreife entnommen werden. Diese Einzelproben dienen der Ermittlung der verschiedenen Ertragsanteile Korn, Spreu und Stroh. Des Weiteren werden auch die untersten 20 cm der Halme in 5 cm Abschnitten einzeln in ihrer Masse bestimmt, um die Auswirkungen verschiedener Stoppelhöhen bei der Ernte zu simulieren. Die Biomasseschnitte erfolgten in der Regel wenige Stunden vor bzw. nach Drusch der Erntepartellen. Zum Ausdreschen der Körner aus den Ähren wurde der Ährendrescher K35 (Saatmeister Baumann Waldenburg) verwendet. Die Bestimmung der TS-Gehalte erfolgte nach BSA-Richtlinien (Bundessortenamt, 2000).

Weitestgehend ungeklärt ist welche Mengen an Stroh in der Praxis geborgen werden können. Genauer stellt sich die Frage welche Mengen neben der Biomasse, die in der Stoppel verbleibt, als Spreu und Kurzstroh auf dem Boden verbleiben. Zur Annäherung an diese Größe wurde während der Ernte 2013 auf zwei Schlägen bei Jena (50° 58' 30" n. B. und 11° 38' 15" ö. L.) das geborgene Stroh erfasst. Der Schlag 1 hatte eine Fläche von 4,7 ha und Schlag 2 eine Fläche von 7,74 ha. Angebaut wurde die Winterroggensorte Palazzo. Die Stickstoffdüngung erfolgte nach Entzug und auf den Einsatz von Wachstumsreglern wurde verzichtet. Die Kornernte fand am 01. bis 02.08.2013 statt. Auch im Vorgewende erfolgte die Strohablage auf Schwad, wobei der Schwadabstand 6 m betrug. Die Pressung (Fa. Krone) und automatische Zählung der Quaderballen mit den Maßen 120 x 70 x 200 cm fand am 12.08.2013 statt. Der Transport von 232

(92 %) der Ballen in das Strohheizwerk Jena erfolgte direkt im Anschluss. Vor der Einlagerung im Heizwerk wurden die Ballen gewogen und ihr TS-Gehalt in Stichproben bestimmt. An 20 Stellen über die beiden Schläge verteilt konnte an 300 Pflanzen die verbleibende Stoppelhöhe bestimmt werden.

4. Vorläufige Ergebnisse

Im jährlichen Stickstoffversuch Großenstein konnte im Erntejahr 2012 eine Korrelation zwischen Stickstoffdüngung und Ernteindex beobachtet werden. Diese Ergebnisse sind jedoch einjährig und widersprechen Angaben aus Unkovich et al. (2010).

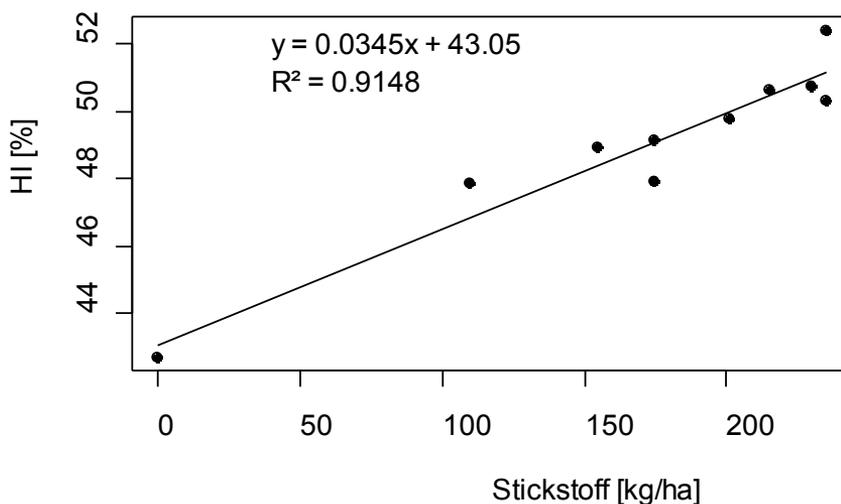


Abb. 3: Prüfgliedwerte (4 Wdh.) des Ernteindex (HI) im Verhältnis zur angewendeten Stickstoffmenge im jährlichen N-Versuch Winterweizen in Großenstein 2012

Sollen Standorte untereinander verglichen werden, ist dies oft durch die unterschiedlichen Stoppelhöhen und Bergemethoden nicht ohne weiteres möglich. Der Einfluss der Stoppelhöhe ist gerade bei Fruchtarten mit hohen Ernteindizes wie Winter- und Sommergerste sehr groß. Bei Stoppelhöhen von 20 cm verblieben bei Gerste in den untersuchten Feldversuchen 2012 bis zu 40 % des gesam-

ten Strohertrages auf dem Boden (vgl. Abb. 4). Bei Winterweizen und Wintertriticale waren es noch 30 %.

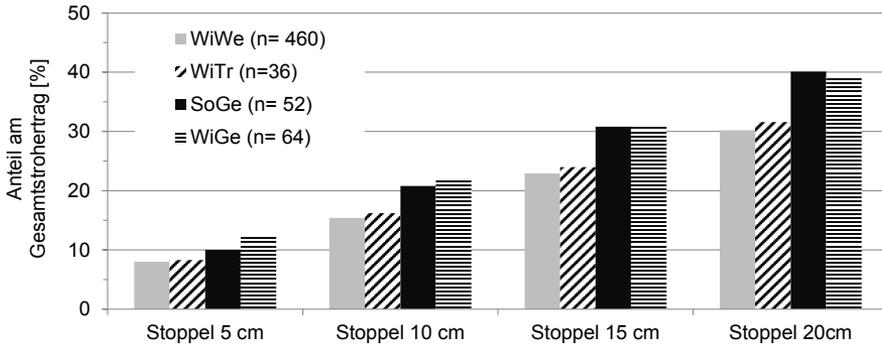


Abb. 4: Anteil des Stroh welches in der Stoppel verbleibt am Gesamtstrohertrag der Fruchtarten Winterweizen (WiWe), Wintertriticale (WiTr), Sommergerste (SoGe) und Wintergerste (WiGe)

Tab. 1: Maximale, mittlere und kleinste Differenz in Prozentpunkten zwischen den technischen Ernteindizes (Handernte [HE], Big Bag [BB], Plane [PL], Futterernter [FE] und Ballen [BA]) und denen auf der Ganzpflanzenernte basierten Ernteindizes

Versuchsstation	Bad Salzungen	Friemar	Großenstein	Heßberg	Kirchhenge	Haufeld
Methode	HE	BB	PL	FE	BB	BA
Anzahl	64	88	136	88	48	16
Min.	12,12	10,97	0	5,78	12,38	5,04
Ø	18,09	18,32	2,76	14,34	19,39	11,85
Max.	26,21	24,97	15,20	36,28	24,34	18,69

Ein Vergleich der Ernteindizes welche auf Basis der Ganzpflanzenschnitte bestimmt wurden, zeigt deutlich niedriger Werte als die Ernteindizes welche auf den Parzellendaten basieren.

Am geringsten sind die Unterschiede bei der Erfassung der Stroherträge mit der Plane in der Versuchsstation Großenstein. Sehr hoch sind die Unterschiede vor allem bei der Strohbergung mittels Big Bag in Friemar und Kirchengel, als auch per Hand in der Versuchsstation Bad Salzungen (vgl. Tab. 1). Die auf den Praxisschlägen gewogenen Ballen hatten ein mittleres Trockenmassegewicht von 187 ± 9 kg. Aus den Kennzahlen in Tabelle 2 ergeben sich Raten der Strohbergung von 58 bis 61 %.

Tab. 2: Kennzahlen zum Korn- und Strohertrag auf den Praxisschlägen

Schlag	Kornertrag [dt TM/ha]	Theoretisches Strohpotenzial [dt TM/ha]	Stroh abgefahren [Ballenanzahl]	Stroh abgefahren [dt TM/ha]	Stoppelhöhe [cm]	Stroh geborgen [%]
1	68,5	61,7	95	37,8	19±8	61
2	71,3	64,2	155	37,4	16±5	58

5. Zusammenfassung und Ausblick

Zur Bewertung von Einflüssen auf den Ernteindex ist die Analyse von mehrjährigen Daten notwendig. Des Weiteren ist bei Fruchtarten mit terminierten Ertragsbildungstyp eine Analyse der Einflussfaktoren vor und nach der Blüte notwendig.

Bezüglich der Stroherntemethode zeigten die Untersuchungen, dass lediglich die Strohbergung mittels Plane annähernd ähnliche Ergebnisse bzgl. der Ernteindizes liefert, wie die parallel auf der Ganzpflanzenernte basierend bestimmten Ernteindizes. Alle anderen Ergebnisse sind nach Möglichkeit zu korrigieren bzw. nicht miteinander vergleichbar. Überraschend war, dass die erwarteten Vorteile der direkten Aufnahme durch einen Big Bag am Strohhäcksler bzgl. einer höheren Genauigkeit bei der Erfassung des Strohs ausblieben. Hier war kein Vorteil gegenüber den absätzigen Verfahren manuelle Aufnahme, Futterernter oder Ballenaufnahme erkennbar.

Die Werte welche auf den Praxisschlägen ermittelt wurden geben lediglich Anhaltspunkte zum bergbaren Stroh. Alle vorgestellten Ergebnisse basieren auf einjährigen Untersuchungen und sind daher als vorläufig zu betrachten. Die Untersuchungen werden fortgesetzt und können in Zukunft zu einer verbesserten Bewertung der Humuswirkung von (Energie-)Pflanzenproduktionssystemen beitragen.

6. Literaturangaben

- Bundessortenamt (Hrsg.), 2000: Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Landbuch-Verlag, Hannover.
- DirektZahlVerpflV (Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung), 2004: Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand.
- Statbank, 2013: Straw yield and use in Denmark. Zugriff auf: <http://www.statbank.dk/HALM1> am 04.09.2013.
- Unkovich, M., Baldock, J., Forbes, M., 2010: Variability in Harvest Index of Grain Crops and Potential Significance for Carbon Accounting: Examples from Australian Agriculture. *Advances in Agronomy* 105, 173-219.
- Weiser, C., Zeller, V., Reinicke, F., Wagner, B., Majer, S., Vetter, A., Thrän, D., 2013: Integrated assessment of sustainable cereal straw potential and different straw-based energy applications in Germany. *Appl Energy* [in Druck].

Energiepflanzenproduktion auf nordostdeutschen Diluvialstandorten – ausgewählte Ergebnisse des EVA-Fruchtfolgeprojektes

G. Ebel^{1,2}, G. Barthelmes¹, M. Heiermann²

¹Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Stahnsdorf/OT Güterfelde, ²Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., Potsdam

1. Einleitung

Durch die Förderung über das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) wird der Ausbau des Wirtschaftssektors Biogas auch in Brandenburg verfolgt. Dieses wird den Gesamtbedarf sowohl an Wirtschaftsdüngern als auch an Energiepflanzen erhöhen. Neben der „guten fachlichen Praxis“ in den Landwirtschaftsunternehmen erfordert die gesellschaftliche Diskussion über den zunehmenden Anbauflächenumfang von Mais, Einsatzmöglichkeiten weiterer Pflanzen als Biogassubstrat in unterschiedlichen Anbausystemen zu prüfen.

2. Material und Methoden

In den Versuchen des Projektes EVA („Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ (EVA)) werden seit 2005 am Standort Güterfelde (Kreis: Potsdam-Mittelmark, Ackerzahl: 29-33, Bodenart: IS; durchschnittlicher Jahresniederschlag: 545 mm, Jahresmitteltemperatur: 9,1 °C) neun Energiepflanzenfruchtfolgen pflanzenbaulich, ökonomisch und ökologisch bewertet. Dabei handelt es sich um kombinierte Fruchtfolgen bestehend aus Pflanzen für die Biogasnutzung (Ganzpflanzen = GP), Marktfrüchten (Korn) und Zwischenfrüchten für die Gründüngung (GD). Fünf Standardfruchtfolgen mit je vier bis sechs Fruchtfolgegliedern werden deutschlandweit verglichen (n = 7 bis 11 Standorte). Vier Rotationen sind abgeschlossen. Gegenwärtig erfolgt eine zusammenfassende Bewertung. Detaillierte Projekt- und Versuchsbeschreibungen sind der Internetseite: www.eva-verbund.de zu entnehmen. Folgend werden pflanzenbauliche Ergebnisse vom Standort Güterfelde dargestellt.

3. Ergebnisse

Im Vergleich aller Projektstandorte ist Güterfelde als ertragsschwächster Prüfstandort einzustufen. In den EVA-Fruchtfolgeversuchen wies Mais im Mittel der Jahre mit 151 dt TM/ha (relativ 100) die höchsten Erträge vor der Sudangrashybride (relativ 86) auf (Tab. 1). Die anderen Fruchtarten blieben deutlich unter diesem Niveau (relativ <60 gegenüber Mais). Sehr unterschiedliche Witterungsverläufe in den Jahren führten in Verbindung mit Witterungsextremereignissen auf dem zur Vorsommertrockenheit neigenden Diluvialstandort bei allen Pflanzenarten zu erheblichen Ertragsschwankungen (z. B. Mais 85-192 dt TM/ha; Sudangrashybride 99-153 dt TM/ha; Wintergetreide 54-108 dt TM/ha). Diese Schwankungen sind bei der Planung der Biogassubstratproduktion zu berücksichtigen und erfordern eine mehrjährige Bewertung der Fruchtarten und Fruchtfolgen.

Tab. 1: Ganzpflanzenerträge der Hauptfrüchte der EVA Fruchtfolgeversuche, Güterfelde, 2005 bis 2012 (Mittel der Jahre in dt TM/ha, relativ in % im direkten Vergleich der jeweiligen Fruchtart mit Mais der identischen Erntejahre, Spanne zwischen den Jahren in dt TM/ha), PG = Prüfglieder

Ganzpflanzen- ertrag	Anzahl PG	Anzahl Jahre	TM-Ertrag		
			dt/ha	%	Spanne
Mais	24	7	151	100	85...192
Sudangrashybride	7	7	130	86	99...153
Wintergetreide	40	7	71	47	54...108
Sommergetreide	24	5	53	39	22...89
Luzernegras	6	5	91	55	64...114
Kleegras	2	2	64	46	46...82
Sonnenblumen	5	5	80	58	55...123
Topinamburkraut	5	3	80	55	50...104

In Jahren mit einer ausgeprägten Vorsommer-/Sommertrockenheit konnte die Sudangrashybride das Ertragsniveau von Mais erreichen (2010: 116 dt TM/ha) bzw. teilweise einen höheren Ertrag (2006: 99 zu 85 dt TM/ha) erzielen. Mehrjährige Vergleiche zwischen beiden Fruchtarten und verschiedenen Sorten wurden in vertiefenden Untersuchungen in Güterfelde durchgeführt (vgl. Martin und Barthelmes, 2013). So ist z. B. die mehrjährig in den EVA-Fruchtfolgen

angebaute Sorte Lussi (Sudangrashybride) für die sandigen Standorte Nordostdeutschlands weiterhin in der Empfehlung (Ertrag, TM-Gehalt).

Wintergetreide ist dem Sommergetreide auf Grund der Ertragshöhe und -stabilität vorzuziehen. Für die einzelnen Getreidearten wurden aus allen in Güterfelde seit 2005 durchgeführten Versuchen folgende durchschnittliche Ganzpflanzen-TM-Erträge ermittelt (inklusive Schwankungsbreite der Erträge; vgl. Ebel und Barthelmes 2012):

Wintergerste:	75 dt TM/ha (62...120 dt TM/ha; 2009-2011)
Wintertriticale:	75 dt TM/ha (36...118 dt TM/ha; 2006-2012)
Winterroggen:	85 dt TM/ha (59...115 dt TM/ha; 2007-2012)
Sommergetreide:	55 dt TM/ha (22...89 dt TM/ha; 2005/06/09-11)

Im Mittel der Jahre konnte mit Mais der für die Silierung optimale TM-Gehaltsbereich von 28 bis 35 % am besten eingehalten werden. Sortenbedingt (Sudangrashybride und Futterhirse, Sonnenblumen), witterungsbedingt (Winter- und Sommergetreide) sowie aufgrund des Verfahrens (Grünschnittroggen, Luzerne- bzw. Klee gras) weicht das Mittel der **TM-Gehalte** über die Jahre vom Optimum ab. Letztere Pflanzenarten sind vor der Silierung anzuwelken. Vor allem beim Ganzpflanzengetreide unterschied sich zwischen den Jahren das Abreifeverhalten. Die Ergebnisse weisen für Getreide mittlere TM-Gehaltszunahmen von 0,7 bis 1,0 % je Tag aus, maximal von bis zu 1,8 %. Während 2009-2012 das TM-Gehaltsoptimum eingehalten werden konnte, bewirkte extremer Trockenstress im Zeitraum Blüte bis Kornfüllung 2006 und 2008 einen raschen Anstieg der TM-Gehalte auf > 40 bis 50 % innerhalb von wenigen Tagen. Ein Zusammenhang zwischen den Entwicklungsstadien und dem TM-Gehalt kann besonders auf leichten und trockenen Böden nicht hergestellt werden.

Winterroggen als abschließendes Fruchtfolgeglied wies einen durchschnittlichen **Kornertrag** von 69 dt/ha auf (Mittel Jahre und Fruchtfolgen, Tab. 2). Die Jahresunterschiede im Kornertrag von 55 dt/ha (2008 = mittlerer Praxisertrag Hybridroggen im Brandenburger Landbaugebiet III) bis 84 dt/ha (2013) sind vor allem witterungsbedingt und wurden außerdem durch die Sortenwahl (Ernte 2012 und 2013 Sorte Brasetto; Ernte 2008 und 2009 Sorte Visello) und unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren (2008/09 pfluglos, 2012/13 gepflügt) beeinflusst. Aufgrund günstiger Niederschlagsverteilung in den Jahren 2009, 2012 und 2013 wurde z. B. eine höhere Tausendkornmasse (40 zu 30 g) im Vergleich zu ausgeprägter Vorsommertrockenheit im Jahr 2008 ermittelt.

Tab. 2: Korn- und Stroherträge des letzten Fruchtfolgeglieds Winterroggen der EVA Fruchtfolgen (Mittel von neun Fruchtfolgen und Schwankungsbreite zwischen den Fruchtfolgen in dt/ha bei 86 % TM), Güterfelde („erntbarer“ Strohertrag – vgl. Ebel, Barthelmes, Zimmer, 2013)

Jahr	Korn dt/ha	Stroh dt/ha	Korn : Stroh
2008	55 (43...72)	44 (37...55)	0,80
2009	64 (58...71)	39 (34...50)	0,61
2012	73 (63...80)	44 (42...49)	0,60
2013	84 (80...89)	56 (50...60)	0,66
Mittel	69 (63...75)	46 (42...49)	0,66

In drei von vier Jahren bewirkte die Fruchtfolge Mais (GP) / Grünschnittroggen (GP) / Sudangrashybride (GP) / Wintertriticale (GP) / Einjähriges Weidelgras (GP) offenbar negative Kornertragseffekte im letzten Fruchtfolgeglied Winterroggen (Mittel = 63 dt/ha). Deutlich überdurchschnittliche Kornerträge konnten nach der Anbaufolge Hafer (GP) / Wintertriticale (GP) / Winterraps (Korn) erzielt werden (Mittel = 73 dt/ha). Auch die Vorfrüchte Grünschnittroggen (GP) und Sudangrashybride (GP) wirkten sich im Mittel von 4 Jahren begünstigend auf die Leistung des letzten Fruchtfolgegliedes aus (Kornertrag 74 dt/ha).

Um die Vergleichbarkeit der Vorfruchtwirkungen auf den Kornertrag zu gewährleisten, erfolgte die Aussaat des Roggens 2009, 2012 und 2013 in den Fruchtfolgen zu einem einheitlichen Termin. Im Jahr 2008 verzögerte sich die Aussaat in drei Fruchtfolgen um 14 Tage, was unterdurchschnittliche Kornerträge zur Folge hatte. Diese lagen jedoch über denen der oben genannten Fruchtfolge mit Einjährigem Weidelgras als direkte Vorfrucht und zeitigerem Aussaattermin des Winterroggens (Tab. 2 = 43 dt/ha).

Der Einfluss des **Saattermins** auf den Kornertrag wurde in zusätzlichen Versuchen innerhalb des EVA-Projekts mit der auf diluvialen Standorten Brandenburgs typischen Anbaufolge Silomais / Winterroggen (Körnernutzung) im Zeitraum 2009-2012 betrachtet. Es wurde dabei sowohl der Einfluss der Saatzeit und der Maissorte (n = 3) auf die Nachfrucht Roggen bei einheitlicher Maisernte und optimalem Getreideaussaattermin (Versuch 1) als auch bei reifegerechter/ sortenabhängiger Maisernte und zeitversetztem Getreideaussaattermin (Ver-

such 2) geprüft. Es ergaben sich Ertragseinbußen von ca. 20 % (59 zu 72 dt/ha) bei einer Saatzeitverspätung des Winterroggens von 14 Tagen bzw. von ca. 40 % (47 zu 72 dt/ha) bei einer Saatzeitverspätung von >4 Wochen (Ende Oktober). Bei einem Marktpreis von 20 €/dt würde das in diesen Fällen Erlösausfälle von 260 €/ha bzw. 500 €/ha (bei Marktpreis 11 €/dt: 143 bzw. 275 €/ha) bedeuten. Daher gilt es, für die jeweilige Anbausituation in der Reife angepasste Mais-sorten als Vorfrucht zu wählen. Mittelfrühe und mittelspäte Maissorten bis ca. S 280 werden bei Anbau als Hauptfrucht empfohlen. Für Winterroggen sollte auf den leichten bis mittleren Diluvialböden die optimale Saatzeit 20. - 30.09. eingehalten werden. In Zweitfruchtstellung nach Grünschnittroggen wird im günstigsten Fall mit einer Maissorte der frühen Reifegruppe der optimale Aussaat-termin für die Nachfrucht Winterroggen eingehalten. Mit Ertragseinbußen (ca. 12-22 %) gegenüber dem Mais-Hauptfruchtanbau ist zu rechnen. Beim Anbau von mittelfrühen oder mittelspäten Sorten in Zweitfruchtstellung nimmt neben erheblichen Reife- und Qualitätsproblemen des Maises das Risiko einer verspäteten Wintergetreideaussaat zu. Die Leistung der Folge Grünschnittroggen / Mais / Winterroggen ist nicht nur witterungsabhängig, sondern wird auch von den betrieblichen Möglichkeiten beeinflusst, die agrotechnisch günstigen Termine einzuhalten. Bei hohen Marktpreisen von > 18 €/dt Kornertrag kann die Winterroggenproduktion höhere Deckungsbeiträge in einer Fruchtfolge erzielen als Biogasmais (Ebel und Kornatz, 2013). Zur Risikominimierung in pflanzenbaulicher und ökonomischer Hinsicht ist die Winterroggen-Körnernutzung in Energiepflanzenfruchtfolgen auf diluvialen Standorten zu integrieren.

Der **kumulierte Trockenmasseertrag** für den Zeitraum von vier Jahren liegt im Mittel aller Fruchtfolgen und Rotationen bei ca. 400 dt TM/ha. Ertragsschwach bezüglich Trockenmasseertrag waren die Fruchtfolgen Topinambur (dreijährig Kraut genutzt) / Winterroggen (Korn) mit 302 dt TM/ha (in 2 Rotationen) sowie die Raps-Getreide-Fruchtfolge mit 50 % Marktfruchtanteil und ohne Einbindung von C4-Pflanzen: Hafer (GP) / Wintertriticale (GP) / Winterraps (Korn) / Winterroggen (Korn) mit 305 dt TM/ha (in 4 Rotationen). Im Gegensatz dazu erbrachten die drei auch an anderen Orten geprüften Fruchtfolgen mit Mais und Sudangrashybride, inklusive Grünschnittroggen und/oder Getreideganzpflanzen sowie Winterroggen Korn als letztes Fruchtfolgeglied 420 bis 450 dt TM-Gesamtertrag/ha (geprüft in 4 Rotationen). In der Projektphase EVA 2 erzielten die Fruchtfolgen mit Winterroggen (GP) / Senf (Gründüngung) / Mais (Korn) / Sudangras-hybride (GP) / Winterroggen (Korn) mit 521 dt TM/ha sowie Mais (GP) / Winterroggen (GP) / Grünschnittroggen (GP) / Sudangrashybride (GP)

und Winterroggen (Korn) mit 509 dt TM/ha die bisher maximalen kumulativen vierjährigen TM-Erträge am Standort Güterfelde.

Je Jahr wurde ein durchschnittlicher Ganzpflanzenertrag von 105 dt TM/ha ermittelt. Dieser variierte von ca. 60 dt TM/ha und Jahr in der Raps-Getreide-Fruchtfolge (s. o.) bis ca. 130-140 dt TM/ha und Jahr. Je Fruchtfolgeglied sind das im Mittel 82 dt TM/ha (bei Anrechnung von zwei Ernten im Jahr).

4. Fazit und Ausblick

Fruchtfolgen mit Mais, Sorghum (Sudangrashybriden bzw. bedingt Futterhirsen) und Getreide für die Ganzpflanzennutzung (besonders Roggen) sind in Kombination mit dem Marktfruchtanbau unter den Bedingungen ostdeutscher Diluvialstandorte empfehlenswert. Aus Sicht der Humusreproduktion sind die Fruchtfolgen mit Pflanzen für die Biogassubstratbereitstellung zu kombinieren mit mehrjährigen Leguminosen-Grasgemengen sowie dem Marktfruchtanbau, bei dem das Stroh für die Humusreproduktion im System verbleibt. Die Gärreste sind entsprechend auf den Flächen auszubringen.

Die getesteten Arten zur Auflockerung der Fruchtfolgen (Sommergetreide, Topinambur, Artenmischungen aus Hafer/Erbse/Leindotter, Winterraps für die Biogassubstratnutzung) entsprachen in Ertrag bzw. Qualität nicht den Erwartungen. Biomassesonnenblumen könnten bei weiterer züchterischer Verbesserung das Anbauspektrum in begrenztem Umfang erweitern.

Ausgehend von den bisherigen Projektergebnissen könnte eine sechsfeldrige Fruchtfolge Luzernegras (Ansaat August) / Jahr 1: Luzernegras 1. Hauptnutzungsjahr (HNJ) / Jahr 2: Luzernegras 2. HNJ / Jahr 3: Mais GP (nach Umbruch Luzernegras im Frühjahr) / Jahr 4: Winterroggen GP / Senf GD / Jahr 5: Sudangrashybride GP / Jahr 6: Winterroggen Korn für das Landbaugebiet III in Brandenburg empfohlen werden, die einen Kompromiss aus pflanzenbaulichen, ökonomischen und ökologischen Anforderungen darstellt.

Gegenwärtig erfolgt bis zum 1. Quartal 2014 eine zusammenfassende Bewertung der pflanzenbaulichen Projektergebnisse aus den vier seit 2005 laufenden Fruchtfolgerotationen unter Einbeziehung von Befunden der Teilprojekte „Silierung und Methanausbeuten“, „Ökonomie“, „Ökologie“ sowie weiterer Versuchs- und Praxisergebnisse von nordostdeutschen Diluvialstandorten.

In den folgenden Jahren werden die seit 2005/06 bestehenden fünf Standardfruchtfolgen (Standortvergleich) sowie drei Regionalfruchtfolgen weitergeführt. Zusätzlich erfolgt die Risikoanalyse innerhalb von drei Fruchtfolgen (in vierfacher Anlage – Vergleich aller Fruchtfolgeglieder in jedem Jahr möglich). Des Weiteren werden seit 2013 neue Fruchtfolgen mit spezieller Ausrichtung auf den Gewässerschutz (Untersaaten) und zur Biodiversität durchgeführt und bewertet. Zusätzlich wurde die Fruchtfolge Mais (GP) / Grünschnittroggen (GP) / Sudangrashybride (GP) / Wintertriticale (GP) / Einjähriges Weidelgras (GP) / Winterroggen (Korn) mit Reduzierung der N-Düngung (um 25 %) unter dem Aspekt Klimaschutz angelegt. Außerdem wird federführend der Versuch „Anbau abfrierender und winterharter Zwischenfrüchte als ein Beitrag zum Gewässerschutz im Energiepflanzenanbau“ am Standort Güterfelde im Verbund mit weiteren vier Standorten durchgeführt.

5. Literaturangaben

- Ebel, G., Barthelmes, G., 2012: Optimierung des Anbauverfahrens Ganzpflanzengetreide, inklusive Arten- und Sortenmischungen für die Biogaserzeugung. In: Vetter, A. und Bischof, R., 2012: Schlussbericht. Anhang III Teilendbericht Güterfelde (Brandenburg). <http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22012908.pdf>.
- Ebel, G., Barthelmes, G., Zimmer, J., 2013: Verfahrenvergleich zur Ermittlung von Stroherträgen. VDLUFA-Schriftenreihe 69, Kongressband 2013 Berlin, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, im Druck.
- Ebel, G., Kornatz, P., Dunkel, J., Barthelmes, G., Aurbacher, J., 2013: Anbaufolge Mais und Winterroggen auf diluvialen Standorten – pflanzenbauliche und ökonomische Bewertung. In: Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven. Tagungsband des FNR/KTBL-Kongress in Kassel am 10.-11.09.2013, Herausgeber: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., KTBL-Schrift 501, Darmstadt, S. 345-348.
- Märtin, M., Barthelmes, G., 2013: Anbaueignung von Sorghum auf Standorten in Brandenburg. VDLUFA-Schriftenreihe 69, Kongressband 2013 Berlin, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, im Druck.

Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Verbundvorhaben: „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ (EVA) – Koordinator: TLL Jena – wird mit Mitteln des BMELV gefördert. Der Projektträger ist die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FKZ: 22002305, 22013008 bzw. 22006012). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Vom Massenfluss zur Ökobilanz – Quantifizierung des Umweltwirkungspotentials von verbessertem Weidemanagement

M. Schüler, M. Ohm, H.M. Paulsen

Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst

1. Einleitung

Die Ökobilanz ist eine Methode zur Quantifizierung von Umweltwirkungen von Produkten und Dienstleistungen entlang ihres gesamten Lebenswegs. Landwirtschaftliche Produktionssysteme sind stark vernetzt und weisen komplexe Stoffflüsse und Stoffkreisläufe auf. Daher wird zur Analyse der Umweltwirkung landwirtschaftlicher Produkte ein Modell benötigt, welches diese Komplexität in einzelnen Modulen abbilden kann. Auf Grundlage eines solchen Modells können dann durch Vergleiche verschiedener Szenarien Verbesserungspotentiale bestimmt und quantifiziert werden.

Am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau wurde auf Grundlage der Ökobilanzsoftware Umberto mit dem FARM-Modell (Flow Analysis and Resource Management) ein Stoffflussmodell entwickelt, mit dem sämtliche Stoff- und Energieströme eines Milchviehbetriebes dargestellt werden können. Zusätzlich zur Analyse des Ist-Zustands lassen sich durch Parametervariation oder Analyse von Teilen des Modells auch Folgen von Veränderungen abschätzen.

Im Folgenden wird auf Grundlage der für das Grünland ermittelten Massenströme das Potential von Änderungen des Grünlandmanagements auf die Umweltwirkung von Milch bestimmt.

2. Material und Methoden

Das Stoffflussmodell FARM ist hierarchisch aufgebaut und ermöglicht so verschiedene Betrachtungsebenen. Dadurch kann z. B. das Modul „Pflanzenbau“ sowohl unabhängig von den anderen Modulen betrachtet werden als auch durch die Gesamtmodellrechnung mit diesen verknüpft und in Beziehung gesetzt werden. Auf diese Weise können Ökobilanzen von Zwischenprodukten innerhalb

des Lebensweges von Milch, wie zum Beispiel von den einzelnen Futtermitteln erstellt werden.

Die Berechnung der stofflichen Emissionen aus der Ausbringung von Gülle und Mist erfolgt nach IPCC (2006) und Rösemann et al. (2011). Die Emissionen aus der Verbrennung von Diesel durch die Schlepper sowie der Transporte von Materialien zum Betrieb wurden der Prozessdatenbank GEMIS (Fritsche, 1999) entnommen. Die Aufwendungen und Emissionen die durch die Bereitstellung von Vorprodukten sowie durch die Müllbeseitigung entstehen werden aus Sachbilanzdaten der ecoinvent 2.2 Datenbank (Hirscher et al., 2010) berechnet.

Im Versuchsbetrieb Trenthorst/Wulmenau gehören ca. 61 ha Acker und ca. 54 ha Dauergrünland zu dem Betriebsbereich „Milchviehhaltung“. 32,7 ha des Dauergrünlands werden von den Milchkühen beweidet. Arbeitsverfahren, ausgebrachte Mengen organischer Düngemittel, Erträge und sonstige betriebliche Kennzahlen werden zentral EDV-gestützt erfasst.

Während des Erntejahres 2012 wurden die Ertragsleistungen der einzelnen Dauergrünlandflächen durch Schnittproben und Grashöhenmessungen bestimmt (Ohm et al., 2013). Erträge aus der Schnittnutzung werden für die Bestimmung der Trockenmassenaufnahme der Tiere nicht berücksichtigt. Bei den Untersuchungen zeigen sich große Unterschiede der Ertragsleistung der einzelnen Flächen. Werden die Ertragsleistungen der einzelnen Flächen mit den Beweidungsdaten (Anzahl der Tiere und Dauer der Beweidung) für die laktierenden Kühe verknüpft, lässt sich die tägliche Trockenmassenaufnahme pro Tier und Tag ermitteln. Dabei wird deutlich, dass die Tiere auf unterschiedlichen Flächen unterschiedlich viel Trockenmasse aufnehmen (Abb. 1).

Wenn davon ausgegangen werden kann, dass Kühe ihre Trockenmassenaufnahme durch Stallfütterung ausgleichen sowie die Ertragsunterschiede der Flächen zumindest zum Teil durch Managementmaßnahmen verringert werden können, lässt sich das Potential der Optimierungsmaßnahmen aus der Substitution von Stallfutter berechnen. Das heißt, pro kg Trockenmasse, das zusätzlich auf der Weide aufgenommen wird, wird bei annähernd gleichen Inhaltsstoffen ein kg Trockenmasse weniger Stallfutter benötigt. Damit werden Ressourcen frei, die zum Beispiel für die Verbesserung der Produktivität des Gesamtbetriebes zur Verfügung stehen.

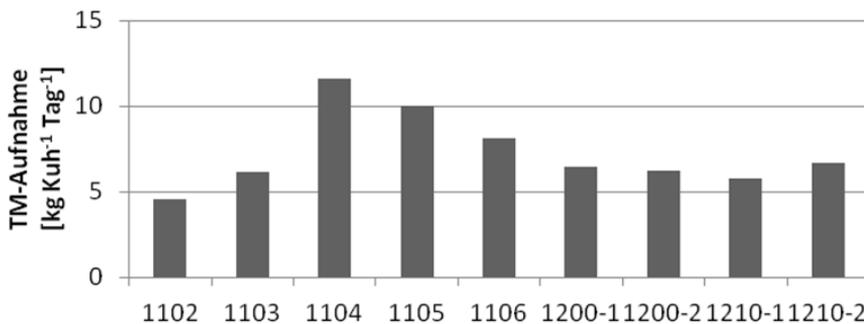


Abb. 1: Mittlere tägliche Trockenmasseaufnahme laktierender Kühe auf den betrachteten Flächen, Ertrag nach Ohm, 2013, bezogen auf Anzahl Kühe und Beweidungsdauer

Aus der Perspektive der Ökobilanz wird die Gesamtumweltwirkung der Milch dadurch reduziert, dass Aufwendungen und Emissionen zur Produktion von Kleeegrassilage verringert werden, ohne dass an anderer Stelle mehr Aufwendungen oder Emissionen auftreten. Die Reduktion des Bedarfs an Kleeegrassilage wird dem Gesamtsystem Milch gutgeschrieben.

Die durch Weidegang zu substituierende Grassilage wurde bereits im Erntejahr 2011 produziert. Da die Ernte mit 175 dt ha^{-1} Frischmasse in diesem Jahr unterdurchschnittlich war, wird auch das arithmetische Mittel der Jahre 2005, 2008 und 2009 zum Vergleich dargestellt. Die dargestellten Ökobilanzergebnisse für das selbst produzierte Kraftfutter, welches aus den Komponenten Winterweizen, Triticale und Hafer/Ackerbohnen Gemenge besteht, dienen ebenfalls zur Einordnung der Ergebnisse.

3. Ergebnisse

Bezogen auf die Frischmasse sind die Umweltauswirkungen von Kleeegrassilage in allen betrachteten Wirkungskategorien deutlich geringer als von Kraftfutter. Dies liegt vor allem am höheren Frischmasseertrag von Klee gras. Vergleicht man die Ökobilanzergebnisse von Kleeegrassilage mit unterschiedlichem Ertragsniveau, so stellt man fest, dass bis auf die Klimawirkung die Wirkungsindektorenwerte mit Reduktion um 25-30 % annähernd proportional zur Ertragserhöhung (34 %) sind (Tab. 1).

Tab. 1: Ökobilanzergebnisse in ausgewählten Umweltwirkungskategorien von selbst produzierten Futtermitteln im Versuchsbetrieb Trenthorst

Umweltwirkungskategorie	Einheit	Kleegrassilage [175 dt ha ⁻¹]	Kleegrassilage [265 dt ha ⁻¹]	Kraftfutter [33 dt ha ⁻¹]
Klimaerwärmungspotential (GWP)	kg CO ₂ -Äq.	9,83*10 ⁻²	8,82*10 ⁻²	1,52*10 ⁻⁰
Ozonverminderungspotential (ODP)	kg R11-Äq.	3,78*10 ⁻⁹	2,80*10 ⁻⁹	2,47*10 ⁻⁸
Troposphärisches Ozonbildungspotential (POCP)	kg Ethen-Äq.	4,25*10 ⁻⁶	3,15*10 ⁻²	8,27*10 ⁻⁵
Versauerungspotential (AP)	kg SO ₂ -Äq.	3,85*10 ⁻⁴	2,75*10 ⁻²	1,99*10 ⁻²

Im Gegensatz dazu werden bei der Klimawirkung (global warming potential, GWP) Ertragsunterschiede des Kleeertrages nicht vollständig in den Ergebnissen reflektiert. Dies ist dadurch zu erklären, dass die direkten Emissionen, d. h. Lachgas aus dem Stickstoffeintrag des Klees, linear anhand des Ertrages berechnet werden. Sinkt der Ertrag werden auch die direkten Emissionen kleiner. Das gleiche gilt für die Aufwendungen und Emissionen für die Siloabdeckung. Diese sind konstant pro kg Siliergut.

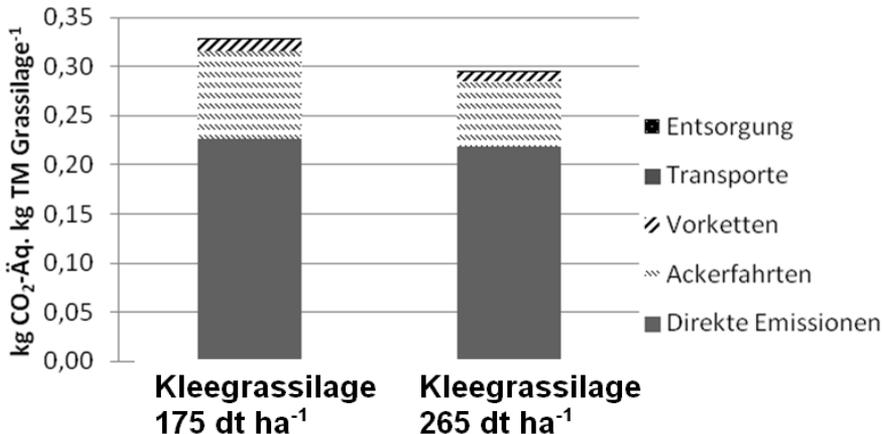


Abb. 2: Beitragsanalyse zum Klimawirkungspotential von 1 kg Trockenmasse Kleegrassilage im Versuchsbetrieb Trenthorst

In der Beitragsanalyse für Kleegrassilage zeigt sich die Dominanz der direkten Emission von Lachgas gegenüber allen anderen Quellen deutlich. Es ist ebenfalls gut zu erkennen, dass der Unterschied zwischen beiden Ertragsszenarien vor allem durch die Ackerfahrten verursacht wird. Indirekte Emissionen aus Vor-kettenprozessen, Transporten und Müllbeseitigung spielen nur eine untergeordnete Rolle und sind kaum zu differenzieren (vgl. Abb. 2).

Um das Optimierungspotential von Weidemanagement zu berechnen, müssen die Ökobilanzergebnisse der Kleegrassilage den Ökobilanzergebnissen des Gesamtsystems für die Milchproduktion gegenübergestellt werden. Dabei wird hier davon ausgegangen, dass die Optimierung des Weidemanagements nicht zu höheren Emissionen führt. Emissionen aus der Verdauung der Tiere und Gülle bleiben davon unberührt.

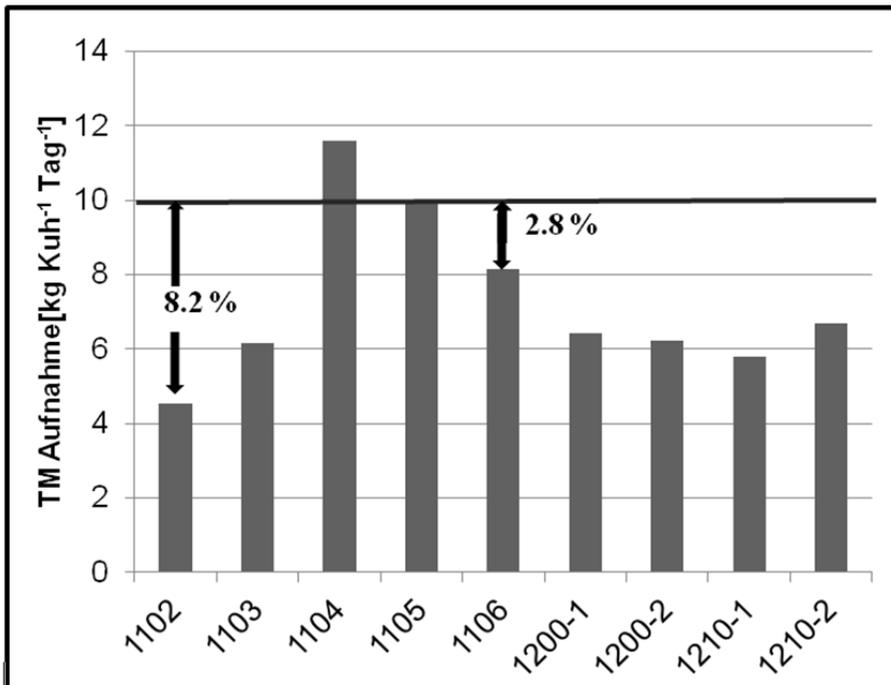


Abb. 3: Tägliche Trockenmasseaufnahme pro Kuh und Tag auf den Beweidungsflächen 2012, die Prozentzahl zeigt das Reduktionspotential des Treibhauseffektes pro Liter energiekorrigierter Milch durch die Erhöhung der Trockenmasseaufnahme auf der Weide auf 10 kg TM pro Kuh und Tag

Bei einer täglichen Milchleistung von 20 kg energiekorrigierter Milch können bei Erhöhung der täglichen Trockenmasseaufnahme auf der Weide um ein kg pro kg Milch 0,05 kg Trockenmasse Kleeegrassilage substituiert werden. Die Klimawirkung (GWP) von einem kg Milch beträgt ca. 1,0 kg CO₂-Äquivalente. Damit berechnet sich das Potential der Substitution von Kleeegrassilage durch Weidefutter wie folgt:

$$\text{Potential} \left[\frac{1}{\text{kg Milch}} \right] = \frac{\text{GWP Kleeegrassilage}}{\text{tägl. Milchleistung} * \text{GWP Milch}} = \frac{0,3 \text{ kg CO}_2\text{-Äq.}}{20 \text{ kg} * 1,0 \text{ kg CO}_2\text{-Äq.}}$$

Dies bedeutet z. B. bei einer Klimawirkung von ca. 0,3 kg CO₂-Äquivalenten pro kg Trockenmasse Kleeegrassilage, dass sich mit Erhöhung der Trockenmasseaufnahme beim Weidegang um 1 kg die Klimawirkung von Milch während der Weidesaison um 1,5 % verbessern lässt, wenn alle anderen Faktoren unverändert bleiben. Bei der Fläche mit der geringsten Trockenmasseaufnahme pro Kuh zeigt sich dann ein Optimierungspotential von 8,3 % pro Liter Milch, wenn eine Trockenmasseaufnahme von 10 kg pro Tag erreicht wird (Abb. 3).

4. Diskussion

Umweltwirkungen in der Landwirtschaft lassen sich durch Management verändern. Betriebliche Optimierungspotentiale lassen sich nur durch die Verwendung von betriebsspezifischen Messdaten ableiten. Sind betriebliche Massenflüsse möglichst detailliert bekannt können Optimierungspotentiale quantifiziert und in Relation zum Gesamtsystem gesetzt werden. Erst dadurch lässt sich der Nutzen einer Maßnahme sinnvoll überprüfen.

In dieser Untersuchung wurde die Futtermenge durch die laktierenden Kühe auf der Weide nicht anhand des Futterbedarfs geschätzt, sondern durch Gras Höhenmessung bestimmt und in das Stoffflussmodell FARM übernommen. Dadurch konnte die Flächenproduktivität der einzelnen Weiden differenziert und damit ein Optimierungspotential bestimmt werden. Die Bedeutung der Verbesserung der Futtermenge von Milchkühen in Grünland für die Produktökobilanz konnte mittels Stoffflussmodell erstmals betriebsbezogen näher eingegrenzt werden.

5. Literaturangaben

- Fritsche, U.R., 1999: Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme. (GEMIS) Version 3.08; ein Computer-Instrument zur Umwelt- und Kostenanalyse von Energie-, Transport- und Stoffsystemen; [Kurzbericht inkl. CD-ROM]. Wiesbaden: Hess. Min. für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, Ref. Öffentlichkeitsarbeit, IV, Z6, 42, A13 Sp.
- Hischier, R., Althaus, H.-J., Bauer, C., Doka, G., Frischknecht, R., Jungbluth, N., Nemecek, T., Simons, A., Stucki, M., Sutter, J., Tuchschnid, M. 2010: Documentation of changes implemented in ecoinvent Data v2.1 and v2.2. Final report ecoinvent data v2.2 No. 16. Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- IPCC, 2006: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.
- Ohm, M., Felix, J., Schüler, M., Paulsen, H.M., Rahmann, G., 2013: Eignung von Methoden zur Ermittlung des Massenaufwuchses von Grünland am Beispiel eines ökologischen Milchviehbetriebes. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 69, Kongressband 2013 Berlin, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Rösemann, C., Haenel, H.-D., Poddey, E., Dämmgen, U., Döhler, H., Eurich-Menden, B., Laubach, P., Dieterle, M., Osterburg, B., 2011: Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990-2009. Braunschweig: vTI, Online-Ressource (PDF-Datei: 402 S., 3624 KB) p zu finden in <<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:253-201103-dn048142-1>>.

Danksagung

Ein herzlicher Dank geht an den VDLUFA für die Möglichkeit der Teilnahme am Kongress durch die finanzielle Unterstützung.

Eignung von Methoden zur Ermittlung des Massenaufwuchses von Grünland am Beispiel eines ökologischen Milchviehbetriebes

M. Ohm, J. Felix, M. Schüler, H.M. Paulsen, G. Rahmann
Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst

1. Einleitung

Grünland erfüllt wichtige ökologische Funktionen und ist ein bedeutungsvoller Bestandteil unserer Agrarlandschaft. Über die Rolle von Grünland für innerbetriebliche Nährstoffflüsse ist allerdings wenig bekannt. Ein Grund dafür ist, dass die Ermittlung der grünlandbezogenen Massenflüsse eine Herausforderung darstellt, insbesondere bei Weidenutzung. Zur Bestimmung der Futtermittelaufnahme auf der Weide müssen der Ertrag bei Auftrieb und Abtrieb der Tiere und der Zuwachs während der Beweidung bestimmt werden. In der vorliegenden Arbeit werden Möglichkeiten aufgezeigt, grünlandbezogene Erträge zu ermitteln und diese miteinander verglichen. Als Techniken wurden ein Höhenmessgerät sowie direkte Schnittproben eingesetzt. Zur Bestimmung der Grünlanderträge bei Beweidung wurde ein Verfahren ohne Weidekörbe eingesetzt. Dabei dienen umliegende nicht beweidete Flächen analog zum Weidekäfig als Referenz für den Aufwuchs der nicht beweideten Fläche. Die Ertragsbestimmungen sind zum einen Grundlage für verbesserte Entscheidungen bezüglich des Grünlandmanagements. Zum anderen werden die Ertragsdaten für die Berechnung von Stoffströmen auf innerbetrieblicher Basis benötigt. Mit Hilfe von Stoffflussmodellen lassen sich dann Optimierungsmöglichkeiten aufzeigen (Steinshamn et al., 2004).

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsstandort

Die Versuche wurden auf den Versuchsflächen des Thünen-Institutes in Trenthorst (Schleswig-Holstein, 53°46' O, 10°30' N; 10-43 m ü. NN) durchgeführt. Der mittlere Jahresniederschlag liegt bei 706 mm und die mittlere Jahrestemperatur bei 8,8 °C (1978-2007). Im Jahr 2012 betrug der Niederschlag 536,7 mm, das sind 34 % weniger als im langjährigen Mittel. Insbesondere das Frühjahr war relativ trocken (Abb. 1).

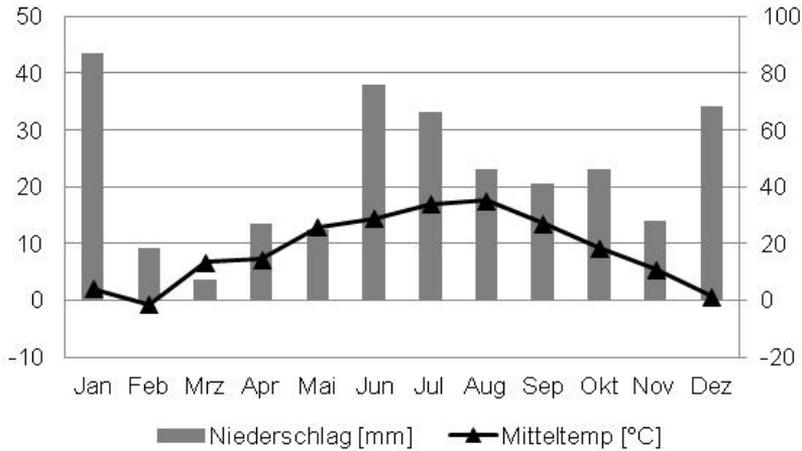


Abb. 1: Mittlere monatliche Temperatur und Niederschlag in Lübeck, Blankensee 2012 (Daten: DWD)

Die knapp 600 ha Versuchsflächen werden seit 2001 ökologisch bewirtschaftet. Die Bodentypen sind Pseudogley, Braunerden und Parabraunerden und die Bodenart sandiger Lehm bis toniger Lehm bei durchschnittlich 53 Bodenpunkten. Für die 80 Milchkühe (Rotbunte Doppelnutzung und Holstein-Frisian Schwarzbunt) werden 32,7 ha Dauergrünland zur Beweidung genutzt. Die Weidesaison läuft von Ende April bis Anfang Oktober. Die 13 Weideflächen sind durchschnittlich 2,5 ha groß und werden im Rotationsverfahren halbtags (7 h pro Tag) beweidet.

2.2 Ertragsermittlung

Die Erträge des Grünlandes wurden direkt durch eine Schnittprobe oder indirekt mit Hilfe eines Höhenmessgerätes (Rising-Platemeter, FARMWORKS) bestimmt.

Bei der Messung mit dem Höhenmessgerät wird ein Stab senkrecht auf den Boden abgesetzt. Die daran befestigte bewegliche Platte senkt sich solange auf das Gras, bis der Widerstand des Grases das Plattengewicht trägt. Der Abstand zwischen Boden und Platte wird als Höhenwert ausgegeben. Um aus der Höhenangabe den Trockenmasseertrag ableiten zu können, musste das Gerät auf die spezifischen Weideeigenschaften geeicht werden. Dazu wurden an 396

Punkten die Höhe bestimmt (4 Messungen) und dann auf der gleichen Fläche eine Biomasseprobe (0,5 m x 1 m, 1 cm über der Bodenoberfläche) geschnitten. Diese Probe wurde zur Bestimmung der Trockenmasse 24 h bei 60 °C getrocknet.

Die Futterraufnahme pro Beweidung wurde wie folgt berechnet:
 (Auftriebsprobe - Abtriebsprobe) + (tägl. Zuwachsrate x Weidetage)

Zur Bestimmung der Differenz des Biomasseaufwuchses zwischen Auftrieb und Abtrieb wurde der Ertrag an vier GPS-Punkten mit dem Höhenmessgerät und der direkten Schnittprobe ermittelt (Abb. 2, links).

Für die Bestimmung der mittleren täglichen Zuwachsrate wurden benachbarte, temporär unbeweidete Flächen genutzt. Auf diesen wurden wöchentliche Höhenmessungen auf der Gesamtfläche durchgeführt. Hierzu wurden die Flächen im Zick-Zack abgelaufen (Abb. 2, rechts). Dabei wurde alle 10 m die Höhe des Bestandes gemessen und der automatisch ermittelte Mittelwert nach jeder Querstrecke notiert. Pro Fläche gab es etwa sechs Querstrecken mit jeweils 10 bis 20 Einzelmessungen.

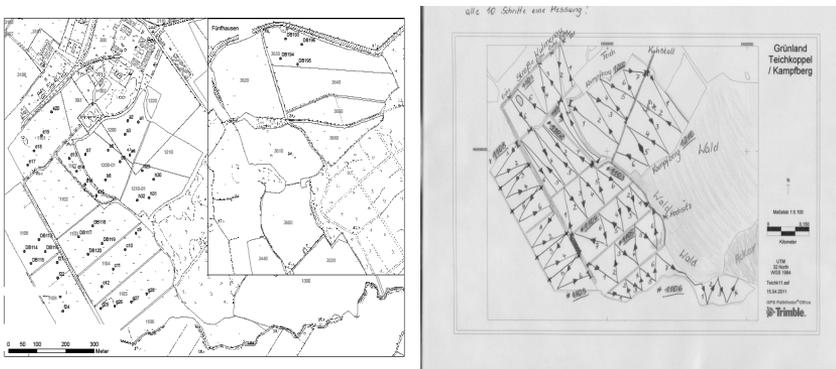


Abb. 2: Messung von vier GPS-Punkten pro Fläche (links) und Ablaufen der Flächen mit Höhenmessgerät (rechts)

2.3 Methodenvergleich

Bei 61 Messungen fielen die Ertragsbestimmungsmethoden (4 Punkte Höhenmessgerät und Schnittprobe sowie Höhenmessung der Gesamtfläche) auf ± 1 Tag. In diesem Fall wurden die Erträge und deren statistische Kennzahlen mitei-

inander verglichen. Der Variationskoeffizient dient dazu, die Streuung der Stichproben mit unterschiedlichen Mittelwerten zu vergleichen. Dazu wird das Verhältnis der Standardabweichung zum Mittelwert in Prozent ausgedrückt. Die Statistik wurde mit Excel 2010 und R 2.15.2 berechnet.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Kalibrierung

Die Kalibrierung der mit dem Höhenmessgerät bestimmten Höhe (H) mit der Trockenmasse (TM) zeigte einen guten linearen Zusammenhang (Abb. 3). Für die Bedingungen der Versuchsstation ergab sich daraus folgende Funktion: $TM = 100,41 \times H + 1$ ($r^2 = 0,7549$; $n = 396$). Die Funktion wurde zur Berechnung des Ertrages des Grünlandes mit Hilfe des Höhenmessgerätes genutzt.

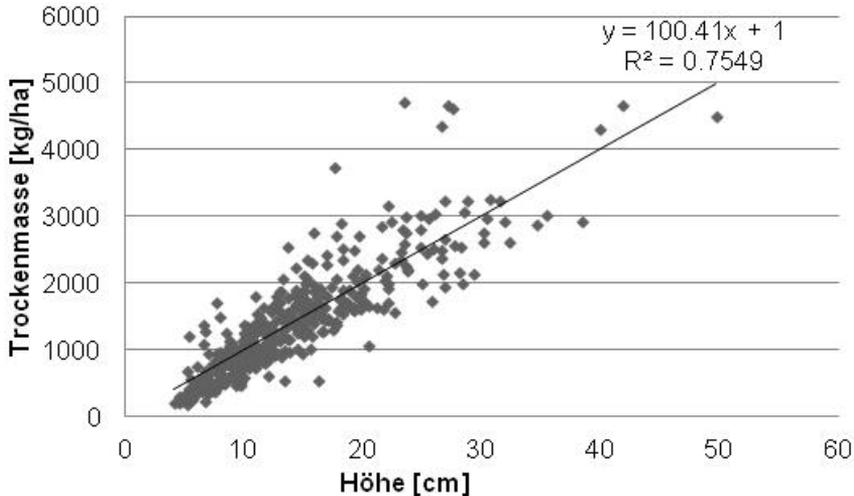


Abb. 3: Kalibrierung der Höhenmessung (H) des Rising-Platemeters [cm] mit der Trockenmasse (TM) [kg/ha], $n = 396$

3.2 Zuwachsrate

Die mittlere tägliche Zuwachsrate zeigte über die Weidesaison hohe Schwankungen (Abb. 4). Ein negativer Wert entsteht, wenn das Gras eine geringere Widerstandskraft gegenüber der Platte hat, als in der Vorwoche. Dies kann durch Trockenheit und Hitze passieren. Die Ertragsmessung am 25.07.2012 wurde am heißesten Tag des Monats ($30,3^\circ\text{C}$, DWD) durchgeführt.

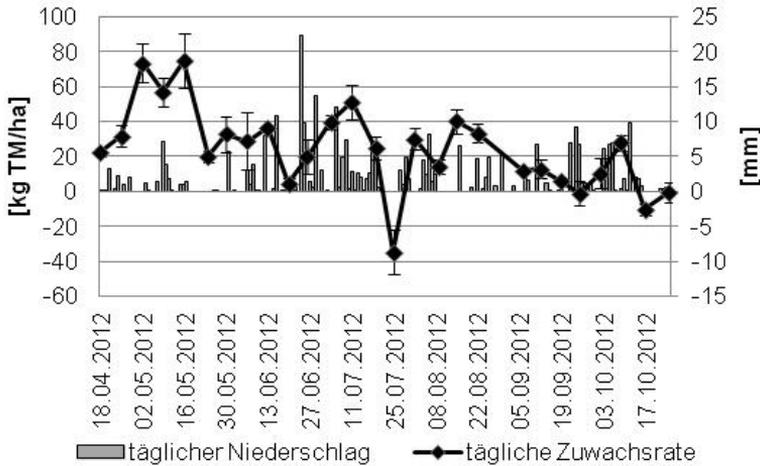


Abb. 4: Mittlere tägliche Zuwachsrate berechnet anhand der wöchentlichen Höhenmessung der benachbarten, unbeweideten Flächen 2012

3.3 Ertragsleistung der Flächen

Es ergaben sich Ertragsleistungen pro Fläche zwischen 3680 kg TM/ha und 5970 kg TM/ha (Abb. 5).

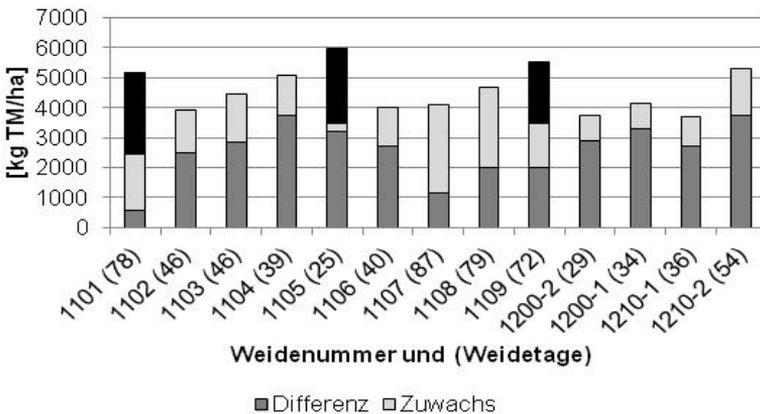


Abb. 5: Gesamtertragsleistungen der Flächen 2012 berechnet aus der Differenz der Auftriebs- und Abtriebsprobe (dunkelgrau), dem täglichen Zuwachs (hellgrau) und der Erträge der Schnittnutzung (schwarz); in Klammern: Anzahl der Weidetage

Die Ertragsleistung der Weide setzt sich aus der gesamten jährlichen Futteraufnahme auf der Weide aus der Differenz der Abtriebs- und Auftriebsproben, dem täglichen Zuwachs an den Weidetagen sowie den Erträgen der Schnittnutzung zusammen (Abb. 5).

Die Ertragsvariation zwischen den Flächen lässt auf Standortunterschiede schließen und kann auf Optimierungspotential beim Weidemanagement hinweisen.

3.4 Methodenvergleich

Die unterschiedlichen Methoden der Ertragsbestimmungen zeigen ähnliche Erträge. Bei der Messung an vier Punkten pro Fläche mit einem Höhenmessgerät ergaben sich im Mittelwert 1543 (\pm 637) kg TM/ha und die direkte Beernung durch Schnittprobe ergab einen Mittelwert von 1407 (\pm 644) kg TM/ha. Im Vergleich zur Schnittprobe ergab die Höhenmessung alle 10 Schritte quer über die Flächen einen um 5,3 % niedrigeren Mittelwert von 1333 (\pm 522) kg TM/ha (Tab. 1). Der zeitliche Aufwand der Ertragsbestimmung variiert zwischen den Methoden stark. Nach der Kalibrierung wurde für die Höhenmessung am wenigsten Zeit pro Fläche benötigt: 7 Minuten bei der Messung von 4 GPS-Punkten, 13 Minuten für das Ablaufen der Gesamtfläche im Zick-Zack. Das Schneiden der Biomasse an 4 GPS-Punkten benötigte 20 Minuten pro Fläche. Der zusätzliche Zeitbedarf für die Wiegung und Trocknung wurde nicht einberechnet.

Tab. 1: Kennzahlen der Ertragsbestimmung von Weideflächen mit drei verschiedenen Methoden

Methode	Mittelw. kg TM/ ha	Stabw. kg TM/ha	Min. kg TM/ ha	Max. kg TM/ ha	Zeitl. Aufwand (min)	N
4 Punkte Schnitt	1407	644	322	3246	20	61
4 Punkte Höhe	1543	637	514	3245	7	61
Gesamtfl. Höhe	1333	522	600	2912	13	61

Um das Streuungsverhalten der Einzelmessungen zueinander zu vergleichen (vier Punkte bzw. etwa 6 Querstrecken) wurde der Variationskoeffizient genutzt. Die Zick-Zack Höhenmessung zeigte die geringsten Variationskoeffizienten. Die Methode mit Schnittproben an vier Punkten pro Fläche zeigten die höchsten Unterschiede (Abb. 6). Durch das selektive Weideverhalten der Tiere kam es zur heterogenen Biomasseverteilung (Valentine, 2001). Die ließ sich mit der Zick-Zack Messung gut abbilden. Werden lediglich 4 Punkte beprobt, muss große Achtsamkeit auf die Auswahl von repräsentativen Punkten gelegt werden.

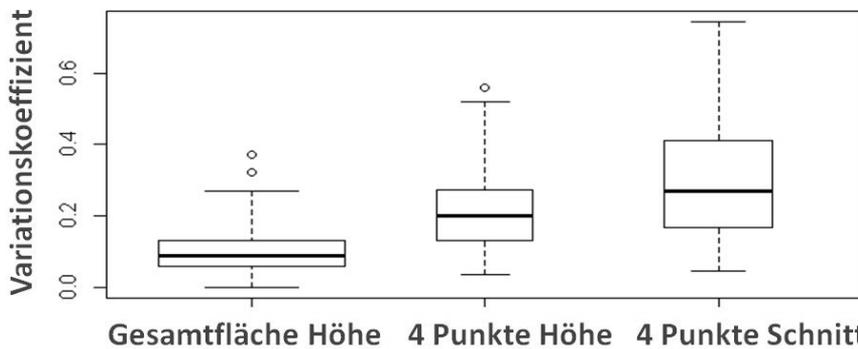


Abb. 6: Vergleich der Variationskoeffizienten der einzelnen Messmethoden auf den Flächen

4. Zusammenfassung

Zwischen der mit dem Höhenmessgerät ermittelten Bestandeshöhe und Trockenmasseertrag bestand auf den ökologisch bewirtschafteten Weideflächen in Trenthorst ein guter linearer Zusammenhang. Das Höhenmessgerät ließ durch die einfache und schnelle Handhabung eine Vielzahl an Ertragserschätzungen auf mehreren Flächen zu. Es eignete sich daher für die Ermittlung der täglichen Zuwachsraten auf unbeweideten, benachbarten Flächen. Diese Methode wurde statt Messungen in Weidekäfigen für die Ertragsbestimmung eingesetzt. Insgesamt kann die konsequente Anwendung der Höhenmessung hilfreich für die Optimierung des Weidemanagements sein (Hoppe et al., 1995). Diese liefert einen Überblick über die verfügbaren Futtermengen und den Zuwachs für ein angepasstes Weidemanagement.

Die mittleren täglichen Zuwachsraten schwankten über das Jahr stark. Die Ertragsleistungen zwischen den Flächen schwankten über 30 %. Diese Varia-

tion lässt auf Standortunterschiede schließen und kann auf Optimierungspotential beim Weidemanagement hinweisen.

Bei dem Vergleich der verschiedenen Methoden zeigten sich hinsichtlich der Ertragsabschätzungen ähnliche Ergebnisse. Allerdings war die Methode der direkten Schnittprobe sehr zeitintensiv im Gegensatz zur Höhenmessung mit einem kalibrierten Gerät. Beim Vergleich der Ertragsbestimmungen über vier Punkte mit denen über die Gesamtfläche wiesen die über die Fläche ermittelten Werte geringere Variationskoeffizienten auf. Bei der Ertragsbestimmung an lediglich vier Punkten können die Werte, z. B. durch das selektive Weideverhalten der Kühe oder durch heterogene Standortverhältnisse, sehr stark voneinander abweichen. Gerade bei heterogenen Grünlandbeständen ist die Repräsentativität der Ertragsbestimmung bei der Messung mit hoher Frequenz am besten gegeben.

5. Ausblick: Anwendungsbeispiel

Die ermittelten Massenflüsse sollen dafür genutzt werden, Nährstoffflüsse vom Grünland in den Stall detailliert in einem gesamtbetrieblichen Stoffflussmodell (Schüler und Paulsen, 2012) darzustellen. Für die Berechnung produktbezogener Umweltwirkungen (z. B. der eines Liters Milch) werden die Flächenleistungen (Abb. 5) auf die Futtermittelaufnahme pro Kuh umgerechnet. Zeigen sich unterschiedliche Futtermittelaufnahmen bei den Flächen, kann dies auf Standortunterschiede und Verbesserungsmöglichkeiten beim Management hinweisen. Sind Weidemanagemententscheidungen ein Faktor, der Flächenleistungen verbessern könnte, lassen sich veränderte Umweltwirkungen mit Hilfe einer Ökobilanz ermitteln (Schüler et al., 2013).

6. Literaturangaben

Hoppe T., Weißbach F., Schmidt L., 1995: Kontrolle des Weidemanagements durch Bestandshöhenmessung. VDLUFA Schriftenreihe Bd. 40, 153-160, Kongressband 1995 Garmisch-Partenkirchen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

- Schüler, M., Paulsen, H.M., 2012: An LCA based comparison of two different dairy breeds in an organic farm. 2nd Organic Animal Husbandry Conference Hamburg, Trenthorst, 12.-14. September, 2012.
- Steinshamn, H., Thuen, E., Bleken, M.A., Brenøe, U.T., Ekerholt, G., Yri, C., 2004: Utilization of nitrogen (N) and phosphorus (P) in an organic dairy farming system in Norway. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104(3), 509-522.
- Schüler, M., Ohm, M., Paulsen, H.M., 2013: Vom Massenfluss zur Ökobilanz – Quantifizierung des Umweltwirkungspotentials von verbessertem Weidemanagement. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 69, Kongressband 2013 Berlin, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Valentine, J.F., 2001: *Grazing Management*. 2nd Edition, California.

Danksagung

Ein herzlicher Dank geht an Karina Schuldt und Felix Wolter für die Unterstützung bei der Datenermittlung!

Agrarmeteorologische Charakterisierung des Bodenwasserhaushaltes am Standort Bernburg-Strenzfeld

M. Schmidt

Deutscher Wetterdienst, Leipzig

1. Einleitung

Informationen über den Wasserhaushalt an einem Standort sind ein wichtiges Managementwerkzeug. So wird der Ertrag und damit auch mittelbar der wirtschaftliche Erfolg unter anderem durch die vorherrschende Verdunstung und daraus folgend durch das den Pflanzen zur Verfügung stehende Wasser im Boden maßgeblich mitbestimmt. Genaue Kenntnis über die im Mittel zu erwartende Bodenfeuchte, Versickerung und Verdunstung sind also Grundlage für pflanzenbauliche Planungen und Maßnahmen. So kann zum Beispiel durch eine geeignete Sortenwahl, Variierung agrotechnischer Maßnahmen und Termine oder durch Bewässerungsmaßnahmen ein gewisser Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt und damit auf den angestrebten Ertrag genommen werden. Problematisch ist hierbei, dass die Messung der Bodenwasserhaushaltsgrößen nicht ganz trivial oder relativ aufwendig und teuer ist. Flächendeckende lange Messreihen, die den Bodenwasserhaushalt repräsentativ in einer Region oder eines Standortes beschreiben, stehen leider nur für sehr wenige Orte zur Verfügung. Umso dringender erscheint es daher, dass für den Ackerbau- und Forschungsstandort Bernburg-Strenzfeld eine Klimatologie geschaffen wird, die die durchschnittlich zu erwartende Verdunstung, Bodenfeuchte, Versickerung und klimatische Wasserbilanz in den einzelnen Monaten und in den einzelnen Entwicklungsphasen der wichtigsten Markt- und Energiefrüchte charakterisiert.

2. Methodik

Die Berechnung des Bodenwasserhaushaltes für den Standort Bernburg-Strenzfeld ab 1961 erfolgte durch das Bodenwasserhaushaltsmodell METVER von Müller (1987). Dieses erprobte und robuste DWD-interne Modell hat den Vorteil, dass lediglich drei Messgrößen des Standortes auf der meteorologischen Seite als Tageswerte vorhanden sein müssen, um Aussagen zur poten-

tiellen und realen Verdunstung, zur Versickerung und zur Bodenfeuchte zu erhalten. Ferner kann das Modell mit Klimaprojektionen betrieben werden, die Bodenwasserhaushaltsszenarien für die Zukunft liefern. Kultur-, naturraum- und bodenspezifische Kenngrößen wurden zudem in METVER eingepflegt, um fruchtart- und standortgenaue Aussagen für die Region Bernburg zu erhalten.

Die Berechnungen erfolgten für die wirtschaftlich relevanten Kulturen Winterweizen und Winterraps sowie Mais und Zuckerrüben. Zusätzlich wurde der Bodenwasserhaushalt unter Gras ermittelt, da nur Gras als fruchtartunabhängige (Dauer)Kultur per Definition Aussagen zur potentiellen Verdunstung und damit auch zur klimatischen Wasserbilanz zulässt.

Für jede Kultur wurden Tageswerte der Verdunstung, Versickerung und Bodenfeuchte von 1961 bis 2010 berechnet. Im Anschluss erfolgte die Bildung von langjährigen klimatischen Mittelwerten auf Basis der Tageswerte für die Perioden 1961-1990 und 1981-2010. Damit sollte erreicht werden, dass aktuellere Mittelwerte als Alternative zur alten Klimareferenzperiode für zukünftige Untersuchungen am Standort vorliegen. Ferner können die jeweiligen Mittel verglichen und dadurch Trends oder Tendenzen ausgearbeitet werden. Die Mittelwertbildung erfolgte für die einzelnen Monate, für das Jahr und für die mittleren phänologischen Phasen der einzelnen Kulturen. Damit die einzelnen Tage in den 30-jährigen Reihen nicht gänzlich in den Mittelwerten untergehen, wurden Klassen gebildet, die jeden Tag in einen bestimmten Bereich (bspw. Tage mit hoher, mittlerer oder geringer potentieller Verdunstung) einordnen.

3. Ausgewählte Ergebnisse

Die potentielle Verdunstung (PET) gibt die maximal mögliche atmosphärische Verdunstung eines Tages an. Hierfür musste der Bodenwasserhaushalt für Gras berechnet werden, da die PET weitestgehend fruchfolge- und vegetationsunabhängig per Definition sein muss. Die Berechnungen ergaben eine mittlere Jahressumme der PET im Zeitraum 1961-1990 von rund 600 mm; im Zeitraum 1981-2010 stieg die mittlere Verdunstungssumme um gute 50 mm auf rund 650 mm an. Die größten Zunahmen der Verdunstungssumme gab es aufgrund der gestiegenen Mitteltemperaturen in den Monaten April bis August. Bei der Klassifizierung der Tage nach geringer (< 1 mm pro Tag), mittlerer (1 bis 5 mm pro Tag) und hoher (über 5 mm pro Tag) PET ergab sich folgende Verteilung:

Tab. 1: Absolute Zahl der Tage im 30-jährigen Zeitraum (insgesamt 10957 Tage) mit geringer, mittlerer und hoher PET in den einzelnen Klimaperioden

PET	absolute Zahl der Tage					
	< 1,0 mm		1,0 mm ≤ PET ≤ 5,0 mm		> 5,0 mm	
	1961-1990	1981-2010	1961-1990	1981-2010	1961-1990	1981-2010
Januar	930	926	0	4	0	0
Februar	734	693	113	154	0	0
März	470	407	460	523	0	0
April	135	72	765	828	0	0
Mai	15	0	885	864	30	66
Juni	0	0	812	760	88	140
Juli	0	0	822	754	108	176
August	28	0	876	875	26	55
September	89	59	811	841	0	0
Oktober	486	450	444	480	0	0
November	858	836	42	64	0	0
Dezember	930	930	0	0	0	0
Jahr	4675	4373	6030	6147	252	437

In nahezu allen Monaten hat die PET im jüngsten Klimamittel zugenommen. Während die Anzahl der Tage mit geringer potentieller Verdunstung abnahm, stieg die Zahl der Tage mit einer Verdunstung zwischen 1 und 5 mm sowie über 5 mm im Jahr hingegen an (siehe Tab. 1).

Die klimatische Wasserbilanz (KWB) konnte als Differenz zwischen Niederschlag und potentieller Verdunstung für jeden Tag ab 1961 berechnet werden. Abbildung 1 zeigt die mittleren Summen der KWB in den einzelnen Monaten der verschiedenen Klimazeiträume. Bei der klimatischen Wasserbilanz hat sich die mittlere Jahressumme um fast 24 mm im Zeitraum 1981-2010 gegenüber 1961-1990 verringert, obwohl der mittlere Jahresniederschlag nach Auswertungen von Böttcher (2012) im selben Zeitraum angestiegen ist. Damit wird eines deutlich: dem Boden kam trotz gesteigener Niederschlagshöhen in jüngster Vergangenheit weniger Wasser zugute. Ursache dafür kann nur die erwärmungsbedingt gestiegene potentielle Verdunstung im Zeitraum 1981-2010 gewesen sein. Besonders nachteilig für die Vegetation der Kulturpflanzen war dabei, dass in der wichtigen Zeit zwischen April und September die KWB in ihrer mittleren Summe negativ war. Das bedeutete im Mittel mehr Trockenstress für die Pflanzen, da die gestiegene unproduktive Verdunstung (PET) zusätzlich knappes

Wasser aus dem System Boden – Pflanze in der Hauptvegetationszeit herausnahm.



Abb. 1: mittlere Summe der klimatischen Wasserbilanz in den einzelnen Klimareferenzperioden

Im Herbst und Winter zeigt sich dagegen ein anderes Bild: durch die gestiegenen mittleren Niederschläge von September bis März nahm die mittlere Summe der KWB 1981-2010 höhere Werte an als im Zeitraum 1961-1990. Das entstandene Defizit aus den Monaten April bis August konnte jedoch nicht dadurch kompensiert werden!

Die reale Verdunstung (AET) gibt im Gegensatz zur PET die tatsächliche Verdunstung eines Kulturbestandes wider. Meist ist die AET kleiner oder maximal gleich der PET. Die Auswertung der AET erfolgte nach phänologischen Phasen der Kulturpflanzen und nicht nach Monaten. Abbildung 2 zeigt beispielsweise die mittlere AET eines Tages in den einzelnen phänologischen Phasen des Winterrapses. In der Vegetationsruhe sind die AET und damit auch der Wasserverbrauch mit durchschnittlich 0,5 mm pro Tag am geringsten. Während der Blüte sind die Verdunstung und damit auch der Wasserverbrauch mit rund 3 mm pro Tag am höchsten. Ähnliche Werte zeigten sich auch bei den anderen betrachteten Kulturen.

Die mittlere Jahressumme der realen Verdunstung lag bei allen Kulturen zwischen 500 und 550 mm pro Jahr. Bei der Auszählung der Tage mit geringer

(< 1,0 mm), mittlerer (1,0 mm bis 5,0 mm) und hoher (> 5,0 mm) realer Verdunstung konnte festgestellt werden, dass insgesamt die Anzahl der Tage mit geringer AET gegenüber den Tagen mit mittlerer und hoher AET in jüngster Vergangenheit abgenommen hat! Die reale Verdunstung nahm also im Mittel und in der Summe zu.

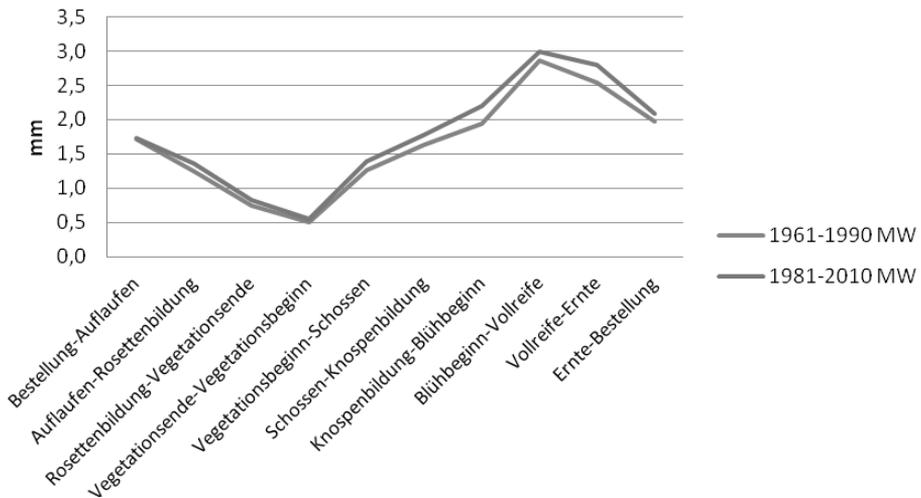


Abb. 2: mittlere Tagesrate der AET in den einzelnen phänologischen Phasen des Wintertrapses in den unterschiedlichen Klimamitteln

Die Berechnung des Sickerwassers in Richtung Grundwasser zeigte, dass es im Mittel der Jahre zwischen 60 und 80 mm Sickerwasser je nach Kulturart in Bernburg-Strenzfeld gab. Im Wesentlichen beschränken sich die Tage mit Sickerwasserbildung auf die Vegetationsruhe, wo die Verdunstung und der Wasserverbrauch der Kulturen niedrig und die Bodenfeuchte hoch ist. Der Anteil der Tage mit Sickerwasserbildung lag durchschnittlich bei 5 bis 6 % der Gesamttagesanzahl eines Jahres.

Die Bodenfeuchte wurde in % nFK (nutzbare Feldkapazität) berechnet und gibt das pflanzenverfügbare Wasser zwischen der Bodenoberfläche und der Ausschöpfungsschicht des Wurzelraumes der Kulturpflanzen wider. Wie am Beispiel des Winterweizens in Abb. 3 zu sehen ist, liegen die höchsten Bodenfeuchten in der Vegetationsruhe, die geringsten Bodenfeuchten werden im Mittel der Jahre im Juli und August erreicht.

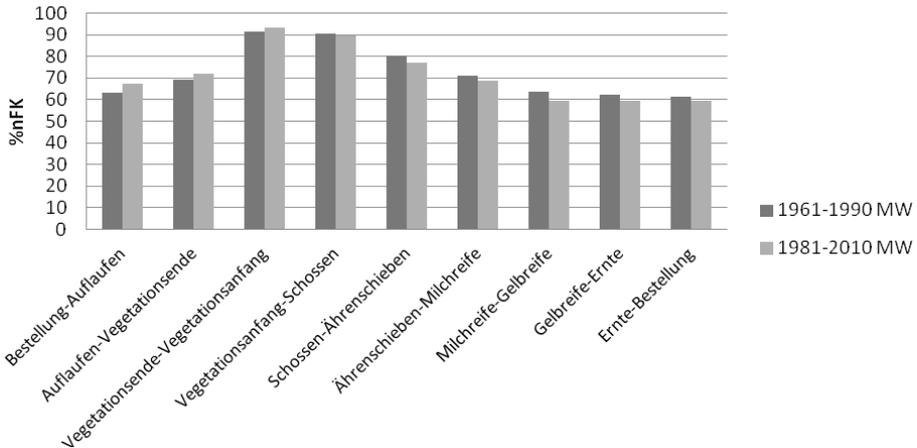


Abb. 3: mittlere Bodenfeuchte in den einzelnen phänologischen Phasen des Winterweizens

Durch die gestiegenen mittleren Niederschläge im Herbst und Winter konnte bei allen Kulturen im Zeitraum 1981-2010 eine höhere mittlere Bodenfeuchte berechnet werden als noch im Zeitraum 1961-1990. Entgegen diesem Trend hat sich aber vor allem in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode die Bodenfeuchte im Mittel verringert. Die höhere Verdunstung infolge der gestiegenen Mitteltemperaturen und der teilweise im Mittel geringere Niederschlag in dieser Zeit dürfte dafür verantwortlich gewesen sein.

Die Auszählung der Tage mit sehr geringer (< 30 % nFK), geringer (30 bis 50 % nFK), mittlerer (> 50 bis 80 % nFK) und hoher (> 80 % nFK) Bodenfeuchte ergab, dass an circa 8 bis 11 % der Tage im Jahr eine Bodenfeuchte von unter 50 % nFK am Standort zu erwarten ist (je nach Kulturart). Dieser Erwartungswert verdeutlicht eines: an vier bis sechs Wochen im Jahr treten theoretisch beregnungsbedürftige Bodenfeuchten von unter 50 % nFK auf!

Abbildung 4 zeigt beispielsweise, dass geringe Bodenfeuchten im Produktionsprozess des Winterweizens hauptsächlich zwischen dem Beginn der Milchreife und dem Vegetationsende erwartet werden müssen. Wirtschaftlich sensibel sind besonders die Phasen Milchreife bis Gelbreife sowie Bestellung bis Auflaufen, weil hier zum einen Ertrag gebildet wird und zum anderen ein gleichmäßiger Aufgang einen guten Bestand etabliert. Böttcher stellte 2012 fest, dass diese beiden Phasen durchschnittlich 30 Tage in der Naturraumgruppe nordöstliches

Harzvorland andauern. Da nach Abbildung 4 an rund einem Drittel der Tage jene geringe Bodenfeuchte in diesen Phasen zu erwarten sind, stünde damit dem Winterweizen im Mittel der Jahre an gut 10 Tagen im Jahr nicht genügend Wasser zur Verfügung. Besonders dann nicht, wenn die Kultur das Wasser dringendst benötigen würde.

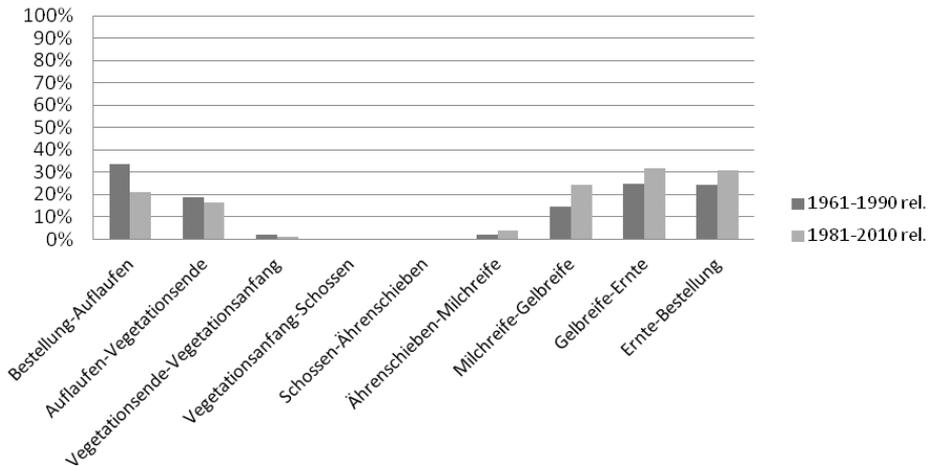


Abb. 4: relative Anzahl der Tage mit einer Bodenfeuchte zwischen 30 und 50 % nFK in der jeweiligen phänologischen Entwicklungsphase des Winterweizens

4. Zusammenfassung

Die Auswertung der täglichen Verdunstungswerte ab 1961 haben gezeigt, dass besonders in der Zeit von April bis August die potentielle wie auch die reale Verdunstung über alle Kulturen hinweg am höchsten ist. Im Vergleich der Zeiträume 1961-1990 und 1981-2010 konnte ein Anstieg der mittleren Verdunstungsrate sowie der mittleren Summe festgestellt werden. In der Vegetationsperiode kam es durch den Anstieg der Verdunstung zu einer Verknappung des vorhandenen Wassers.

An durchschnittlich dreiviertel der Tage im Jahr war die klimatische Wasserbilanz am Standort Bernburg-Strenzfeld negativ. Werden die Tage in Klassen mit negativer, positiver und besonders hoher positiver KWB eingeteilt, so kam bei

Vergleich der beiden Zeiträume heraus, dass die Anzahl der Tage mit negativer und hoher positiver KWB in jüngster Vergangenheit zugenommen hat. Infolgedessen kann daraus abgeleitet werden, dass Extreme am Standort zugenommen haben: entweder es war trocken oder es hat (zu) viel Niederschlag an einem Tag gegeben. Mit allen Konsequenzen hinsichtlich Wind- und Wassererosion!

Am Jahresmittel der Bodenfeuchte hat sich in jüngster Zeit wenig geändert. Allerdings gab es innerannuelle Verschiebungen der Minima und Maxima. Bei allen Kulturen nahm die Anzahl der Tage mit mittleren und hohen Bodenfeuchten im letzten Klimamittel im Vergleich zum Zeitraum 1961-1990 ab. Dagegen hat die Anzahl der Tage mit geringeren Bodenfeuchten zugenommen!

Durch gestiegene mittlere Bodenfeuchten und durch höhere Sickerwassersummen im Herbst und Winter nahm in letzter Zeit die Gefahr von Nährstoffverfrachtungen in tiefere Bodenschichten sowie die Gefahr von Wassererosion am Standort Bernburg-Strenzfeld zu.

Die Sommerungen Mais und Zuckerrübe wiesen im 50-jährigen Betrachtungszeitraum im Mittel geringere Verdunstungen und höhere Bodenfeuchten als die Winterungen auf.

5. Literaturangaben

Böttcher, F., 2012: Die agrarmeteorologische Beschreibung des Standortes Bernburg-Strenzfeld als Managementwerkzeug für optimierten Pflanzenbau. Masterarbeit HS Anhalt, 51-53, 76.

Müller, J., 1987: Verdunstung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete in ausgewählten Vegetationsabschnitten und deren statistische, modellmäßige und kulturbezogene Bewertung. Dissertation A, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Die Anpassungsstrategie an den Klimawandel für Baden-Württemberg – die Vulnerabilitätsanalyse im Handlungsfeld Landwirtschaft

H. Flaig

Landwirtschaftliches Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg, Karlsruhe

1. Anpassungsstrategie und klimatische Leitplanken

Im Rahmen der „Anpassungsstrategie an die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels“ der Landesregierung wurde vom LTZ Augustenberg im Auftrag und mit Förderung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg ein Gutachten für die Landwirtschaft, eines von 10 Handlungsfeldern in der Gesamtstrategie, erstellt (Flaig, 2013a). Dabei wurde zunächst die Vulnerabilität der Landwirtschaft gegenüber den zu erwartenden klimatischen Veränderungen analysiert und darauf aufbauend Maßnahmen zur Anpassung abgeleitet (Flaig, 2013b; s. dort auch Details zum Vorgehen).

Um für die Vulnerabilitätsanalysen einheitliche Grundlagen zu schaffen, wurden von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) fast 30 regionale Klimaprojektionen ausgewertet, die Ergebnisse hinsichtlich Streuung, Richtungssicherheit und Stärke des Klimasignals bewertet und als „klimatische Leitplanken“ bereit gestellt. Betrachtet wurden die Zeiträume 2021-2050 (nahe Zukunft) und 2071-2100 (ferne Zukunft) unter dem mittleren Emissionsszenario A1B (LUBW, 2013).

2. Für die Vulnerabilitätsanalyse relevante klimatische und räumliche Faktoren

Eine Bewertung der Vulnerabilität wurde lediglich für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft und die Exposition gegenüber Hitze und Trockenheit durchgeführt. Die Vulnerabilitätsbewertung gegenüber Starkniederschlägen wird durch das Gutachten im Handlungsfeld Boden (Billen und Stahr, 2013) ausreichend abgedeckt und hier lediglich zitiert. Kalkuliert wurde dort mit einem erhöhten Faktor für die Regen-Erosivität in der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung.

Andere landwirtschaftlich relevante Klimaparameter zeigen in den regionalen Klimaprojektionen keine eindeutige Tendenz (Einstrahlung, Stürme), sind hinsichtlich ihrer Integration in Klimamodelle erst im Stadium der Erforschung (Gewitter, Hagel), lassen sich nicht regional differenzieren (CO₂-Konzentration der Atmosphäre) oder sind in den Auswirkungen noch unklar (CO₂-Konzentration, Spätfröste früher im Jahr, aber auch frühere Blütezeiten, Auftreten und Virulenz von Krankheitserregern, Schädlingen und Unkräutern).

Um eine räumlich differenzierte Vulnerabilitätsbetrachtung durchführen zu können, wurden die landwirtschaftlichen Vergleichsgebietsgruppen (VGG) in Baden-Württemberg herangezogen. In den Gebietsgruppen sind Vergleichsgebiete mit ähnlichen natürlichen Bedingungen bei Höhenlage, Oberflächenform, Boden, Klima und Vegetationszeit zu Gebieten ähnlicher natürlicher landwirtschaftlicher Ertragsfähigkeit zusammengelegt (LEL, 2012).

3. Vulnerabilitätsbewertung Hitze

Die meisten Kulturpflanzen sind gegenüber Temperaturen über 30 °C vulnerabel, zumal wenn diese in sensiblen Entwicklungsphasen wie der Blütenbildung auftreten. Daher erscheint die Anzahl der Tropentage (Temperaturmaximum \geq 30 °C) im Jahr als ein gutes Maß für die Charakterisierung der Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastung (Abb. 1). Solche Tage kommen auch künftig nur in der Vegetationszeit (Mai-September) vor. Die Anzahl der Tropentage in den Monaten mit empfindlichen Entwicklungsstadien, z. B. die Summe der Tropentage in Mai und Juni für Getreide, korreliert mit den Unterschieden in der Anzahl der Tropentage im Jahr. Insofern ist eine weitere Differenzierung nach Monaten oder Kulturen nicht notwendig.

Wie ein Vergleich mit dem Jahr 2003 mit seinem außergewöhnlich warmen Sommer zeigte, korrespondierten die Regionen mit deutlichem Ertragsrückgang mit den Regionen, in denen 30 Hitzetage und mehr auftraten. Daher wurde für die Einteilung der Bewertungsklassen die Vulnerabilität bei mehr als 30 Hitzetagen als „hoch“ eingestuft.

Tropentag [Tage]

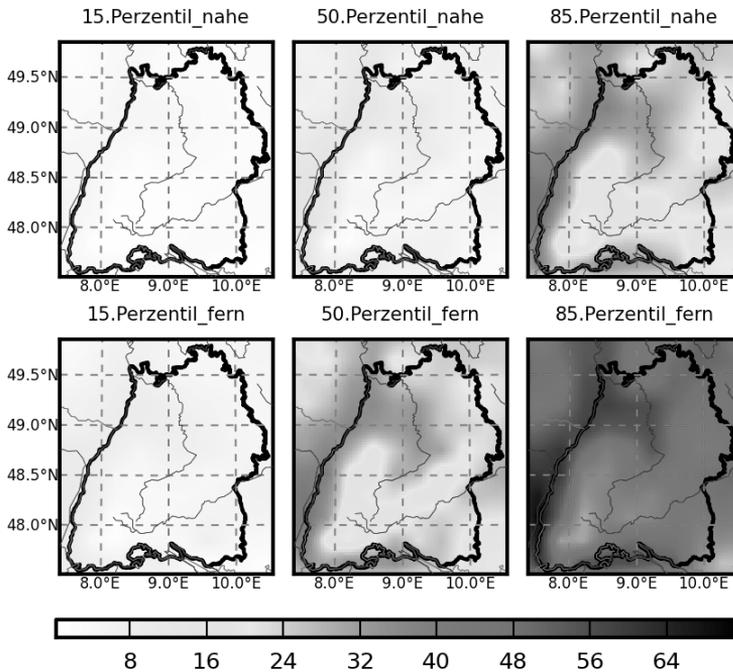


Abb. 1: Regionale Differenzierung der Anzahl der Tropentage im Jahr in Baden-Württemberg für die nahe und ferne Zukunft sowie drei Perzentilwerte (LUBW, 2013). Regionale Klimamodelle mit 25 x 25 km-Auflösung.

Ertrags- und Qualitätsminderungen schlagen in den Sonderkulturen mit hoher Wertschöpfung besonders zu Buche, daher sind vom möglichen Schadensausmaß her diejenigen Gebiete im Land besonders vulnerabel, die einen besonders hohen Anteil an Obst-, Wein- und Gartenbau aufweisen. Die Anbauschwerpunkte für Sonderkulturen liegen oft in Regionen, die besonders in ferner Zukunft unter hoher Hitzebelastung leiden werden. Für die Nutztiere schließt sich die Vulnerabilitätsbewertung gegenüber Hitze an die Kriterien des Pflanzenbaus an.

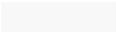
Zur Ermittlung der für die VGG gemittelten Werte der Hitzetage wurden die Rasterpunkte aus der Perzentilverteilung der Klimakennwerte (im Raster 25 x 25 km) den Vergleichsgebieten und schließlich den Vergleichsgebietsgruppen zugeordnet (Tab. 1). Besonders vulnerabel sind die im Landesmaßstab

bereits heute warmen Regionen Rhein/Bodensee und Unterland/Gäue. Beim 85. Perzentil der fernen Zukunft sind alle Regionen hoch vulnerabel gegen Hitzebelastung.

Tab. 1: Anzahl der Tropentage im Jahr in den landwirtschaftlichen VGG Baden-Württembergs als Maß für die Vulnerabilität gegenüber Hitze. p50: 50. Perzentil, p85: 85. Perzentil der Klimamodellerggebnisse hinsichtlich Tropentagen.

VGG-Nr.	Bezeichnung	p50 nahe Z.	p50 ferne Z.	p85 nahe Z.	p85 ferne Z.
1	Unterland/Gäue	10	32	31	54
2	Rhein/Bodensee	11	34	33	56
3	Schwarzwald	3	15	14	34
4	Alb/Baar	4	19	20	40
5	Allgäu	5	19	17	38
6	Oberland/Donau	5	24	23	45
7	Albvorland/Schwäb. Wald	6	25	22	44
8	Bauland/Hohenlohe	7	23	25	48

Einteilung der Bewertungsklassen:

bis 20 Tage		gering
21-30 Tage		mittel
mehr als 30 Tage		hoch

4. Vulnerabilitätsbewertung Trockenheit

Auch wenn die Niederschläge in der Vegetationsperiode den Klimaprojektionen zufolge nur moderat abnehmen werden, wird die Vulnerabilität gegenüber Trockenheit insgesamt zunehmen, weil die Evapotranspiration mit der Temperatur stark steigt. Die Vulnerabilität wurde anhand einer Matrix aus nutzbarer Feldkapazität (nFK) der Böden und der Veränderung der klimatischen Wasserbilanz (KWB) in den beiden Zukünften im Vergleich zum Istzustand bewertet (Tab. 2 und 3). Die KWB wird aus der Differenz zwischen Niederschlag und potentieller Evapotranspiration ermittelt.

Tab. 2: Beziehung zwischen klimatischer Wasserbilanz (KWB) und nutzbarer Feldkapazität (nFK) in den landwirtschaftlichen VGG Baden-Württembergs als Maß für die Vulnerabilität gegenüber Trockenheit. P50: 50. Perzentil, p15: 15. Perzentil der Klimamodellergebnisse hinsichtlich KWB. Bedeutung der Farbgebung s. Tabelle 3.

VGG-Nr.	Mittl. nFK der Böden	p50 nahe Z. – p50 Ist	p50 ferne Z. – p50 Ist	p15 nahe Z. – p50 Ist	p15 ferne Z. – p50 Ist
1	180	-17	-51	-108	-191
2	140	-24	-79	-135	-225
3	90	-29	-107	-154	-257
4	80	-26	-67	-122	-205
5	140	-51	-121	-133	-246
6	140	-19	-78	-133	-207
7	100	-15	-58	-120	-196
8	115	-14	-39	-116	-193

Tab. 3: Einteilung der Bewertungsklassen zu Tabelle 2.

KWB Mai-September p50 (Ist)	nFK Boden	Reduzierung KWB Mai-September um:			
		20-50 mm	50-100 mm	100-200 mm	>200 mm
>250 mm	≥ 140 mm	gering	gering	gering	gering
	70-140 mm	gering	gering	gering	gering
	≤ 70 mm	gering	gering	gering	mittel
200-250 mm	≥ 140 mm	gering	gering	gering	gering
	70-140 mm	gering	gering	gering	mittel
	≤ 70 mm	gering	gering	mittel	hoch
150-200 mm	≥ 140 mm	gering	gering	gering	mittel
	70-140 mm	gering	gering	mittel	hoch
	≤ 70 mm	gering	mittel	hoch	hoch
100-150 mm	≥ 140 mm	gering	gering	mittel	hoch
	70-140 mm	gering	mittel	hoch	hoch
	≤ 70 mm	mittel	hoch	hoch	hoch
50-100 mm	≥ 140 mm	gering	mittel	hoch	hoch
	70-140 mm	mittel	hoch	hoch	hoch
	≤ 70 mm	hoch	hoch	hoch	hoch

Die Summe der KWB der Monate Mai bis September (Vegetationsperiode) einer VGG wurde aus der Zuordnung der KWB-Werte der klimatischen Rasterpunkte gebildet. Die nFK wurde aus der Bodenübersichtskarte 1:200 000 (BÜK200) durch Herrn Dr. Waldmann, Regierungspräsidium Freiburg, für die Vergleichsgebiete gemittelt und vom LTZ für die VGG aggregiert. Die Verfügbarkeit von Grundwasser spielt bei dieser Bewertungsmethodik keine Rolle.

Im 15. Perzentil der nahen und fernen Zukunft erweisen sich die Gebiete Unterland/Gäue und die im Landesmaßstab bereits heute trockenen Regionen Bauland/Hohenlohe und Albvorland/Schwäbischer Wald als hoch vulnerabel gegenüber Trockenheit. Die Bodenqualität wird künftig größere Bedeutung bekommen und die Differenzierung der Ertragsleistung besserer und geringerer Böden eher zunehmen.

5. Gesamtbewertung der Vulnerabilität

Für eine Gesamtbewertung der VGG wurden die drei Bewertungen miteinander verknüpft mit der einfachen Regel, dass der höhere Vulnerabilitätsgrad in einer der drei Matrices für die Gesamtbewertung gelten soll. Tabelle 4 zeigt, dass die treibende Kraft für die Gesamtbewertung in der Regel die Vulnerabilität gegenüber Hitze ist.

Im 50. Perzentil der nahen Zukunft sind noch (fast) alle VGG des Landes gering vulnerabel. Bei stärker ausgeprägten Klimakennwerten (85. Perzentil bei Hitze oder 15. Perzentil bei Trockenheit) oder in ferner Zukunft steigt die Vulnerabilität besonders in den Regionen des Landes, die bereits heute vergleichsweise warm, trocken oder erosionsanfällig sind.

Zur Visualisierung der verschiedenen Vulnerabilitätsbewertungen der Regionen wurden Karten der VGG erstellt und Balken für Hitze, Trockenheit und Bodenerosion mit ihren jeweiligen Bewertungsstufen eingefügt. Die Abbildung 2 zeigt exemplarisch die Ergebnisse für die ferne Zukunft der mittleren Modellergebnisse (p50, 50. Perzentil). Die Ergebnisse der Vulnerabilitätsbewertung für Bodenerosion wurden dabei aus dem Gutachten für das Handlungsfeld Boden (Billen und Stahr, 2013) übernommen. Die dort vorgenommene regionale Abgrenzung nach Landschaftsökologischen Regionen stimmt für einige, aber nicht alle VGG der Landwirtschaft einigermaßen überein. Für die Gebiete

mit größeren Abweichungen wurden grob die Flächenanteile in den VGG abgeschätzt und die Bewertungsbalken entsprechend aufgeteilt.

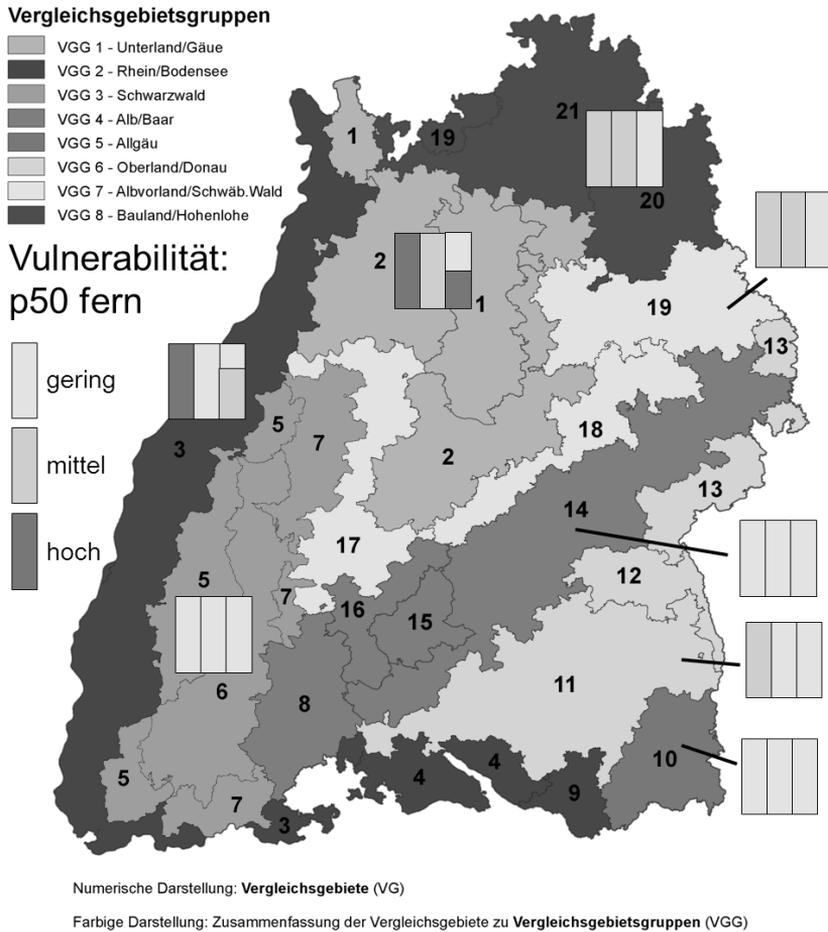
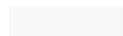


Abb. 2: Zusammenfassende Vulnerabilitätsbewertung für das 50. Perzentil der fernen Zukunft (2071-2100) in den landwirtschaftlichen VGG Baden-Württembergs. Linker Balken: Hitze, mittlerer Balken: Trockenheit, rechter Balken: Bodenerosion.

Tab.4: Gesamtbewertung der Vulnerabilität landwirtschaftlicher VGG in Baden-Württemberg gegenüber Hitze, Trockenheit und Bodenerosion. Bewertungsskala Vulnerabilität:

 gering  mittel  hoch

H: Hitze bestimmt Gesamtbewertung; T: Trockenheit bestimmt Gesamtbewertung; E: Erosionsrisiko bestimmt Gesamtbewertung.

VGG-Nr.	Bezeichnung	p50	p50	p85 H/ p15 T	p85 H/ p15 T
		nahe Z.	ferne Z.	nahe Z.	ferne Z.
1	Unterland/Gäue	E	H/E	H/T/E	H/T/E
2	Rhein/Bodensee	H/T	H	H/E	H/E
3	Schwarzwald	H/T	H/T/E	H/T/E	H
4	Alb/Baar	H/T	H/T/E	T	H/T
5	Allgäu	H/T	H/T/E	H/T	H
6	Oberland/Donau	H/T	H	H	H
7	Albvorland/Schwäb. Wald	H/T	H/T	T	H/T
8	Bauland/Hohenlohe	H/T	H/T	T	H/T

6. Literaturangaben

Billen, N., Stahr, K., 2013: Gutachten zum Handlungsfeld „Boden“ in der Anpassungsstrategie an den Klimawandel für Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.), Karlsruhe.

Flaig, H., 2013a: Anpassungsstrategie Baden-Württemberg an die Folgen des Klimawandels. Fachgutachten für das Handlungsfeld Landwirtschaft, Teil A: Langfassung. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.), Stuttgart. <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/109178/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=91063&OBJECT=109178&MODE=METADATA>.

- Flaig, H., 2013b: Die Anpassungsstrategie an den Klimawandel für Baden-Württemberg – die Anpassungsmaßnahmen im Handlungsfeld Landwirtschaft. VDLUFA-Schriftenreihe 69 (dieser Band), Kongressband 2013 Berlin, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- LEL (Hrsg.), 2012: Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse, Wirtschaftsjahr 2010/11, Heft 60. Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der Ländlichen Räume (LEL), Schwäbisch Gmünd.
- LUBW (Hrsg.), 2013: Vergleich regionaler Klimaprojektionen für Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

Danksagung

Die Arbeiten an der Anpassungsstrategie wurden beauftragt und gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.

Stickstoffwirkung unterschiedlicher N-Düngerformen im Dauerversuch

M. Grunert, E. Albert

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen

1. Einleitung

Die Wirtschaftlichkeit der Stickstoffdüngung hängt neben der bedarfsorientierten Mengenbemessung auch von der Wahl des Düngers ab. In Deutschland ist Kalkammonsalpeter der wichtigste N-Mineraldünger, der Einsatz von Harnstoff sowie von schwefelhaltigen N-Düngern hat jedoch stark zugenommen. Die Zusammensetzung von N-Düngern (nitrat-, ammonium- und amidhaltige Produkte) bestimmt maßgeblich Wirkungsgeschwindigkeit, Auswirkungen auf den pH-Wert des Bodens und auf mögliche N-Verluste. Während Nitrat-N im Boden nicht gebunden wird und schnell mit dem Wasserstrom zu den Pflanzenwurzeln gelangt, wird Ammonium-N zunächst im Boden sorbiert und bei ausreichend hohen Bodentemperaturen rasch zu Nitrat-N überführt. Amid-N wird durch das Enzym Urease zu Ammonium-N umgesetzt, Bodenbakterien wandeln diesen zu Nitrat-N um. Da die Nitrifikation stark temperaturabhängig ist und dieser Prozess im zeitigen Frühjahr bei niedrigen Bodentemperaturen mehrere Wochen andauern kann, wirkt Harnstoff im Vergleich zu KAS etwas verzögert. Im Ammonsulfatsalpeter ist zusätzlich Schwefel als wasserlösliches, schnell pflanzenverfügbares Sulfat enthalten. Beim stabilisierten Dünger ENTEC 26 handelt es sich um Ammonsulfatsalpeter mit Nitrifikationshemmstoff 3,4-Dimethylpyrazolphosphat (DMPP). Dieser verzögert in Abhängigkeit von den Bodentemperaturen die Umwandlung von Ammonium- zu Nitrat-N bis zu mehrere Wochen.

Generell bestehen Vorteile der ammoniumbetonten Pflanzenernährung darin, dass Stickstoffverlusten durch Verlagerung oder Auswaschung des mobilen Nitrat-N reduziert und Arbeitsgänge durch Zusammenfassen von Teilgaben eingespart werden können. In Wasserschutzgebieten, Regionen mit hohen Nitratbelastungen des Grundwassers, auf leichten und flachgründigen Böden sowie in Gebieten mit unsicherer Wirkung von N-Spätgaben kann der Einsatz von stabilisierten Düngern N-Auswaschungsverluste reduzieren bzw. die N-Ausnutzung verbessern (Knittel et al., 2007). Das entspricht den Zielsetzungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie.

2. Standortbeschreibung und Versuchsdurchführung

Die geringen Wirkungsunterschiede verschiedener N-Dünger können auf jährlich wechselnden Versuchsflächen oft nicht nachgewiesen werden, da vor allem bessere Böden ein beachtliches Pufferungsvermögen besitzen. Dagegen sind langjährige Versuche ohne Flächenwechsel besonders gut geeignet, kumulative Effekte von Bewirtschaftungsweisen oder Düngungsmaßnahmen zu erfassen. Zur Prüfung der langfristigen Auswirkungen von N-Düngerformen (Kalkammonsalpeter, Harnstoff, Ammonsulfatsalpeter, ENTEC 26, siehe Tab. 1) auf Ertrag und Stickstoffverwertung wurde daher im Jahr 2000 ein statischer Dauerversuch auf vier typischen sächsischen Standorten (Tab. 2) angelegt. Die beiden fruchtbaren Löss-Lehm-Standorte Pommritz und Nossen sind durch ein mäßig trockenes, mäßig warmes Klima gekennzeichnet. Auf Grund ihrer hohen nutzbaren Feldkapazität von über 200 mm sind sie in der Lage, Trockenperioden vergleichsweise gut zu kompensieren. Der Gneis-Verwitterungsboden mit der Bodenart sandiger Lehm in Forchheim im Erzgebirge ist hingegen durch feucht-kühles Klima der mittleren Berglagen mit relativ hohen Niederschlägen geprägt. Der durch warmes Binnenklima beeinflusste Versuchsort Spröda ist typisch für die leichten diluvialen Böden Nordsachsens, die regelmäßig unter Trockenheit mit stärkeren Ertragsdepressionen leiden.

Tab. 1: Zusammensetzung der im Versuch verwendeten N-Dünger

Dünger	NO ₃ -N %	NH ₄ -N %	Amid-N %	S %
Kalkammonsalpeter (KAS)	13,5	13,5	-	-
Harnstoff (HS)	-	-	46	-
Ammonsulfatsalpeter (ASS)	7	19	-	13
ENTEC 26	7,5	18,5	-	13

Der Versuch wurde mit der Fruchtfolge Winterweizen - Wintergerste - Winterraps - Winterweizen - Mais/Zwischenfrucht - Zuckerrüben bzw. Kartoffeln angelegt. Die Erträge der Fruchtarten wurden über den Versuchszeitraum von 13 Jahren (in Spröda nur 5 Jahre) auf der Basis von Getreideeinheiten (GE) zusammengefasst. N-Entzüge, N-Salden und N_{min}-Gehalte werden als Mittelwerte dargestellt.

Neben der Düngerform wurde auch der N-Aufwand in zwei Stufen variiert. Das optimale Niveau orientierte sich am unteren Bereich optimaler N-Aufwand-

mengen, die reduzierte N-Stufe lag um 20 % niedriger. Die N-Düngung zu den Fruchtarten ist Tabelle 3 zu entnehmen.

Tab. 2: Standortbeschreibung der geprüften Versuchsstandorte

	Pommritz	Nossen	Forchheim	Spröda
Bodenform	Löss-Braunstaugley	Löss-Braunstaugley	Berglehm-Braunerde	Tieflehm-Fahlerde
Bodenart	L	L	sL	SI
Ackerzahl	63	65	33	30
Humusgehalt (%)	2,2	1,6	3,2	1,4
Höhenlage (m)	230	255	565	120
ØNS (mm)	698	642	879	465
ØTemp. (°C)	8,6	8,1	6,5	8,9

Die N-Applikation von KAS, HS und ASS erfolgte zu den pflanzenbaulich üblichen Terminen, wobei ASS nur zur 1. N-Gabe appliziert wurde, weitere Gaben (Getreide, Raps) erfolgten hier mit KAS. Zum Einsatz des stabilisierten Düngers ENTEC wurde die 1. und 2. N-Gabe (Getreide, Raps) zusammengefasst und zu Vegetationsbeginn verabreicht. Um die Schwefelwirkung von ASS und ENTEC prüfen zu können, wurde keine S-Ausgleichsdüngung vorgenommen. Grunddüngung, Kalkung und Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgten bedarfsorientiert. Die Nebenprodukte Stroh, Kartoffelkraut bzw. Rübenblatt wurden in den Boden eingearbeitet.

Tab. 3: N-Düngungshöhe (kg N/ha) zu den einzelnen Fruchtarten

Düngungs-niveau	Winterweizen	Wintergerste	Raps	Mais Kartof.	Zucker-rüben
reduziert	50/30/40	40/30/30	80/60	80	60
optimal	60/40/50	45/40/40	100/75	100	75

3. Ergebnisse

Das Ertragsniveau der Versuchsstandorte zeigte eine deutliche Abhängigkeit zur Bodengüte (Tab. 4-7). Die höchsten Erträge auch bei unterlassener N-Düngung wurden auf dem Löss-Lehm in Pommritz erzielt. Dies ist im hohen N-Nachlieferungspotenzial durch bis 1990 regelmäßig erfolgte organische Düngung begründet. Im Gegensatz dazu lagen die Erträge auf dem trockenen anlehmigen Sand in Spröda auf wesentlich niedrigerem Niveau, ebenso die N-bedingten Mehrerträge. Der V-Standort Forchheim erreicht mit nur 33 Bodenpunkten auf Grund günstiger Witterungsbedingungen (vergleichsweise hohe Niederschläge in Verbindung mit kühleren Temperaturen insbesondere in trocken-warmen Jahren) ein hohes Ertragsniveau.

Tab. 4: Wirkung von N-Düngerformen auf GE-Ertrag, N-Entzug, N-Bilanzsaldo, N_{\min} -Gehalt nach Ernte (Pommritz, 2000-2012)

N-Düngung		GE-Ertrag	N-Entzug	N-Bilanzsaldo	N_{\min} nach Ernte
Form	Menge	dt/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
ohne	ohne	73,9	74	-74	31
KAS	reduziert	108,0	146	-38	38
KAS	optimal	110,7	159	-25	46
HS	reduziert	107,2	145	-38	38
HS	optimal	108,8	153	-18	43
ASS/KAS	reduziert	106,4	146	-39	40
ASS/KAS	optimal	112,5	161	-27	45
ENTEC	reduziert	107,4	143	-37	31
ENTEC	optimal	110,7	157	-25	42
GD5%		1,3	2		

Die um 20 % reduzierte N-Düngung führte auf allen Standorten zu Ertragsminderungen. Diese erreichten auf Löss-Lehm in Nossen 5 GE/ha, auf anlehmigem Sand in Spröda nur 2 GE/ha.

Die geprüften N-Düngerformen zeigten leichte standortabhängige Wirkungsunterschiede. Auf dem fruchtbaren Löss-Lehm in Pommritz wirkte Harnstoff bei optimalem Aufwand im Vergleich zu den anderen Düngern etwas schlech-

ter (Tab. 4). Bei reduzierter N-Menge bestanden zwischen den Düngern praktisch keine Unterschiede sowohl bei den Erträgen als auch bei den N-Entzügen. Am von der Bodengüte vergleichbaren Standort Nossen wurden die höchsten Erträge mit ENTEC und Harnstoff erzielt, die höchsten N-Entzüge jedoch mit Kalkammonsalpeter (Tab. 5).

Auf dem V-Standort Forchheim wurden mit dem stabilisierten Dünger ENTEC und mit Ammonsulfatsalpeter die höchsten Erträge erzielt (Tab. 6). Kalkammonsalpeter und Harnstoff blieben besonders bei optimalem N-Aufwand etwas unter den Leistungen der anderen Produkte. Allerdings unterschieden sich die N-Entzüge der einzelnen Dünger kaum voneinander. Eventuell erhöhte Auswaschungs- oder Denitrifikationsverluste des Nitrat-N im KAS und erhöhte gasförmige Ammoniakverluste nach Harnstoffdüngung können somit nicht die Ursache sein. Der leichte Wirkungsvorteil von ENTEC und ASS wird mit der durch diese Dünger erfolgten Schwefelzufuhr erklärt.

Tab. 5: Wirkung von N-Düngerformen auf GE-Ertrag, N-Entzug, N-Bilanzsaldo, N_{\min} -Gehalt nach Ernte (Nossen, 2000-2012)

N-Düngung		GE-Ertrag	N-Entzug	N-Bilanzsaldo	N_{\min} nach Ernte
Form	Menge	dt/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
ohne	ohne	53,7	65	-65	32
KAS	reduziert	91,2	143	-35	31
KAS	optimal	94,3	160	-25	32
HS	reduziert	88,6	134	-27	29
HS	optimal	95,5	156	-21	30
ASS/KAS	reduziert	89,5	140	-32	28
ASS/KAS	optimal	93,4	155	-20	31
ENTEC	reduziert	89,9	138	-30	28
ENTEC	optimal	95,9	154	-20	31
GD5 %		1,6	3		

Tab. 6: Wirkung von N-Düngerformen auf GE-Ertrag, N-Entzug, N-Bilanzsaldo, N_{\min} -Gehalt nach Ernte (Forchheim, 2000-2012)

N-Düngung		GE-Ertrag	N-Entzug	N-Bilanzsaldo	N_{\min} nach Ernte
Form	Menge	dt /ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
ohne	ohne	50,4	63	-63	32
KAS	reduziert	78,5	120	-15	38
KAS	optimal	81,6	131	- 1	45
HS	reduziert	77,3	117	-11	38
HS	optimal	81,9	126	4	44
ASS/KAS	reduziert	79,5	119	-13	39
ASS/KAS	optimal	83,1	135	- 5	42
ENTEC	reduziert	79,8	121	-16	36
ENTEC	optimal	83,4	133	- 3	45
GD5%		1,3	2		

Auf dem leichten Sandstandort Spröda (nur fünf Versuchsjahre) wirkte KAS im Hinblick auf Ertrag und N-Entzug am besten (Tab. 7). Vor allem gegenüber Harnstoff ist ein leichter Vorteil zu erkennen. Aus vielen Versuchen ist bekannt, dass besonders auf leichten Böden Ammoniakverluste nach Harnstoffdüngung verstärkt auftreten können, insbesondere wenn nach der Hydrolyse des Harnstoffs die gebildeten Ammoniumionen nicht ausreichend im Bodenwasser gebunden werden können (Herbst und Gans, 2008; Knittel et al., 1987).

Die N-Bilanzsalden waren auf den Lö-Standorten auf Grund der hier guten N-Verwertung bei verhaltener N-Düngung in allen Prüfgliedern durchweg deutlich negativ. In Forchheim erreichten sie leicht negative bis ausgeglichene Werte. Auf dem ertragsschwächeren Standort Spröda waren Bilanzüberschüsse und folglich relativ hohe N_{\min} -Reste zu verzeichnen. An allen Standorten und bei allen N-Düngern ergab die reduzierte N-Düngung geringere Erträge und N-Bilanzen. Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass die N-Salden ganz wesentlich vom Ertragsniveau bestimmt werden. Je höher dieses ist, desto besser wird in der Regel der gedüngte Stickstoff von den Pflanzen verwertet und umso günstiger fällt die N-Bilanz aus.

Tab. 7: Wirkung von N-Düngerformen auf GE-Ertrag, N-Entzug, N-Bilanzsaldo, N_{\min} -Gehalt nach Ernte (Spröda, 2000-2004)

N-Düngung		GE-Ertrag	N-Entzug	N-Bilanzsaldo	N_{\min} nach Ernte
Form	Menge	dt/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
ohne	ohne	38,9	54	-54	22
KAS	reduziert	52,9	89	15	53
KAS	optimal	54,8	101	29	52
HS	reduziert	49,6	87	17	66
HS	optimal	52,3	93	37	52
ASS/KAS	reduziert	52,8	88	16	59
ASS/KAS	optimal	53,1	91	39	53
ENTEC	reduziert	50,7	85	19	57
ENTEC	optimal	53,8	96	34	54
GD5%		2,1	4		

Neben den N-Bilanzen geben die N_{\min} -Gehalte nach der Ernte Auskunft über die Ausnutzung des applizierten Stickstoffs. Auf dem leichten Boden Spröda waren durch die N-Düngung gegenüber dem Prüfglied mit langjährig unterlassener N-Zufuhr erhöhte Werte zu verzeichnen, in Pommritz und Forchheim nur relativ geringe Anstiege, in Nossen keine Differenzen. Zwischen den einzelnen Düngerformen bestanden keine nennenswerten Unterschiede. In der Wirkung der unterschiedlichen N-Düngerformen zu den einzelnen Kulturarten sind kaum Unterschiede zu verzeichnen.

Die Applikation der schwefelhaltigen Dünger ASS und ENTEC ergab lediglich auf dem niederschlagsreichen V-Standort einen leichten Ertragsvorteil. Grund dürften erhebliche S-Auswaschungsverluste sein. Auf den anderen Standorten sind durch S-Zufuhr noch keine gesicherten Mehrerträge nachweisbar. Das ist auf in Sachsen in den 80er Jahren extrem hohe, bis Mitte der 90er Jahre immer noch erhebliche, S-Einträge aus der Atmosphäre zurück zu führen. Aktuell liegen die S-Einträge jetzt unter 5 kg/ha*a, die S_{\min} -Gehalte in den Böden nehmen vor allem auf den niederschlagsreichen Verwitterungsstandorten und den sorptionsschwachen Diluvialböden ab. Auf diesen Standorten ist inzwischen eine S-Düngung zu anspruchsvollen Fruchtarten sinnvoll. Auf den fruchtbaren Lössböden mit hohen S_{\min} -Werten in tieferen Bodenschichten sind hingegen kaum Düngungseffekte zu verzeichnen.

4. Schlussfolgerungen

Die langjährigen Versuchsergebnisse auf vier Standorten zeigen, dass zwischen den geprüften N-Düngerformen im Hinblick auf Ertragleistung, N-Entzug, N-Bilanzsaldo und N_{\min} -Rest nach der Ernte nur geringe Unterschiede bestehen. Ähnliche Aussagen treffen auf der Basis umfangreicher Feld- bzw. Gefäßversuche Fritsch (2004) sowie Heyn und Koch (2012). Leichte Vorteile ergeben sich für die S-haltigen Produkte ENTEC und ASS auf dem niederschlagsreichen Verwitterungsstandort in Sachsen. Auf dem anlehmigen Sand wirkte Harnstoff etwas schlechter als die anderen Düngerformen.

Bei der Bewertung der N-Dünger sind neben den pflanzenbaulichen Gesichtspunkten weitere Kriterien wie Preis je kg Nährstoff, Produktqualität und mögliche Streubreite, Wirkungssicherheit des Düngers, erforderlicher Kalkausgleich, wichtige Begleitnährstoffe wie z. B. Schwefel oder Magnesium, Zusatzstoffe wie z. B. Nitrifikationshemmer und arbeitswirtschaftliche Aspekte heranzuziehen. Pauschale Empfehlungen zur Vorzüglichkeit eines Produktes sind nicht möglich. Die Auswahl des geeigneten N-Düngers sollte daher immer unter Beachtung standörtlicher und betrieblicher Gegebenheiten erfolgen.

5. Literaturangaben

- Fritsch, F., 2004: Wirkung verschiedener N-Formen und Gabenteilungen im Feldversuch. VDLUFA-Kongress Rostock, Kurzfassung der Referate 2004, 48.
- Herbst, F., Gans, W., 2008: Ureolyse von Harnstoff im Boden ohne und mit Ureaseinhibitoren. VDLULA-Schriftenreihe 64, 470-475, Kongressband 2008 Jena, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Heyn, J., Koch, D., 2012: Vergleich verschiedener Stickstoffdünger in Gefäßversuchen zu Sommergerste. VDLULA-Schriftenreihe, 68, 366-374, Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Knittel, H., Zerulla, W., Sturm, H., 1987: Höhe, Form und Zeitpunkt der Stickstoffdüngung im Getreidebau. Die Bodenkultur, Wien, 38, 305-316.
- Knittel, H., Pasda, G., Mannheim, T., 2007: Düngestrategien beim Einsatz von stabilisierten Stickstoffdüngern zu Winterweizen. 1. Wechselwirkungen zwischen Düngesystemen, Witterung und Boden. Pflanzenbauwissenschaften 11, 77-83.

Erträge, Nährstoffgehalte und Pflanzenbestände bayerischer Grünlandflächen

M. Diepolder, S. Raschbacher, S. Heinz, G. Kuhn

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz

1. Einleitung

Während bei Marktfrüchten die in der Praxis erzielten Erträge, Nährstoffgehalte und Nährstoffabfuhr relativ gut bekannt sind, trifft dies für Grünlandflächen bislang weitaus weniger zu. Daher basieren für pflanzenbauliche und ökonomische Kalkulationen wichtige Faustzahlen meist auf Schätzwerten oder Daten von Feldversuchen. Um eine breitere Datenbasis für die Validierung von Faustzahlen zu schaffen, wird seit 2009 ein Ertrags- und Nährstoffmonitoring auf bis zu 150 bayerischen Grünlandflächen durchgeführt. Dabei werden Erträge, Mineralstoffgehalte, Nährstoffentzüge und Pflanzenbestände auf Praxisflächen bestimmt. Nachdem bereits im Jahr 2012 beim VDLUFA-Kongress erste dreijährige Ergebnisse des Projekts vorgestellt wurden (Diepolder et al., 2012), umfasst dieser Beitrag neben einem vierjährigen Datensatz (2009-2012) auch Auswertungen von Pflanzenbestandsaufnahmen.

2. Material und Methoden

Auf bayernweit 120 gezielt ausgewählten Flächen, die bereits im Zeitraum 2002-2008 erstmalig vegetationskundlich im Rahmen des „Grünlandmonitoring Bayern“ (Kuhn et al., 2011) aufgenommen worden waren (Kreisfläche von 25 m², Aufnahme aller Gefäßpflanzen mit jeweiligem Ertragsanteil), wurden in den Jahren 2009-2012 mittels genau definierter Schnittproben (7 x 1 m² pro Schlag, Abgrenzung der Fläche durch tragbare Rahmen, Schnitt mit elektrischer Rasenkantenschere mit Höhenbegrenzung, Schnitthöhe 5-6 cm, Schnittzeitpunkt max. 2-3 Tage vor der Beerntung durch den Landwirt) die Frisch- und Trockenmasse-Erträge aller Aufwüchse sowie nasschemisch deren Nährstoffgehalte (N, P, K, Mg, Ca, S, Na, Zn) bestimmt und die Nährstoffabfuhr ermittelt. Die gewonnenen Daten incl. zusätzlich erhobener betriebs- und schlagspezifischer Parameter werden in einer Biomasse- und Nährstoffdatenbank der LfL gespei-

chert. Für den Zeitraum 2012-2014 wurde das Monitoring um weitere 30 Flächen erweitert.

Die für diesen Beitrag analysierten Daten der Jahre 2009-2012 wurden auf Plausibilität geprüft und unvollständige Datensätze von der Auswertung ausgeschlossen. Die in Tabelle 1 aufgeführten Mineralstoffgehalte sind als gewichtete Mittel, also unter Einbeziehung der Ertragsanteile einzelner Schnitte am Jahresertrag ausgewiesen. Um die Ergebnisse mit den offiziellen bayerischen Faustzahlen zur Düngebedarfsermittlung (Wendland et al., 2012) bzw. der Nährstoffbilanzierung nach Düngeverordnung (DüV) vergleichen zu können, wurden weiterhin die aus den Schnittproben ermittelten TM-Erträge auf Nettowerte umgerechnet und die Netto-Abfuhr an Nährstoffen bestimmt. In diese Umrechnung flossen neuere Erkenntnisse aus Arbeiten von Köhler et al. (2012) ein. Ebenfalls wurde berücksichtigt, dass bei den bayerischen Faustzahlen Standard-Nettowerte bei vorwiegender Silagenutzung (Heuanteil max. 20 %) unterstellt sind.

Die statistische Verrechnung erfolgte mit dem Statistikpaket SAS (PROC GLM, SNK-Test mit $\alpha = 0,05$). Unterschiedliche Buchstaben in Tabelle 1 bedeuten bei den aufgeführten Parametern signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Nutzungsintensitätsstufen; weiterhin sind die mittleren XP-, N- und Mineralstoffgehalte als nach Ertragsanteil gewichteter Durchschnitt aller Schnitte angegeben. Die Zahlen in Klammern bei Tabelle 1 geben den in Prozent ausgedrückten Variationskoeffizient, d. h., die Standardabweichung bezogen auf den jeweiligen Mittelwert, wieder. Dies erleichtert Vergleiche des Ausmaßes der Standardabweichung zwischen einzelnen Parametern und Intensitäten.

3. Ergebnisse und Diskussion

Aus der bislang vorliegenden vierjährigen Auswertung (2009-2012) geht hervor, dass der Ertrag, die Mineralstoffgehalte von Grünlandbeständen und damit auch die Nährstoffabfuhr, maßgeblich von der Nutzungsintensität beeinflusst werden. Tabelle 1 zeigt für TM-Erträge, XP-/N, P- und K-Gehalte sowie N-, P-, und K-Abfuhr einen eindeutigen signifikanten Anstieg der Mittelwerte von niedriger (2 Schnitte pro Jahr) bis hin zu hoher bzw. sehr hoher (4-5 Schnitte pro Jahr) Nutzungsintensität. Im Prinzip, jedoch nicht ganz so ausgeprägt trifft dies

Tab. 1: Mittlere Netto-Jahreserträge, Rohprotein-(XP) bzw. Mineralstoffgehalte und Netto-Nährstoffabfahren von bayerischen Grünlandflächen bei unterschiedlicher Nutzungsintensität (Mittel 2009-2012 und Variationskoeffizient in Prozent)

	Schnitte pro Jahr				
	2	3	4	5	
Anzahl (vollständige Ernten 2009-20012)	39	60	101	79	
TM-Ertrag [dt/ha]	50	84	107	116	A (24)
XP-Gehalt [g/kg TM]	133	141	163	174	A (11)
N-Gehalt [% TM]	2,13	2,26	2,61	2,78	A (11)
P-Gehalt [g/kg TM]	3,29	3,75	4,22	4,49	A (13)
K-Gehalt [g/kg TM]	24,1	28,7	31,5	34,0	A (19)
Mg-Gehalt [g/kg TM]	2,91	2,86	3,12	3,00	A (19)
S-Gehalt [g/kg TM]	2,33	2,67	2,86	2,85	A (14)
N-Abfuhr [kg N/ha]	105	189	279	320	A (23)
P-Abfuhr [kg P ₂ O ₅ /ha]	38	71	103	119	A (27)
K-Abfuhr [kg K ₂ O/ha]	145	290	407	478	A (31)
Mg-Abfuhr [kg MgO/ha]	24	39	55	58	A (31)
S-Abfuhr [kg S/ha]	11	22	30	33	A (27)

auch für die Mg- bzw. S-Abfuhr zu, dagegen ließen sich Unterschiede der mittleren Mg- und S-Gehalte der Aufwüchse bei unterschiedlicher Nutzungsintensität nicht bzw. kaum voneinander absichern.

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass im Grünland prinzipiell eine Klassifizierung der mittleren jährlichen bayerischen Trockenmasse-Erträge und Nährstoffabfuhr nach Nutzungsintensitätsstufen sinnvoll und gerechtfertigt ist. Damit wird die bayerische Vorgehensweise zur Düngebedarfsermittlung untermauert.

Die teilweise hohen Streuungen um die Mittelwerte (siehe Variationskoeffizienten, Tab. 1) lassen aber auch die Folgerung zu, dass Durchschnittswerte und damit Faustzahlen zur Ableitung von Düngungsempfehlungen bzw. zur Erstellung von Flächenbilanzen nur unvollkommen die tatsächlichen Verhältnisse eines Einzelbetriebs widerspiegeln können. Daher erscheint es fachlich sinnvoll, Faustzahlen mittels (einfacher) Korrekturfaktoren an einzelbetriebliche oder regionale Verhältnisse anpassen zu können. Dies ist in Bayern bei der Berechnung der Düngung (Wendland et al., 2012) auch sowie der Deckungsbeiträge im Grünland (Kubitza und Schätzl, 2012) prinzipiell schon jetzt möglich. Gegenstand künftiger Untersuchungen soll es sein, solche Korrekturfaktoren weiter zu validieren und ggf. noch zu erweitern.

Ferner zeigte sich auf Basis des bisherigen Datensatzes eine relativ gute Übereinstimmung zwischen den in den Praxisflächen gefundenen Durchschnittswerten und den aus Versuchen abgeleiteten, in der bayerischen landwirtschaftlichen Beratung verwendeten, ebenfalls nach Intensitätsstufen unterteilten Faustzahlen (Wendland et al., 2012) zu Netto-Erträgen und Netto-Nährstoffabfuhr im Grünland. Teilweise waren jedoch auch deutliche Abweichungen über 10 % erkennbar, worauf Diepolder et al. (2013 a, b) in ihren Untersuchungen hinweisen. In der Regel lagen dabei die Mittelwerte der Praxisflächen über den Werten der bayerischen Faustzahlen. Gerade die bei Vierschnittwiesen festgestellten erhöhten Abweichungen beim TM-Ertrag, der N-, P- und K-Abfuhr sind Ausgangspunkt für künftige Untersuchungen. Vor allem bei Kalium überstiegen die gemessenen K-Gehalte der Praxisschläge (Tab. 1) den für Pflanze (ca. 20 mg K/kg TM; Greiner et al., 2010) und Tier (10 mg K/kg TM in der Milchurration; LfL, 2011) anzustrebenden Bedarf deutlich. Die bei den Praxisflächen gemessenen K-Abfuhr lagen bei mittlerer bis sehr intensiver Nutzung (3-5 Schnitte/Jahr) um rund 30-50 % über den Faustzahlen.

Tab. 2: Artenzahl (pro 25 m²) und Anteile von Artengruppen und Einzelarten am Ertrag bei unterschiedlicher Nutzungsintensität (Mittel; Standardabweichung bei durchschnittlicher Artenzahl)

	Schnitte pro Jahr				
	2	3	4	5	
Anzahl Bestandsaufnahmen	18	24	38	28	
Ø Artenzahl	19,4 (5,2)	19,7 (4,9)	16,6 (5,5)	13,9 (3,5)	
Artengruppenanteile am Ertrag (%)					
- Gräser	70,4	72,4	77,1	73,6	
- Kräuter	22,1	18,5	14,2	14,5	
- Leguminosen	7,5	9,1	8,7	11,8	
Einzelartenanteile am Ertrag (%)					
- W.-Fuchsschwanz	12,8	22,0	16,9	14,1	
- Dt. Weidelgras	2,8	6,3	9,3	18,6	
- Bastard-Weidelgr.	6,5	5,5	18,3	15,3	
- Gewöhnliche Rispe	5,4	10,8	11,8	12,7	
- Glatthafer	9,6	3,8	0,8	0	
- Goldhafer	6,3	8,1	3,2	0,3	
- Weißklee	3,8	5,9	8,2	11,6	

Im Mittel wurden auf den Flächen 17 Arten auf 25 m² gefunden. Damit liegt die mittlere Artenzahl der beprobten Flächen aufgrund der gezielten Auswahl intensiverer Flächen in diesem Projekt unter dem von Kuhn et al. (2011) festgestellten Durchschnitt des bayerischen Wirtschaftsgrünlandes, welcher 19,4 Arten pro 25 m² beträgt. Aus Tabelle 2 ist zu ersehen, dass mit steigender Nutzungsintensität sowohl die Artenzahl pro Untersuchungsfläche abnimmt als sich auch der Anteil der Artengruppen und Einzelarten am Ertrag verändert.

Der mittlere Anteil der Gräser am Ertrag nimmt bis zu einer Nutzungshäufigkeit von vier Schnitten pro Jahr zu, sinkt jedoch bei sehr intensiv genutzten Grünlandbeständen mit fünf jährlichen Schnitten wieder zu Gunsten des Leguminosenanteils ab. Mit steigender Nutzungshäufigkeit nimmt der Anteil besonders erwünschter Arten wie Deutschem Weidelgras oder Weißklee zu. Allerdings steigt auch der Anteil von im leistungsorientierten Wirtschaftsgrünland unerwünschten Arten, so z. B. der Anteil der Gemeinen Rispe. Weitere, hier nicht dargestellte Auswertungen ergaben, dass die dominanten Arten, also die Pflanzenarten mit dem größten Ertragsanteil (Hauptbestandsbildner) sich ebenfalls nach der Nutzungsintensität unterscheiden. Bei den Drei- und Vierschnittwiesen ist der Wiesenfuchsschwanz der wichtigste Hauptbestandsbildner, bei sehr hoher Nutzungsintensität überwiegen die Weidelgräser. Bei geringer Nutzungsintensität, d. h. ein bis max. drei Schnitten pro Jahr treten dagegen auch Glatthafer und Goldhafer als Hauptbestandsbildner auf, bei Wiesen mit höheren Schnittintensitäten nimmt dagegen der Anteil dieser Arten deutlich ab, was auch aus Tabelle 2 hervorgeht.

4. Fazit und Ausblick

Aus der vorliegenden Auswertung geht hervor, dass der Pflanzenbestand, der Ertrag, die Nährstoffabfuhr und die Mineralstoffgehalte von Grünlandbeständen maßgeblich von deren Nutzungsintensität beeinflusst werden. Ebenfalls besteht auf Grundlage des vorliegenden Datensatzes bislang keine Veranlassung, die in Bayern gültigen Faustzahlen zu nutzungsintensitätsabhängigen TM-Erträge und Nährstoffentzügen für Stickstoff, Phosphat und Magnesium pauschal herabzusetzen; gewisser Diskussionsbedarf dürfte bei Kalium gegeben sein.

Künftige Auswertungen mit einem noch größeren Datensatz (Zeitraum 2009-2014, mehr Flächen) sollen zeigen, ob und inwieweit sich dabei insbesondere bei Drei- und Vierschnittwiesen, die den überwiegenden Teil der bayerischen Grünlandfläche stellen, Unterschiede zwischen unterschiedlichen Wiesentypen, Regionen und Düngungsniveaus ableiten lassen.

5. Literaturangaben

- Diepolder, M., Raschbacher, S., Heinz, S., Kuhn, S., 2012: Ertrags- und Nährstoffmonitoring auf bayerischen Grünlandflächen. VDLUFA-Schriftenreihe 68, 299-306, Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Diepolder, M., Raschbacher, S., Heinz, S., Kuhn, G., 2013 a: Erträge, Nährstoffgehalte und Pflanzenbestände bayerischer Grünlandflächen. Tagungsband der LfL-Wissenschaftstagung „Agrarforschung hat Zukunft“ am 04. Juli in München; LfL-Schriftenreihe 4/3013, 185-194, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan.
- Diepolder, M., Raschbacher, S., Heinz, S., Kuhn, G., 2013 b: Rohproteinerträge und -gehalte bayerischer Grünlandflächen. Tagungsband „Mehr Eiweiß vom Grünland und Feldfutterbau – Potenziale, Chancen und Risiken“ der 57. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau (AGGF) der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V. in Triesdorf (Franken), LfL-Schriftenreihe 6/2013, 136-140, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan.
- Greiner, B., Schuppenies, R., Hertwig, F., Hochberg, H., Riehl, G., 2010: Ergebnisse aus zwölfjährigen Phosphor- und Kaliumdüngungsversuchen auf Grünland. VDLUFA-Schriftenreihe 66, 157-168, Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Köhler, B., Thurner, S., Diepolder, M., Spiekers, H., 2012: Ertragsermittlung vom Grünland mittels manueller Schnittprobe. VDLUFA-Schriftenreihe 68, 375-379, Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Kubitzka, P., Schätzl, R., 2012: Jahresbericht 2012 des Instituts für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, LfL; siehe auch unter <https://www.stmelf.bayern.de/idb/>.
- Kuhn, G., Heinz, S., Mayer, F., 2011: Grünlandmonitoring Bayern – Ersterhebung der Vegetation 2002-2008. LfL-Schriftenreihe 3/2011, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan.

LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft), 2011: Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Schafe, Ziegen. 34. Auflage 2011, LfL-Information, 16-17, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan.

Wendland, M., Diepolder, M., Capriel, P., 2012: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland - Gelbes Heft. 10. Unveränderte Auflage 2012 mit aktualisiertem Anhang, LfL-Information, 56-60, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan.

Auswirkungen des Boden-pH-Wertes auf die Mangan-Versorgung von zwei Winterweizen- und Wintergerstensorten: Evaluierung mittels Pflanzenanalyse und Schnelltester NN-Easy 55

A. Borchert, H. Pralle, H.-W. Olf
Hochschule Osnabrück

1. Einleitung

Die Mn-Versorgung von Winterweizen- oder Wintergerstenbeständen hängt maßgeblich von der Konzentration an pflanzenverfügbarem Mangan im Boden ab. Diese wird besonders durch Bodenreaktion und Redoxbedingungen beeinflusst. Hohe Boden-pH-Werte (> 6,0) vermindern dabei laut Brümmer (2010) den Anteil von austauschbarem Mn^{2+} am aktiven Mangan im Boden und schränken darüber die Pflanzenverfügbarkeit des Nährstoffes deutlich ein. Das hat zur Folge, dass die Mn-Konzentration in den Pflanzen sinkt und eine ausreichende Mn-Versorgung nicht mehr sichergestellt ist. Unbekannt ist dabei jedoch, ob verschiedene Getreidesorten unterschiedlich auf das reduzierte Mn-Angebot reagieren.

2. Material und Methoden

Um die Auswirkung des Boden-pH-Wertes auf verschiedene Wintergetreidesorten zu evaluieren, wurden zweifaktorielle Versuche in Winterweizen und -gerste am Standort Osnabrück angelegt (lehmgiger Sand, 47 Bodenpunkte, pH-Wert 6,3). Durch Ausbringen von Kalk (20 bzw. 40 dt CaO/ha) vor Versuchsbeginn konnte im Vergleich zu einer ungekalkten Kontrolle eine Differenzierung in die pH-Wert Versorgungsstufen C, D und E erzielt werden (VDLUFA, 2002). Die Sorten JB Asano und Meister (Winterweizen) sowie Pelican und Nerz (Wintergerste) wurden mit betriebsüblicher Saatstärke Ende September 2011 ausgesät.

Versuchsbegleitend wurden zu drei Terminen (BBCH 29/30, 32/34, 51) Boden- und Pflanzenprobenahmen durchgeführt. Zum ersten Termin erfolgte die Entnahme der Bodenproben als Mischprobe über die Wiederholungen, danach je Einzelparzelle in 0-30 cm Tiefe. Mittels CAT-Methode bzw. VDLUFA Verbands-

methode wurde im Anschluss der Mn-Gehalt sowie der pH-Wert des Bodens bestimmt (VDLUFA, 1991; VDLUFA, 2002). Zur Evaluierung der Mn-Versorgung der Pflanzen wurden je 10 jüngste, vollentwickelte Blätter und Ganzpflanzen pro Parzelle entnommen, wobei zu BBCH 29/30 keine Ganzpflanzenbeprobung sowie die Entnahme der Blätter als Mischprobe über die Wiederholungen stattfand. Durch Mikrowellendruckaufschluss [300 mg Blattmaterial + 8 ml HNO₃ (konz. 65 %) bei 175 °C] wurde danach der Mn-Gehalt im Labor bestimmt sowie NN-Easy 55 Messungen durchgeführt. Das NN-Easy 55 der NutriNostica ApS (Kopenhagen, Dänemark) erfasst dabei mittels Chlorophyll-Fluoreszenz Messung an den Blättern den Mn-Status (NutriNostica, 2009). Dazu wird zunächst je ein Messclip auf den entnommenen Blättern befestigt und dabei durch Schließen eines Schiebers eine Blattfläche von ca. 13 mm² abgedunkelt (Abb. 1a). Nach mindestens 25 Minuten Wartezeit wird der Messclip vor den optischen Bereich des Gerätes geklemmt (Abb. 1b), der Schieber wieder geöffnet und das Blatt mit einem definierten Lichtimpuls (3500 μmol m⁻² s⁻¹, 627 nm) 1 sec. beaufschlagt (Abb. 1c).

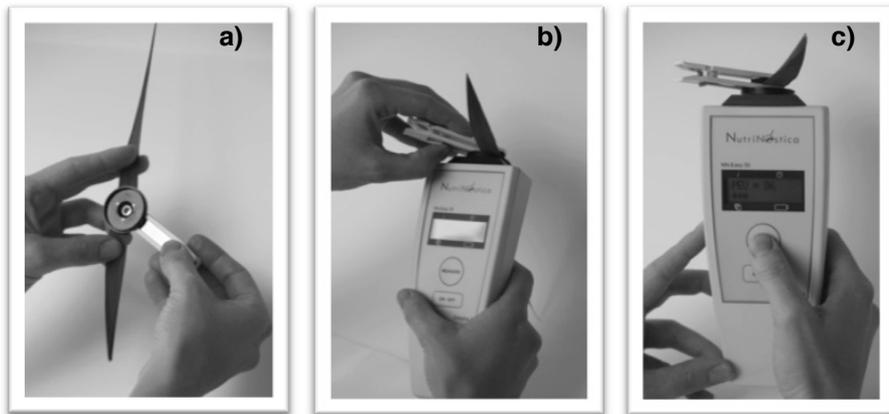


Abb. 1: Schrittweise Vorgehensweise bei der Messung mit dem NN-Easy 55

Anschließend erscheint der sogenannte PEU (Plant Efficiency Unit; Wertebereich 1-100) im Display. Nach Entfernen des Messclips kann direkt mit der nächsten Messung begonnen werden. Die Messwerte werden derweil im Gerät gespeichert und danach am PC ausgewertet. Der PEU Mittelwert, berechnet aus den Einzelmessungen je Parzelle, wird mittels einer Tabelle in eine von sechs PEU Klassen eingruppiert (Tab. 1). Die Klassen beschreiben die Intensität des Mn-Mangels: PEU-Werte <90 weisen beispielsweise auf Mn-Mangel hin.

Tab. 1: Beurteilungstabelle des Mn-Status anhand des PEU

PEU	Bewertung	Erläuterung
95-100	*****	Kein Mn-Mangel
90-94	****	Kein oder geringer Mn-Mangel
75-89	***	Moderater Mn-Mangel
60-74	**	Starker Mn-Mangel
40-59	*	Sehr starker Mn-Mangel
< 40		Extremer Mn-Mangel

Zur Ernte wurden die Kornerträge der einzelnen Varianten mittels Parzellen-erntetechnik erfasst. Die statistische Auswertung der untersuchten Merkmale erfolgte anhand von Varianzanalysen und anschließenden post hoc Tests (LSD, $p=0,05$).

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Veränderung der pH-Wert Versorgungsstufen über das Optimum (Gehaltsklasse „C“) führt in beiden Versuchen zu einer zum Teil signifikanten Reduzierung des verfügbaren Mangans im Boden (Abb. 2).

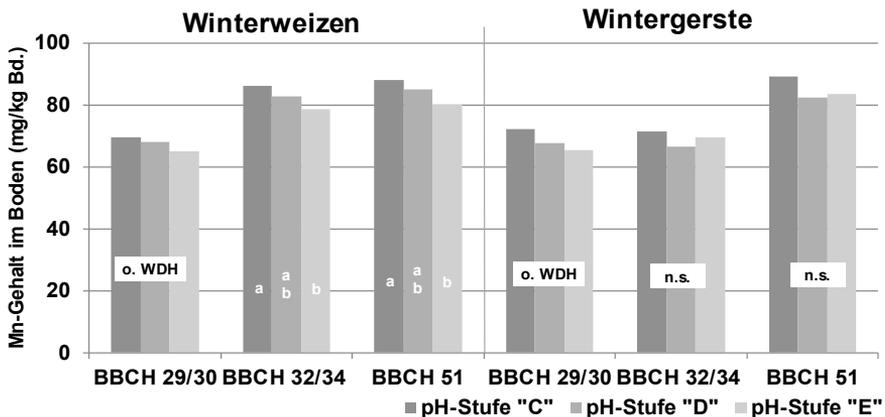


Abb. 2: Mangan-Boden-Gehalte unter Winterweizen und -gerste zu BBCH 29/30, 32/34 und 51 (o. WDH = Beprobung als Mischprobe über Wiederholungen; n. s. = nicht signifikant; Mn-Gehalte eines Beprobungstermins mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant)

Bei Zuordnung der gemessenen pH-Werte und Boden-Mangan-Gehalte in die von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2008) beschriebenen Mn-Gehaltsklassen ist jedoch festzustellen, dass jede Varianten zu allen Terminen der Mn-Gehaltsklasse „E“ zuzuordnen ist. Diese beschreibt eine hohe Versorgung des Bodens mit pflanzenverfügbarem Mangan, so dass zunächst nicht mit einer Verschlechterung des Mn-Status des Getreides zu rechnen ist.

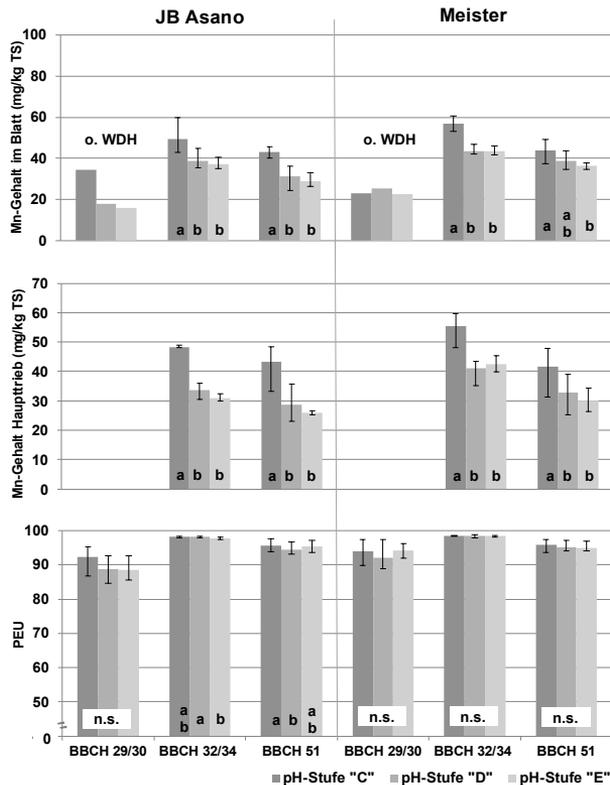


Abb. 3: Charakterisierung des Mn-Status für zwei Winterweizen-sorten zu BBCH 29/30, 32/34 und 51 mittels Mn-Gehalt im Blatt (oben) bzw. Haupttrieb (mitte) sowie PEU (unten) (o. WDH = Beprobung als Mischprobe über Wiederholungen; n. s. = nicht signifikant; Mn-Gehalte eines Beprobungstermins mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant)

Parallel zu den sinkenden Bodengehalten nehmen auch die Mn-Gehalte in den Pflanzen ab. Es zeigt sich, dass die Weizensorte JB Asano auf eine pH-Wert

Anhebung stärker reagiert als die Sorte Meister (Abb. 3). Besonders im zeitigen Frühjahr zu BBCH 29/30 reduziert sich beispielsweise der Mn-Gehalt in den Blättern von 34 mg/kg TS auf 16 mg/kg TS durch Anhebung des pH-Wertes von pH-Stufe C auf pH-Stufe E. Eine ähnliche Absenkung ist auch zu BBCH 51 erkennbar. Dies hat zur Folge, dass JB Asano zum frühen Termin in den gekalkten Varianten laut NN-Easy 55 Mn-Mangel (PEU < 90) aufweist. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten lassen sich allerdings nur zu BBCH 32/34 und 51 nachweisen. Zu diesen Zeitpunkten liegt jedoch keine Mn-Mangelsituation vor.

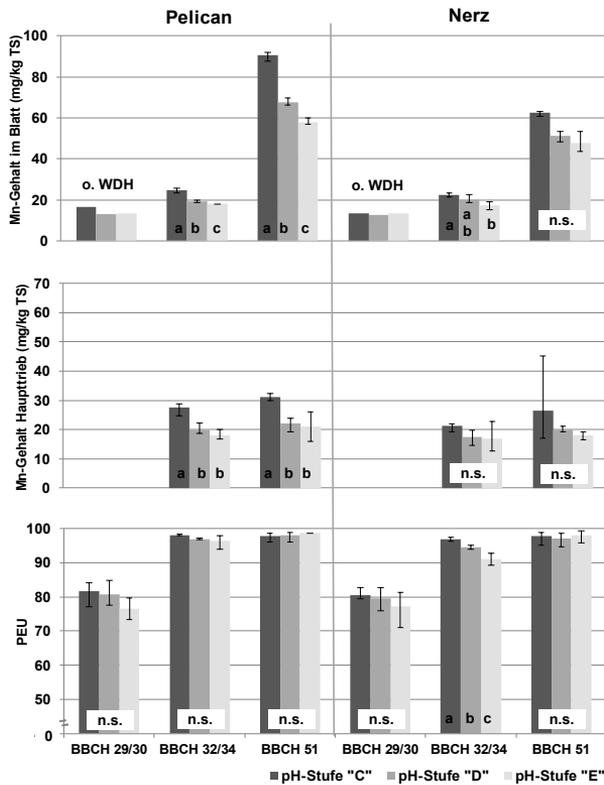


Abb. 4: Charakterisierung des Mn-Status für zwei Wintergersten-sorten zu BBCH 29/30, 32/34 und 51 mittels Mn-Gehalt im Blatt (oben) bzw. Haupttrieb (mitte) sowie PEU (unten) (o. WDH = Beprobung als Mischprobe über Wiederholungen; n. s. = nicht signifikant; Mn-Gehalte eines Beprobungstermins mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant)

Die Winterweizensorte Meister lässt im Blattmaterial zum ersten Messtermin kaum eine Reaktion auf die veränderten pH-Werte im Boden erkennen. In den folgenden Terminen BBCH 32/34 und 51 kommt der Effekt allerdings deutlich durch signifikante Unterschiede der Mn-Gehalte sowohl im Blatt wie auch in der Ganzpflanze hervor. Eine Mn-Mangelsituation ist durch NN-Easy 55 Messungen dennoch nicht nachweisbar.

Die Wintergerstensorten Pelican und Nerz reagieren bei einer pH-Wert Erhöhung ebenfalls mit sinkenden Mangan-Gehalten in Blättern und Ganzpflanze (Abb. 4). Dabei lassen sich häufig signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb eines Termins erkennen. Grundsätzlich verhalten sich beide Sorten überwiegend gleich, wobei Pelican stets höhere Mn-Gehalte in der Pflanze aufweist. Gerade zum frühen Messtermin lässt sich mittels NN-Easy 55 Mn-Mangel nachweisen. Die gemessenen PEU liegen dabei deutlich unter PEU 90 und beschreiben somit eine Mangelsituation, bei der eine Mn-Blattapplikation sinnvoll ist.

Zu den späteren Messterminen ist die Versorgung der Pflanzen mit Mangan ausreichend, allerdings bei der Sorte Nerz mit PEU 91 in der stark aufgekalkten Variante nur knapp.

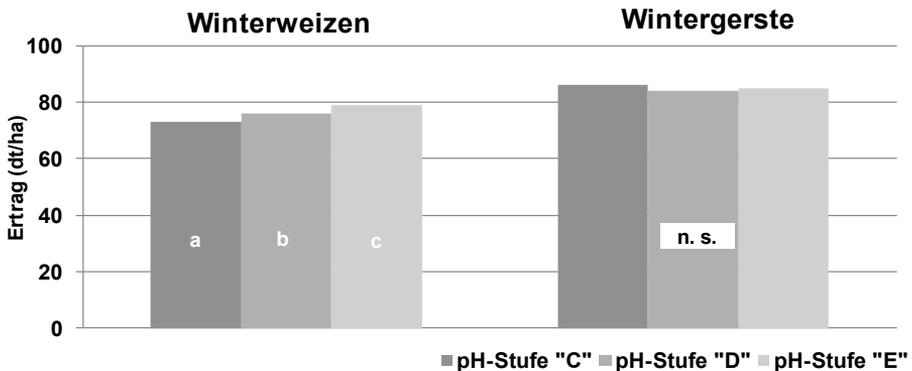


Abb. 5: Winterweizen- und Wintergersten Erträge (dt/ha)

Trotz des veränderten Mn-Angebotes im Boden und deutlichen Unterschieden im Mn-Status der Sorten ließen sich keine Effekte auf den Kornertrag nachweisen. Der Winterweizenbestand reagiert jedoch mit klarem Ertragsanstieg auf eine pH-Wert Erhöhung (Abb. 5). Vermutete Ursache hierfür ist die verbesserte Verfügbarkeit weiterer essentieller Nährstoffe.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Es bleibt festzuhalten, dass eine Anhebung des Boden-pH-Wertes über das Schlag Optimum zu einer Verringerung der Mn-Gehalte im Boden führt. Die Mn-Versorgung der untersuchten Sorten wird davon jedoch unterschiedlich stark negativ beeinflusst, so dass sortenbedingt Mn-Mangel auftritt. Die Überprüfung weiterer Sorten ist daher für die Beratung von großem Interesse.

5. Literaturangaben

- Brümmer, G.W., 2010: Spurenelemente. In: Blume, H.-P., Brümmer, G.W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M. (Hrsg.): Scheffer/Schachtschabel „Lehrbuch der Bodenkunde“. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Hebbern, C.A., Pedas, P., Schjoerring, J.K., Knudsen, L., Husted, S., 2005: Genotypic differences in manganese efficiency: a field trial with winter barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Soil* 272, 233-244.
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2008: Richtwerte für die Düngung: Gehaltsklassen für Bor, Mangan, Kupfer und Zink (mg/kg Boden (CAT-Methode). <http://www.lufa-nord-west.de/data/documents/Downloads/IFB/duengeempfehlungmikronaehrstoffe.pdf> (Download vom 22.09.2013).
- NutriNostica, 2009: NN-Easy 55 Operations manual. NutriNostica ApS, Kopenhagen (Dänemark).
- Schilling, G., 2000: Pflanzenernährung und Düngung. Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- VDLUFA, 1991: Methode A 6.4.1, Bestimmung von Haupt- und Spurennährstoffen in einem Auszug (Magnesium, Natrium, Kupfer, Mangan, Zink und Bor; CAT-Auszug). In: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.): Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

VDLUFA, 2002: Methode A 5.2.2 Ermittlung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden auf Basis des pH-Wertes. In: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.): Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Danksagung

Dieses Projekt wird finanziell unterstützt durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (Fördernummer WA3-80125128) und die NBank. Für die umfangreiche Unterstützung bei der Durchführung der Versuche gilt unser Dank den Projektpartnern und Mitarbeitern der Hochschule Osnabrück.

Untersuchungen zum Uraneintrag in landwirtschaftliche Böden durch Phosphatdünger

M. Leiterer¹, D. Goldmann², J.W. Einax², W. Zorn¹, H. Schröter¹, G. Kießling¹, R. Kirmse¹

¹Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, ²Friedrich Schiller Universität Jena, Institut für Anorganische und Analytische Chemie, Jena

1. Einleitung

Phosphor gehört als sogenanntes Makronährstoffelement zu den essentiellen Grundnährstoffen in der Pflanzenernährung. Eine bedarfsgerechte Phosphatdüngung ist deshalb nach den Grundsätzen der „Guten fachlichen Praxis“ für den Pflanzenertrag und die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit im Sinne einer nachhaltigen Landbewirtschaftung unerlässlich. In sedimentär entstandenen Phosphatlagerstätten, die zur Herstellung von P-Düngern dienen, sind teilweise erhöhte Gehalte an Uran enthalten (8-220 mg/kg) (Anonym, 2009). Uran kann aufgrund des ähnlichen Atomradius die Stellen von Calcium im Kristallgitter einnehmen und sich damit in das Calciumphosphatgerüst einlagern (Cathcart, 1978). Beim Einsatz entsprechender mineralischer Phosphatdüngemittel in der Landwirtschaft ist deshalb der gleichzeitige Eintrag von Uran in den Boden unvermeidbar.

Die Toxizität des Elements Uran und seiner Verbindungen basiert auf zwei grundsätzlich unterschiedlichen Aspekten. Zum einen wirkt Uran als Schwermetall auf Lebewesen chemotoxisch. Zum anderen senden alle natürlichen Uran-Isotope α -Strahlung aus und wirken deshalb radiotoxisch (Schott, 2004).

Lösliche Uranverbindungen gelangen nach Aufnahme mit der Nahrung bei Menschen und Tieren in den Blutkreislauf. Damit erfolgt eine Verteilung im gesamten Organismus. Nur ein geringer Anteil lagert sich auf der Knochenoberfläche ab und kann so über Monate bis mehrere Jahre gespeichert werden. Im Unterschied zu den Schwermetallen Blei, Cadmium und Quecksilber reichert sich damit Uran kaum im Körper an (Dieter und Schulz, 2008). Der größte Teil der löslichen Verbindungen wird über den Urin ausgeschieden. Dabei entsteht im sauren pH-Milieu das reaktive $[\text{UO}_2]^{2+}$ -Ion. Aus diesem Grund sind die Nieren meist das Zielorgan der chemischen Toxizität von Uran. Hier können bei chroni-

scher Zufuhr höherer Dosen durch Ablagerung im Epithel der Tubuli Nekrosen und Atrophien hervorgerufen werden, die eine Verringerung der Rückresorption in den Nierentubuli bewirken können (Anonym, 2004).

Zielstellung der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung einer möglichen Urananreicherung in landwirtschaftlichen Böden durch die mineralische Phosphatdüngung und des evtl. Transfers des Urans in landwirtschaftliche Nutzpflanzen und damit in die Nahrungskette.

2. Material und Methoden

2.1 Charakterisierung der Proben

Die Untersuchungen wurden an Probenmaterial von acht statischen P-Düngungsversuchen in Feldversuchstationen Thüringens mit unterschiedlichen geologischen und klimatischen Bedingungen durchgeführt (Tab. 1).

Tab. 1a: Standortangaben der einbezogenen Dauerversuche

Standort	Bad Salzungen	Burkersdorf	Friemar	Dornburg
Versuchsbeginn	1999	1993	1993	1993
Höhenlage über NN in m	290	440	284	260
Durchschnittlicher Jahresniederschlag in mm	586	642	519	578
Durchschnittliche Jahrestemperatur in °C	8,1	7,0	7,7	8,1
Geologische Herkunft	Unterer Buntsandstein	Schieferverwitterung	Löss über Keuper	Löss auf mittlerem Muschelkalk
Tongehalt in %	11	12	28	24
Organische Substanz in %	1,1	2,5	2,1	2,1
CaCO ₃ -Gehalt in %	0,5	0,2	2,0	0,8
pH-Wert	5,8	6,3	6,8	7,1

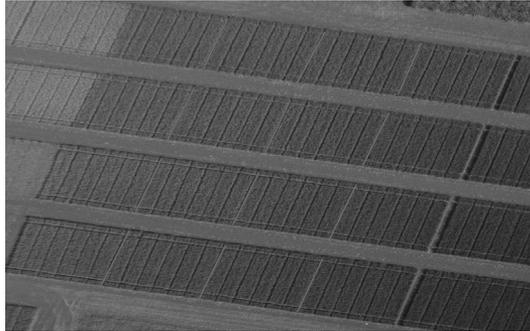
Tab. 1b: Standortangaben der einbezogenen Dauerversuche

Standort	Großenstein	Heßberg	Kirchengel	Haufeld
Versuchsbeginn	2002	1993	1993	1993
Höhenlage über NN in m	300	380	305	430
Durchschnittlicher Jahresniederschlag in mm	608	760	568	635
Durchschnittliche Jahrestemperatur in °C	7,8	7,1	7,8	7,0
Geologische Herkunft	Löss über Bunt-sandstein	Muschelkalk-verwitterung	Löss über Keuper	Muschelkalkver-witterung
Tongehalt in %	22	24	25	34
Organische Substanz in %	3,0	3,6	2,0	3,6
CaCO ₃ -Gehalt in %	1,3	2,2	8,6	7,5
pH-Wert	6,5	6,9	7,5	7,4

Die Anlage der Dauerversuche beinhaltet vier Düngungsstufen in jeweils vierfacher Wiederholung mit randomisierter Anordnung (Abb. 1). Die P-Düngung erfolgte während der gesamten Laufzeit vorwiegend als Triplesuperphosphat, nur in den ersten Versuchsjahren noch vereinzelt mit Superphosphat. Angaben zur Herkunft und Analysendaten über die Urangehalte der in der Vergangenheit eingesetzten P-Dünger liegen nicht vor. Für jede Parzelle wurde eine Bodenmischprobe aus 0-20 cm Tiefe entnommen, die aus 15-20 Einzelproben innerhalb der Parzelle besteht. Die Bodenproben wurden luftgetrocknet und auf eine Korngröße <2 mm abgesiebt (BSM, Gebr. Jehmlich, Nossen).

Die von den Parzellen geernteten Stroh- und Kornproben des Erntejahres 2011 (Kulturarten: Winterweizen (Bad Salzungen, Burkersdorf, Dornburg), Winter-

raps (Großenstein, Friemar, Heßberg, Kirchengel) und Wintergerste (Haufeld)) wurden bei 60 °C getrocknet, die Strohproben gehäckselt und alle Proben auf eine Korngröße < 0,5 mm gemahlen (ZM 200 mit Titanmahlwerkzeug, Retsch). Die Trockenmassebestimmung erfolgte separat bei 105 °C im Trockenschrank.



Prüfglieder		1	2	3	4
a		1	2	3	4
b		2	4	1	3
c		3	1	4	2
d		4	3	2	1

Abb. 1: 1 = ungedüngte Variante, 2 = Düngung nach Entzug, 3 = Düngung nach Entzug plus 30 %, 4 = Düngung nach Entzug minus 30 %

2.2 Analyse

Die Extraktion der Bodenproben erfolgte mit Königswasser mit dem Aufschlusssystem DigiPREP (SCP Science) nach folgendem Ablaufschema:

- Einwaage von 1,5 g in 50 ml PP-DigiTubes mit Deckel,
- Zugabe von 10,5 ml 37%iger HCl + 3,5 ml 65%ige HNO₃,
- Vorreaktion ca. 16 h (über Nacht) bei Raumtemperatur,
- Extraktion in 2 Stufen (lineare Aufheizrate 60 min bis 96,5 °C, Extraktion 180 min bei 96,5 °C, Abkühlen auf Raumtemp.),
- Auffüllen mit 2 M HNO₃ auf 50 ml,
- Filtration (MN 615 1/4, Ø 125 mm, Macherey Nagel).

Für den $\text{H}_2\text{O}_2/\text{HNO}_3$ -Druckaufschluss des Pflanzenprobenmaterials kam das System 6 AM (LAL) zum Einsatz. Die Aufschlusschritte umfassten:

- Einwaage von 0,5 g in PTFE-Druckaufschlussgefäße,
- Zugabe von 3 ml 65 %ige HNO_3 + 1 ml 30 %ige H_2O_2 ,
- Vorreaktion ca. 30 min bei Raumtemperatur,
- Aufschluss 7 h (über Nacht) bei 170 °C, Abkühlen,
- Überführung in 15 ml PP-Röhrchen (Saarstedt),
- Auffüllen mit Reinstwasser auf 15 ml.

Die Messung der Urankonzentration in den Aufschlusslösungen der Pflanzenproben mittels ICP-MS (ELAN DRCe, Perkin Elmer) erfolgte in 1 : 10 -Verdünnung unter Zugabe von 40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Rhodium als interner Standard. Für die Messung der Bodenextrakte wurde eine 1 : 5 -Verdünnung gewählt. Zur Auswertung wurde die Summe der Isotope ^{235}U und ^{238}U mit einem modifizierten Standardadditionskalibrationsverfahren verwendet.

Die Richtigkeit der Analysen konnte anhand der zertifizierten Referenzproben: soil NCS DC 73023 (Ist: $1,29 \pm 0,02 \text{ mg}/\text{kg}$; Soll: $1,2 \pm 0,1 \text{ mg}/\text{kg}$), tobacco leaves CTA-VTL-2 (Ist: $0,155 \pm 0,015$; Soll: $0,163 \pm 0,008 \text{ mg}/\text{kg}$) und pine needles SRM 1575 (Ist: $18,5 \pm 3,6 \mu\text{g}/\text{kg}$; Soll: $20 \pm 4 \mu\text{g}/\text{kg}$) nachgewiesen werden.

Die experimentell ermittelten Bestimmungsgrenzen (DIN 32645, Leerwertmethode, $P=0,95$, $k=3$) betragen $2,4 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Boden) bzw. $3,1 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Pflanze).

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Vergleich der Urankonzentrationen in den Bodenproben nach differenzierter P-Düngung

Für den Vergleich der aus 8 Einzelwerten (Doppelbestimmung der Prüfglieder in vierfacher Wiederholung) ermittelten Mittelwerte der Urankonzentration in den vier unterschiedlichen Düngungsstufen wurde der LSD-Test (Least Significant Difference) mit $P = 0,95$ ausgewählt. Als eine Form des Post-Hoc-Tests erlaubt er einen multiplen Vergleich mehrerer Gruppenmittelwerte ohne Varianzhomogenität. Nach diesem weniger konservativen Verfahren werden geringe Unterschiede eher erkannt.

In Abbildung 2-4 sind die Ergebnisse von drei ausgewählten Versuchsstandorten dargestellt.

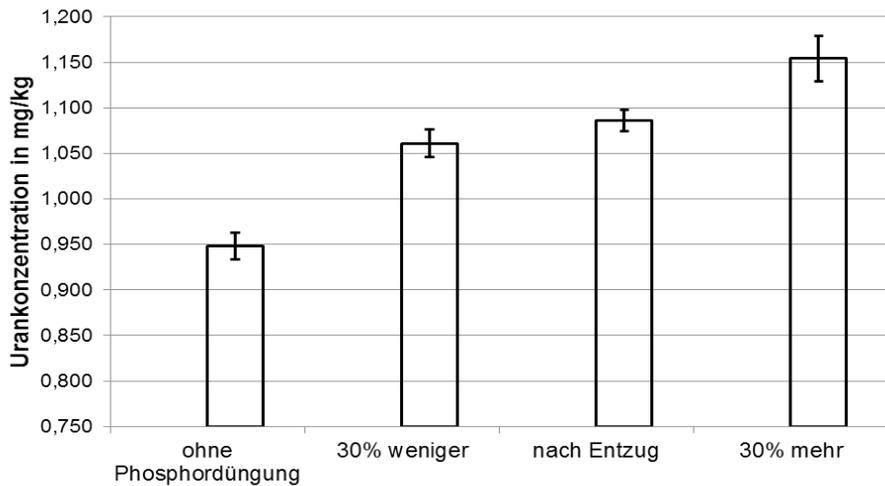


Abb. 2: Ergebnisse des LSD-Tests für die Bodenproben vom Versuchsstandort Dornburg

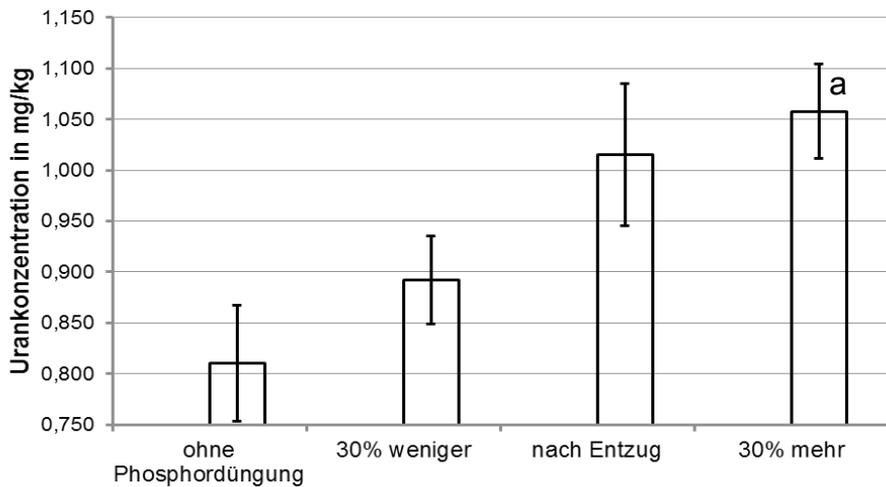


Abb. 3: Ergebnisse des LSD-Tests für die Bodenproben vom Versuchsstandort Kirchengel

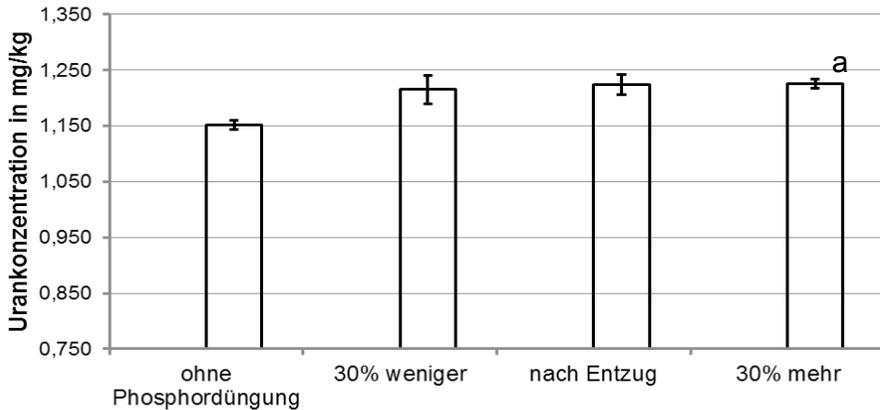


Abb. 4: Ergebnisse des LSD-Tests für die Bodenproben vom Versuchsstandort Großstein

Während für den Standort Dornburg für alle vier P-Düngungsstufen signifikante Unterschiede in der Urankonzentration der Böden nachgewiesen werden konnten, zeigen die Urankonzentrationen der Bodenproben des Standortes Kirchengel lediglich signifikante Unterschiede zwischen der ungedüngten, der P-Düngungsvariante 30 % weniger und den beiden anderen sich in der Urankonzentration nicht signifikant unterscheidenden Düngungsstufen. Beim Versuchsstandort Großstein konnte zwischen den drei gedüngten Varianten kein signifikanter Unterschied des Urangehaltes im Boden festgestellt werden. Die analysierten Urankonzentrationen unterschieden sich jedoch deutlich von der Nullvariante ohne P-Düngung. Eine Übersicht über die Mittelwerte und Vertrauensintervalle aller untersuchten Proben sind in Tabelle 2 enthalten.

Tab. 2a: Mittelwerte und Vertrauensintervalle (t-Verteilung, $P = 0,95$) der analysierten Urankonzentration in den Bodenproben der unterschiedlichen Düngungsstufen

	Bad Salzungen	Burkersdorf	Friemar	Dornburg
ohne	1,039 ± 0,057	0,851 ± 0,030	1,001 ± 0,025	0,948 ± 0,015
-30%	1,095 ± 0,050	0,979 ± 0,031	1,095 ± 0,016	1,061 ± 0,015
Entzug	1,126 ± 0,078	1,015 ± 0,030	1,083 ± 0,029	1,086 ± 0,012
+30%	1,169 ± 0,064	1,093 ± 0,059	1,141 ± 0,032	1,154 ± 0,025

Tab. 2b: Mittelwerte und Vertrauensintervalle (t-Verteilung, $P = 0,95$) der analysierten Urankonzentration in den Bodenproben der unterschiedlichen Düngungsstufen

	Großenstein	Heßberg	Kirchengel	Haufeld
ohne	1,152 ± 0,008	1,038 ± 0,029	0,810 ± 0,057	1,239 ± 0,068
-30%	1,215 ± 0,026	1,011 ± 0,036	0,892 ± 0,043	1,384 ± 0,068
Entzug	1,224 ± 0,019	1,115 ± 0,067	1,015 ± 0,070	1,451 ± 0,081
+30%	1,226 ± 0,008	1,079 ± 0,032	1,058 ± 0,046	1,456 ± 0,044

Die Auftragung der Mittelwerte der analysierten Urangehalte gegen die normierten Düngungsstufen zeigt für den Standort Kirchengel visuell einen deutlich sichtbaren Trend (Abb. 5). Die statistische Auswertung nach Neumann-Test für $P = 0,95$ ergab für die Proben der Versuchsstandorte Bad Salzungen, Burkersdorf und Kirchengel unter Berücksichtigung der Vertrauensintervalle einen signifikanten linearen Trend.

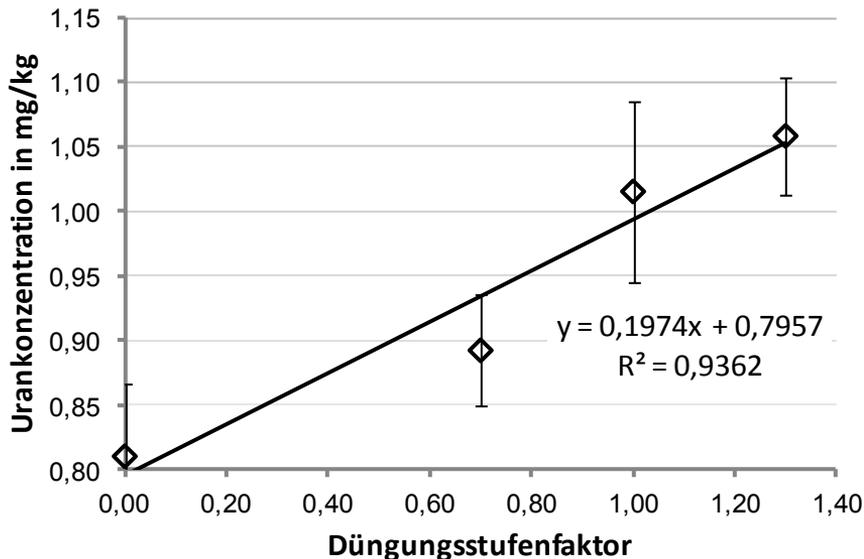


Abb. 5: Linearer Trendtest zwischen analysiertem Urangehalt im Boden und normiertem P-Düngungsstufenfaktor für die Bodenproben Versuchsstandort Kirchengel

Die Prüfung des Zusammenhangs zwischen den analysierten Urankonzentrationen im Boden und den königswasserlöslichen Phosphatgehalten ergab für die Proben der Versuchsstandorte Burkersdorf ($r^2 = 0,983$), Dornburg ($r^2 = 0,998$; Abb. 6), Haufeld ($r^2 = 0,976$) und Heßberg ($r^2 = 0,979$) eine signifikante Korrelation (Z-Test nach Steiger (Steiger, 1980)). Für die Bodenproben der Versuchsstandorte Bad Salzungen ($r^2 = 0,209$), Friemar ($r^2 = 0,661$), Großenstein ($r^2 = 0,947$) und Kirchengel ($r^2 = 0,890$) konnte mit Hilfe des o. g. Test keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

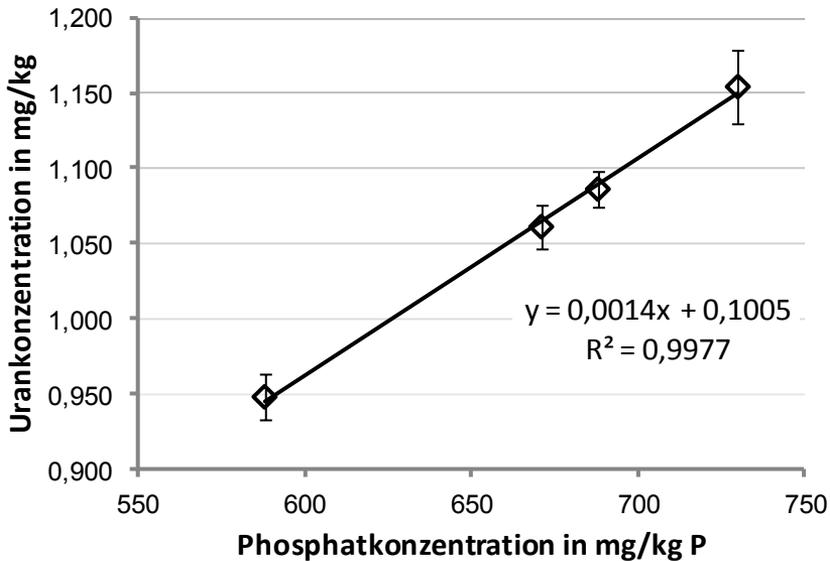


Abb. 6: Urankonzentration in Abhängigkeit von der Phosphatkonzentration (KW-lösl.) des Bodens für die vier Düngungsstufen vom Versuchsstandort Dornburg

3.2 Analysenergebnisse der Ernteproduktproben

Die Mehrzahl der analysierten Urankonzentrationen in den Pflanzenproben lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze von $3,1 \mu\text{g}/\text{kg}$. In den Tabellen 3a und 3b sind zusätzlich die erhaltenen Ergebnisse zwischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze angegeben (kursiv). Sie sind mit einer entsprechend höheren Messunsicherheit behaftet. Sowohl im Korn als auch im Stroh der Ernteproduktproben konnte keine Urananreicherung in Abhängigkeit zum Bodengehalt festgestellt werden. Die auf der ungedüngten Variante geernteten Proben enthiel-

ten teilweise sogar tendenziell höhere Konzentrationen. Die Ursache könnte in der durch die unzureichende P-Versorgung induzierten erhöhten Ausscheidung von Wurzelexudaten in Verbindung mit der dadurch hervorgerufenen sauren Bodenreaktion liegen (Schroetter et. al, 2005).

Tab. 3a: Urankonzentration (in $\mu\text{g}/\text{kg}$) im Korn, Erntejahr 2011

Standort	Kultur	Ohne	-30%	Entzug	+30%
Bad Salzungen	WiWe	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30
Burkersdorf	WiWe	3,93	3,11	2,35	1,29
Friemar	WiRa	2,74	1,04	0,64	0,42
Dornburg	WiWe	0,70	0,26	< 0,30	< 0,30
Großenstein	WiRa	0,88	0,42	0,50	0,61
Heßberg	WiRa	6,74	3,48	1,68	1,42
Kirchengel	WiRa	0,45	1,67	2,51	0,52
Haufeld	WiGe	11,27	4,39	1,55	0,54

Tab. 3b: Urankonzentration (in $\mu\text{g}/\text{kg}$) im Stroh, Erntejahr 2011

Standort	Kultur	Ohne	-30%	Entzug	+30%
Bad Salzungen	WiWe	0,39	0,83	0,63	0,34
Burkersdorf	WiWe	7,85	3,73	3,69	4,94
Friemar	WiRa	-	-	-	-
Dornburg	WiWe	1,99	< 0,30	0,83	0,35
Großenstein	WiRa	2,98	2,38	3,62	3,00
Heßberg	WiRa	10,53	5,30	4,62	3,26
Kirchengel	WiRa	1,12	2,86	2,69	1,87
Haufeld	WiGe	6,10	5,55	3,54	4,09

4. Zusammenfassung

Anhand von acht Phosphat-Dauerdüngungsversuchen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (längste Laufzeit seit 1993, kürzeste ab 2002) mit vier

unterschiedlichen Düngungsstufen in jeweils vierfacher Wiederholung konnte in allen Fällen eine Urananreicherung in der oberen Bodenschicht (0-20 cm) im Vergleich zur ungedüngten Variante nachgewiesen werden. Die Höhe der Anreicherung hängt dabei insbesondere von den Bodeneigenschaften und der Laufzeit des Dauerversuches ab. Die maximale Anreicherung betrug 0,25 mg/kg über den Gesamtversuchszeitraum von 18 Jahren.

Eine Aussage über die Verlagerung des über die Phosphatdüngemittel eingebrachten Urans in tiefere Bodenschichten konnte aus diesen ersten Analyseergebnissen nicht abgeleitet werden. Die Untersuchungen werden in dieser Richtung fortgeführt.

Sowohl im Korn als auch im Stroh der Ernteproduktproben des Versuchsjahres 2011 konnte keine Urananreicherung in Abhängigkeit vom Bodengehalt festgestellt werden. Die auf der ungedüngten Variante geernteten Proben enthielten teilweise sogar tendenziell höhere Konzentrationen. Die Ursache könnte in der durch die unzureichende P-Versorgung induzierten erhöhten Ausscheidung von Wurzelexudaten in Verbindung mit der dadurch hervorgerufenen pH-Absenkung in der Rhizosphäre liegen.

5. Literaturangaben

Anonym, 2004: Uran in natürlichen Mineral- und anderen, zum Verzehr bestimmten Wässern. Bundesinstitut für Risikobewertung, Stellungnahme vom 3.3.2004. http://www.bfr.bund.de/cm/343/uran_in_natuerlichen_mineral_und_anderen_zum_verzehr_bestimmten_waessern.pdf.

Anonym, 2009: Deutscher Bundestag, 16. Wahlperiode: Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage der Abgeordneten Cornelia Behm, Nicole Maisch, Hans-Josef Fell, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDIS 90/DIE GRÜNEN, Uran in Phosphatdüngemitteln – Uran in Düngemitteln, Bodenschutz und Wasserrecht. Drucksache 16/11539.

Cathcart, J.B., 1978: Uranium in phosphate rock. Geological survey professional paper, United States Government printing office, Washington.

Dieter, H.H., Schulz, C., 2008: Uran im Trinkwasser, telegramm: umwelt + gesundheit. Information des Umweltbundesamtes, Ausgabe 03, 1-3.

- Schott, A., 2004: Toxizität von Uran, Uran-Umwelt-Unbehagen. 1. Statusseminar zum Thema Uran, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft.
- Schroetter, S., Rivas, M., Lamas, M., Schnug, E., Fleckenstein, J., 2005: Einfluss von Parametern der Bodenfruchtbarkeit und Düngung auf den Uran-Transfer Boden-Pflanze. Landbauforschung Völkenrode, Special Issue 286, 95-106.
- Steiger, J.H., 1980: Tests for comparing elements of a correlation matrix. Psychological Bulletin 87, 245-251.

Lysimeter Langzeitexperiment zur Untersuchung des Sickerverhaltens von Perfluorierten Tensiden (PFT) und dem Übergang vom Boden in Pflanzen – Ergebnisse einer Pilotstudie

T. Stahl¹, S. Falk¹, S. Georgii¹, H. Brunn², J. Heyn³, D. Koch³, A. Sandhäger³, H. Schaaf⁴

¹Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, Wiesbaden, ²Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, Giessen, ³Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kassel,

⁴Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, Kassel

1. Einleitung

Perfluorierte Tenside (PFT) werden seit mehr als 60 Jahren produziert und finden aufgrund ihrer stofflichen Eigenschaften in zahlreichen industriellen Prozessen sowie in Industrie- und Konsumprodukten Anwendung. So werden sie in der Textilindustrie zur Herstellung Wasser abweisender atmungsaktiver Jacken und in der Papierindustrie zur Produktion von Schmutz, Fett und Wasser abweisendem Papier verwendet. Darüber hinaus sind sie Bestandteil von Chemikalien, die zur Verpackung von Lebensmitteln („Fast Food“), zur Imprägnierung von Möbeln, Teppichen und Bekleidung einschließlich Schuhen eingesetzt werden (Stahl et al, 2007). Sie werden in/als Antifoggingmittel (Glas), Antistatika (Chipherstellung), Zementzusätze, Reinigungsmittel, Beschichtungen, Isolatoren, Kosmetika, Farben, Haushaltsreinigern, zur Herstellung von Feuerlöschschaum, in Schädlingsbekämpfungsmitteln und hydraulischen Flüssigkeiten verwendet. Der Fluor-Kunststoff PTFE (Polytetrafluorethylen) ist als Pfannen- oder Topfbeschichtung nahezu in jedem Haushalt unter dem Handelsnamen Teflon® zu finden (Stahl et al, 2007). Eine Übersicht über die verschiedenen Verwendungen der PFT beschreibt Tabelle 1.

PFT sind chemisch sehr stabil und biologisch kaum abbaubar, was ihnen die Eigenschaft einer persistenten Substanzklasse verleiht. Die Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) wurde mittlerweile in die Liste der Persistent Organic Pollutants (POP-Verordnung) aufgenommen. Die ausschließlich anthropogen vorkommenden Verbindungen besitzen z. T. Bioakkumulations- und Biomagnifikationspotential und sind bis zu einer Kettenlänge von acht Kohlenstoffatomen vergleichsweise gut wasserlöslich (Gellrich et al, 2012, 2013; Stahl et al, 2012).

Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen werden nach Bewässerung mit PFT-kontaminiertem Wasser PFT von Kulturpflanzen aufgenommen (carry over). Ein carry over von PFT in Kulturpflanzen ist auch nach der Anwendung PFT-belasteter Düngemittel auf landwirtschaftlich genutzte Flächen nachweisbar. Neben der direkten PFT-Aufnahme über kontaminierte Böden können Niederschlagsereignisse schließlich bewirken, dass vor allem die gut wasserlöslichen PFT aus kontaminierten Böden ausgetragen werden und so wiederum über den Wasserpfad von Pflanzen aufgenommen werden (Stahl et al, 2009; Lechner und Knapp, 2011; Stahl et al, 2013).

Der Lysimeterversuch am Standort Kassel-Harleshausen ist dafür prädestiniert, sowohl den carry over von PFT in Haupt- und Nebenernteprodukte verschiedener Kulturpflanzen als auch die Verlagerungsdynamik über das Sickerwasser parallel zu untersuchen, wie dies bereits an anderer Stelle für Tierarzneimittel, Tetrazykline oder Sulfadiazine nachgewiesen wurde (Kay et al, 2005; Engels und Winkler, 2004; Kreuzig und Holtge, 2005). Durch Langzeitversuche wie dem vorliegenden Versuch können zudem zeitliche Trends hinsichtlich PFT-Aufnahme und PFT-Auswaschung festgestellt und statistisch abgesichert werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand wurden solche systematischen Untersuchungen zu PFTs bislang noch nicht über einen längeren Zeitraum durchgeführt. Der Schwerpunkt unserer Untersuchungen zum Aufnahme- und Elutionsverhalten lag bei PFOA und PFOS. Darüber hinaus werden auch die Ergebnisse der kürzerkettigen – als Verunreinigung der technischen Gemische PFOA und PFOS vorhandenen – PFTs (PFBA, PFBS, PFPeA, PFHxA, PFHxS, PFHpA) vorgestellt. Damit können zusätzlich Aussagen über das Elutions- und Aufnahmeverhalten von PFT in Abhängigkeit von der Kettenlänge und der funktionellen Gruppe getroffen werden.

2. Angaben zu Lysimeteranlage und Versuchsdurchführung

Die in den Jahren 1992 und 1993 gebaute Lysimeteranlage besteht aus 32 Bodenmonolithen aus Löß des Standorts Harleshausen mit einer quadratischen Oberfläche je Monolith von 1 m² und einer Länge von 1,50 m. Aus den Monolithen kann Sickerwasser nach Regenereignissen austreten. In einem unter der Erdoberfläche liegenden Bedienungsgang stehen gläserne Großgefäße (jeweils 60 L Inhalt) zum Auffangen des Sickerwassers. Um die in zwei Reihen angeordneten Lysimeter sind sogenannte Simulierbeete angelegt, deren

Bewuchs den mikroklimatischen Inseleffekt in den eigentlichen Versuchspartzellen verringern soll. Der Aufbau der Lysimeterversuchsanlage ist aus Abbildung 1 (bebildeter schematischer Querschnitt) ersichtlich.

Tab. 1: Verwendung Perfluorierter Tenside

Industriezweig	Verwendung (direkt/indirekt)
Textilien	Imprägnierungsmittel: atmungsaktive Jacken
Papier	schmutz-, fett- und wasserabweisende Papiere
Möbel, Teppiche	Imprägnierung, Polituren, Reinigungsmittel
Glas	Antifoggingmittel
Elektronische Chips	Antistatika
Haushalt	Pfannen-/Topfbeschichtung, Reinigungsmittel, Kleber, Farben, Lacke, Polituren
Lebensmittelverpackungen	Fett und Wasser abweisend
Feuerwehr	Feuerlöschschäume
Landwirtschaft	Pestizide (zur Verbesserung der Sprüheigenschaften)
Metallindustrie	Chrombäder (Vermeidung von Aerosolbildung)
Sport	Zusatz für Skiwachs, Outdoorbekleidung

Im Rahmen eines Verbundprojektes zum carry over Boden/Pflanze von PFTs fanden 2007 umfangreiche Versuche in Mitscherlich-Gefäßen statt (Stahl et al, 2009). Zeitgleich wurden vier nicht benachbarte und randomisiert ausgewählte Monolithe des Lysimeters mit wässrigen Lösungen von PFOA und PFOS (jeweils als technisches Gemisch) mit einer Konzentration von jeweils 25 mg/kg Boden beaufschlagt. Um das Bodengefüge der Monolithe durch Herstellung künstlicher Makroporen nicht negativ zu beeinflussen, wurde auf die Beprobung und Untersuchung des Bodens auf PFTs vor Versuchsbeginn verzichtet. Wegen der relativ hohen Dotierung von 25 mg PFOA bzw. PFOS je kg Boden können ggf. im Boden vorhandene PFT-Hintergrundbelastungen vernachlässigt werden. Begonnen wurde die Langzeituntersuchung auf den dotierten Lysimeterböden im Jahr 2007 (Versuchsfrucht: Winterweizen). Tabelle 2 beschreibt

die Fruchtfolge von den bisher ausgewerteten fünf Untersuchungsjahren sowie die im Hinblick auf die Untersuchungsergebnisse und den daraus resultierenden Aussagen wichtigsten Parameter (Kornertrag, Strohertrag und Sickerwassermenge je Jahr und Monat).

Tab. 2: Fruchtfolge im Untersuchungszeitraum 2007 bis 2011 mit Korn- und Stroherträgen sowie Sickerwassermengen

Jahr	2007	2008	2009	2010	2011
Korn- und Stroherträge					
Pflanzenart	Winter-Weizen	Winter-Roggen	Körner-Raps	Winter-Weizen	Winter-Gerste
Kornertrag [kg]					
berechnet auf 1 m ²	0,48	1,08	0,38	0,79	0,62
Strohertrag [kg]					
berechnet auf 1 m ²	0,80	0,83	0,77	0,81	0,88
Sickerwassermengen [L/m²]					
Sickerwasser Januar	----- ^{a)}	46,5	0	17,5	11,2
Sickerwasser Februar	----- ^{a)}	20,9	0	60,2	19,9
Sickerwasser März	----- ^{a)}	40,3	0	25,8	4,65
Sickerwasser April	Versuchsbeginn	0	0	8,58	0
Sickerwasser Mai	0 ^{b)}	0	0	0	0
Sickerwasser Juni	0	0	0	0	0
Sickerwasser Juli	0	0	0	0	0
Sickerwasser August	0	0	0	0	0
Sickerwasser September	0	0	0	0	0
Sickerwasser Oktober	4,1 ^{c)}	0	0	0	0
Sickerwasser November	51,2	0	0	0	0
Sickerwasser Dezember	62,6	0	0	0	0

^{a)}Keine Angaben zur Menge des Lysimeterwassers, da die Monate Januar bis März vor dem Versuchsbeginn lagen. ^{b)}Die Zahl 0 bedeutet in der Tabelle jeweils, dass in dem jeweiligen Monat kein Sickerwasser angefallen ist. ^{c)}Das Lysimetersickerwasser eluierte erstmalig im Oktober 2007 nach der Dotierung im April 2007.

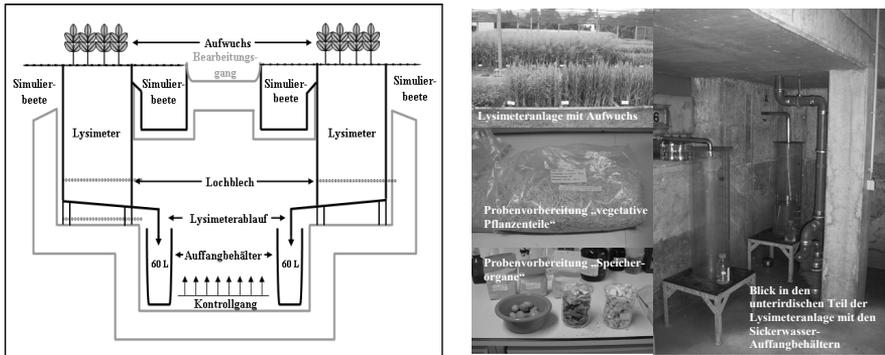


Abb. 1: Lysimeteranlage Kassel-Harleshausen (Querschnittszeichnung, Ansichtsbild und Probenvorbereitung)

3. Versuchsergebnisse

In den fünf Untersuchungsjahren wurden Aufwuchsproben und Sickerwässer hinsichtlich PFT analysiert. In den Haupt- und Nebenernteprodukten der Versuchspflanzen sowie im Sickerwasser wurden PFOA bzw. PFOS (Perfluorbutansäure, Perfluorbutansulfonsäure, Perfluorpentansäure, Perfluorhexansäure, Perfluorheptansäure) nachgewiesen.

Interessant sind die Unterschiede in der Aufnahmedynamik in den Jahren 2007 bis 2011 für PFOA und PFOS in Abhängigkeit von der Zeit und der angebauten Fruchtart.

Um mögliche Unterschiede hinsichtlich fallender (monotoner) Trends für alle PFOA- und PFOS - Daten in diesen Jahren getrennt nach Stroh und Korn feststellen zu können, wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman berechnet und auf Abweichung vom Wert Null geprüft.

Für PFOA im Stroh ($r_s = -0,668$; $p = < 0,05$) und Korn ($r_s = -0,648$; $p = < 0,05$) zeichnen sich ebenso signifikant sinkende Trends ab wie für PFOS im Stroh ($r_s = -0,420$; $p = < 0,05$). Dagegen wurde für PFOS im Korn ($r_s = -0,067$; $p = 0,757$) kein signifikant sinkender Trend ermittelt, was in der Tatsache begründet ist, dass in den Jahren 2008, 2009 und 2010 keine PFOS-Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze von $1,0 \mu\text{g}/\text{kg}$ analysiert wurde. Abweichend davon wurden 2011 wieder Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt. Dies

könnte ggf. an der Fruchtart (Gerste) liegen, die möglicherweise bevorzugt PFOS aufnimmt, was zum derzeitigen Stand der Langzeituntersuchungen statistisch nicht gesichert nachgewiesen werden kann. Allerdings können im Hinblick auf die Konzentrationsunterschiede von PFOA und PFOS systematisch sowohl im Gefäßversuch- als auch im Lysimeterversuch bei allen geprüften Getreidearten höhere Gehalte im Stroh als im Korn festgestellt werden. Damit wird klar, dass die Dynamik in der Translokation niedriger ist als die Aufnahme in den Spross.

3.1 Trends im Konzentrationsverlauf (2007 bis 2011 Komponenten: PFBA, PFBS, PFPeA, PFHxA, PFHpA)

Um Unterschiede hinsichtlich monotoner Trends zu prüfen, wurde getrennt nach Korn und Stroh auch für PFBS, PFPeA, PFHxA und PFHpA der Rangkorrelationstest nach Spearman für alle Daten der Prüffahre 2007 bis 2011 durchgeführt. Die statistische Auswertung dieser Daten ergibt, dass sich für PFBA im Stroh ($r_s = -0,981$; $p < 0,05$) und Korn ($r_s = -0,4278$; $p < 0,05$) ebenso signifikant sinkende Trends abzeichnen wie für PFBS im Stroh ($r_s = -0,961$; $p < 0,05$) und Korn ($r_s = -0,787$; $p < 0,05$), für PFPeA im Stroh ($r_s = -0,750$; $p < 0,05$) und Korn ($r_s = -0,568$; $p < 0,05$), für PFHxA im Stroh ($r_s = -0,801$; $p < 0,05$) und Korn ($r_s = -0,631$; $p < 0,05$) und PFHpA im Stroh ($r_s = -0,613$; $p < 0,05$) und Korn ($r_s = -0,656$; $p < 0,05$).

3.2 PFT-Konzentrationen im Lysimeterwasser

Die Ergebnisse der Untersuchungen der Lysimeterwässer je Sickerwassermonat sind Tabelle 3 zu entnehmen. Nach der PFT-Dotierung stellte die Probenahme aus dem Oktober 2007 den ersten Termin dar, nach der die Sickerwasserfront erstmalig die Bodensäule nach der Dotierung passiert hatte. Grundsätzlich sind natürlich Probennahmen nur nach dem Start der Sickerperiode, in der Regel im Herbst/Winter eines jeden Prüffjahres, möglich.

Bei den nachfolgenden Grafiken ist zu beachten, dass die Auftragungen der Konzentrationen wegen der teilweise erheblichen Konzentrationsunterschiede und damit aus Gründen der Übersichtlichkeit logarithmisch erfolgen. Die Abbildung 2 zeigt die Konzentrationsverläufe von PFOA und PFOS.

Tab. 3: PFT-Konzentrationen im Lysimetersickerwasser je Probenahme

Datum	PFOA [µg/L]	PFOS [µg/L]	PFBS [µg/L]	PFHxA [µg/L]	PFHxS [µg/L]	PFHpA [µg/L]
Okt. 2007	1206	2,7	2584	1,5	2,6	1
Nov. 2007	5013	2,6	3240	3,2	13,7	7,7
Dez. 2007	10421	4	4093	4,3	33,6	21,3
Jan. 2008	20351	8,4	5053	6	56,8	28,3
Feb. 2008	39176	3	5271	7	87,6	36
März 2008	58339	4,1	6627	10,7	108	42,3
Jan. 2010	45285	139	2133	<BG ^{a)}	<BG	<BG
Feb. 2010	51560	255	1466	<BG	<BG	<BG
März 2010	36060	260	1101	<BG	<BG	<BG
April 2010	35375	285	779	<BG	<BG	<BG
Jan. 2011	19695	499	239	<BG	4,3	5,3
Feb. 2011	33958	545	537	<BG	8,6	13,0
März 2011	38478	622	499	<BG	9,1	12,5

^{a)}BG: Bestimmungsgrenze (für jede Komponente 1 µg/L)

Für PFOA ist von Oktober 2007 bis März 2008 (6. Probenahme) ein linearer Anstieg ($r^2=0,9132$) der Konzentration im Lysimetersickerwasser festzustellen, die vom März 2008 bis März 2011 auf einem hohen Niveau verbleibt. Für PFOS ist von Oktober 2007 bis März 2008 eine nahezu konstante Konzentration zu verzeichnen. Von März 2008 bis März 2011 erfolgt ein nahezu linearer Anstieg ($r^2=0,9554$) der Konzentrationen bis zu einem Wert von 622 µg/l im Lysimeterwasser. Die beschriebenen Ergebnisse lassen darauf schließen, dass PFOA mit Wasser als Transportmedium deutlich schneller durch den Boden verlagert wird, während PFOS deutlich länger retardiert wird und erst nach 48 Monaten nach Dotierung des Lysimeterbodens in steigenden Konzentrationen im Lysimeterwasser zu analysieren ist. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen Gellrich et al. (2012), in deren Studie im Labormaßstab systematische Untersuchungen zum Sickerverhalten von PFTs durch Bodensäulen durchgeführt wurden. Dabei wurde nach etwa 4 Monaten PFOA im Sickerwasser nachgewiesen, während PFOS nach 32 Monaten noch nicht in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze (1 µg/L) nachgewiesen werden konnte.

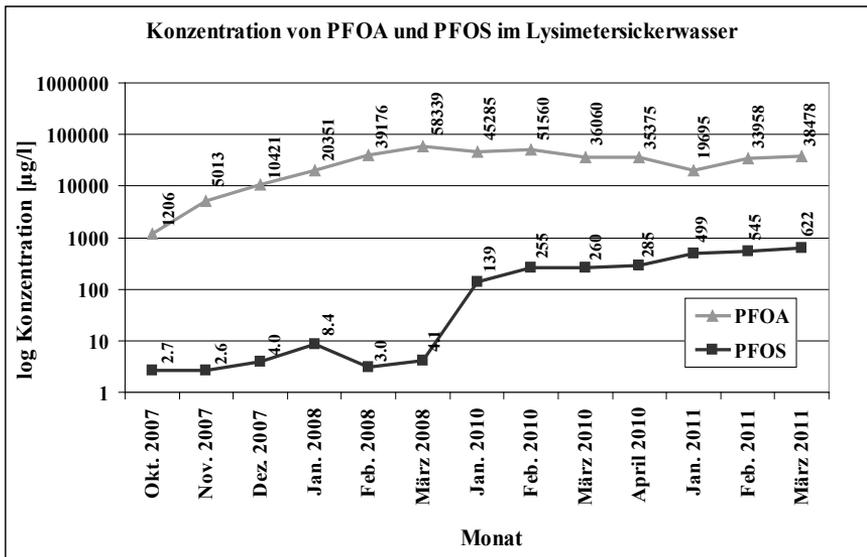


Abb. 2: Konzentrationsverläufe von PFOA und PFOS im Lysimetersickerwasser von Oktober 2007 bis März 2011

3.3 PFBS, PFPeA, PFHxA und PFHpA als Verunreinigungen von PFOA und PFOS

Aus Abbildung 3 wird ersichtlich, dass die Sickerwasser-Konzentrationen von PFBS von Oktober 2007 bis März 2008 linear ($r^2 = 0,9773$) ansteigen und von März 2008 bis März 2011 fallen. Wie bereits in Abbildung 2 bei PFOA im Trend festgestellt, verbleibt PFBS auf einem – im Vergleich zu den anderen Verunreinigungen der technischen Gemische – hohem Konzentrationsniveau ($> 200 \mu\text{g/L}$). Im Februar ($537 \mu\text{g/L}$) und März 2011 ($499 \mu\text{g/L}$) werden sogar wieder steigende Konzentrationen gemessen.

Für die Substanzen PFHxA, PFHxS und PFHpA ergibt sich ein ähnlicher Konzentrationsverlauf wie für PFBS. Von Oktober 2007 bis März 2008 sind zunächst linear (PFHxA: $r^2 = 0,9516$; PFHxS: $r^2 = 0,9831$; PFHpA: $r^2 = 0,9862$) steigende Konzentrationen im Sickerwasser zu verzeichnen. Ab Januar 2010 (7. Probenahme) können PFHxA, PFHxS und PFHpA nicht mehr in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze ($1 \mu\text{g/L}$) nachgewiesen werden. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Bodenpassage kürzerkettiger Perfluorcarbonsäuren (mit Kettenlängen von C4 bis C8) sowie kürzerkettiger

Perfluorsulfonsäuren (mit Kettenlängen von C4 bis C6) schneller erfolgt als bei PFOS. Dieser Befund bestätigt Prüfergebnisse von Gellrich et al. (2012) aus ihren Leaching-Experimenten im Labormaßstab. Während in Bezug auf den carry over von PFT in die Pflanzen ein Laborexperiment zur Verifizierung unserer Ergebnisse nicht beitragen kann, werden die Ergebnisse aus dem Lysimeterversuch durch die Laborexperimente von Gellrich et al (2012) bestätigt.

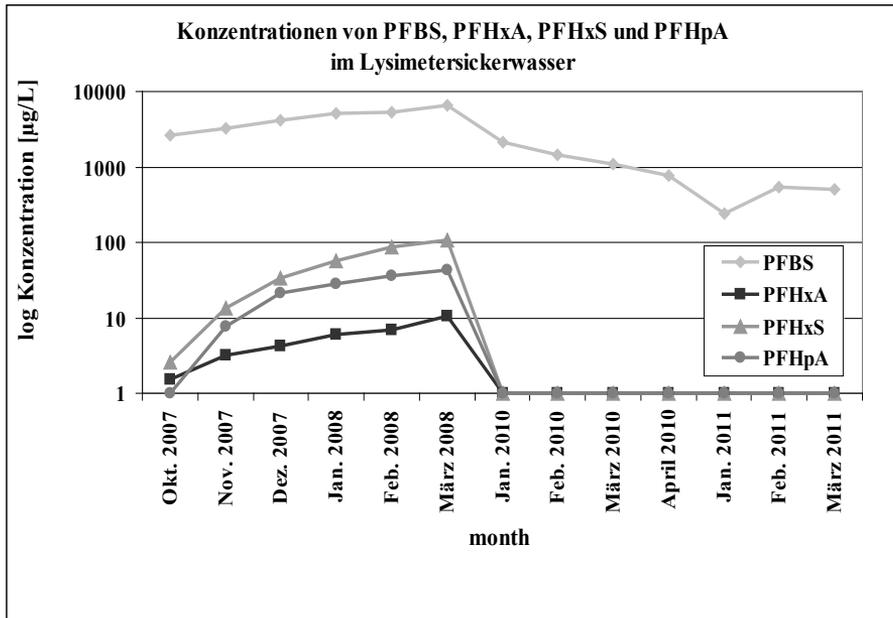


Abb. 3: Konzentrationsverläufe von PFBS, PFHxA, PFHxS und PFHpA im Lysimetersickerwasser von Oktober 2007 bis März 2011

3.4 Bilanzierungen für PFOA und PFOS

3.4.1 Aufwuchsproben

Auf der Grundlage der Korn- und Stroherträge [in kg] nach der Ernte und der aufgefangenen Sickerwassermengen [in L] lassen sich pro Jahr Bilanzierungen hinsichtlich der PFOA- und PFOS-Menge, die durch den carry over und durch die Elution aus dem Lysimeter verlagert worden sind, errechnen. Für die Verunreinigungen PFBS, PFPeA, PFHxA und PFHpA können dahingegen keine

Tab. 4: Berechnung der absolut von den Pflanzen aufgenommenen PFOA- und PFOS-Mengen auf Grundlage der geernteten Biomasse (Korn und Stroh) und der gemessenen Konzentrationen

Jahr	2007	2008	2009	2010	2011	Summe
Substanz	Winter-Weizen	Winter-Roggen	Körner-Raps	Winter-Weizen	Winter-Gerste	
Ertrag Korn [kg]	0,48	1,08	0,38	0,79	0,62	3,35 ^{a)}
Ertrag Stroh [kg]	0,80	0,83	0,77	0,81	0,88	4,09 ^{b)}
Konzentration PFOA im Korn [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	595	11,4	72,7	39,0	3,50	----- ^{c)}
Konzentration PFOA im Stroh [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	2030	856	1370	1220	140	----- ^{c)}
Konzentration PFOS im Korn [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	54,5	<BG	<BG	<BG	3,00	----- ^{c)}
Konzentration PFOS im Stroh [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	14500	754	496	1300	708	----- ^{c)}
Absolute Menge PFOA im Korn [μg]	286	12,3	27,6	30,8	2,17	359 ^{d),e)}
Absolute Menge PFOA im Stroh [μg]	1624	710	1055	988	123	4500 ^{f)}
Absolute Menge PFOS im Korn [μg]	26,2	0	0	0	1,86	28 ^{g),h)}
Absolute Menge PFOS im Stroh [μg]	11600	626	382	1053	623	14284 ⁱ⁾

^{a)} Summe der Kornerträge der Fruchtfolgen 2007 bis 2011, ^{b)} Summe der Stroherträge der Fruchtfolgen 2007 bis 2011, ^{c)} Eine Aufsummierung der Konzentrationen ist nicht sinnvoll, ^{d)} Summe der absoluten Menge von PFOA im Korn der Fruchtfolgen 2007 bis 2011, ^{e)} Wert gerundet (berechneter Wert 358,97 μg), ^{f)} Summe der absoluten Menge von PFOA im Stroh der Fruchtfolgen 2007 bis 2011, ^{g)} Summe der absoluten Menge von PFOS im Korn der Fruchtfolgen 2007 bis 2011, ^{h)} Wert gerundet (berechneter Wert 28,06 μg), ⁱ⁾ Summe der absoluten Menge von PFOS im Stroh der Fruchtfolgen 2007 bis 2011

Bilanzierungen vorgenommen werden, da der jeweilige Anteil der Verunreinigungen wegen Matrixeffekten nicht exakt bestimmt werden konnte. Wie bereits beschrieben wurden pro Kilogramm Lysimeterboden 0,025 g PFOA und PFOS dotiert. Dies entspricht bei einer Lysimeterfüllung von 1500 kg Boden für PFOA (Reinheit 96 %) einer Gesamtaufgabemenge von 360 g und für PFOS (Reinheit 98 %) einer Gesamtaufgabemenge von 367,5 g.

Aus Tabelle 4 wird ersichtlich, dass in den Jahren 2007 bis 2011 insgesamt (Σ Korn und Stroh) 4859 μg PFOA und 14312 μg PFOS aus dem Lysimeter in die Pflanzen verlagert wurden. Damit sind 0,00134 % des dotierten PFOA und 0,0039 % des dotierten PFOS durch carry over aus dem Lysimeter über den Aufwuchs entfernt worden.

3.4.2 Lysimetersickerwasserproben

In Tabelle 5 werden die PFOA- und PFOS-Konzentrationen, die Sickerwassermengen sowie die aus Konzentration und Sickerwasser berechneten Mengen, die aus dem Lysimeter mit dem Sickerwasser entfernt worden sind, beschrieben.

Aus Tabelle 5 ist ersichtlich, dass in den Jahren 2007 bis 2011 insgesamt 11 235 mg (=3,12 % der dotierten Gesamtmenge) PFOA und insgesamt 47,3 mg (=0,0129 % der dotierten Gesamtmenge) PFOS mit dem Sickerwasser aus dem Lysimeter über die Auswaschung aus der Bodensäule abgeführt wurden.

3.4.3 Gesamtbilanz und Schlussfolgerung

Von den dotierten 360 g PFOA und 367,5 g PFOS befinden sich nach Abzug der durch Aufwuchs (PFOA: 0,00134 %; PFOS 0,0039 %) und Sickerwasser (PFOA: 3,12 %; PFOS 0,0129 %) aus den Lysimetermonolithen entfernten Mengen noch die folgenden PFOA – und PFOS – Mengen nach fünf Jahren noch 96,88 % PFOA und 99,98 % PFOS in den Bodenmonolithen. Dabei bleibt unberücksichtigt, dass ggf. ein sehr geringer und vernachlässigbarer Anteil durch Winderosion ausgetragen wurde. Die vorgenommene Bilanzierung bestätigt, dass PFOA nach Niederschlagsereignissen deutlich schneller durch den Bodenhorizont in Richtung Grundwassers verlagert wird als PFOS. Dies wiederum kann bedeuten, dass je nach Pflanzenart und der damit verbunde-

Tab. 5 Berechnung der aus dem Lysimeter durch das Sickerwasser ausge-
tragenen Mengen PFOA und PFOS von 2007 bis 2011

Monat	PFOA [mg/L] ^{a)}	Wasser- menge [Liter] ^{b)}	Fracht eluiert [mg] ^{c)}	PFOS [mg/L] ^{a)}	Wasser- menge [Liter] ^{b)}	Fracht eluiert [mg] ^{c)}
Oktober 2007	1,21	4,1	5	0,003	4,1	0,011
November 2007	5,01	51,2	256	0,003	51,2	0,133
Dezember 2007	10,4	62,6	653	0,004	62,6	0,251
Januar 2008	20,4	46,5	947	0,008	46,5	0,391
Februar 2008	39,2	20,9	819	0,003	20,9	0,063
März 2008	58,3	40,3	2351	0,004	40,3	0,165
Januar 2010	45,3	17,5	792	0,139	17,5	2,43
Februar 2010	51,6	60,2	3103	0,255	60,2	15,3
März 2010	36,1	25,8	930	0,260	25,8	6,71
April 2010	35,4	8,58	303	0,285	8,58	2,44
Januar 2011	19,7	11,2	221	0,499	11,2	5,59
Februar 2011	34,0	19,9	676	0,545	19,9	10,8
März 2011	38,5	4,65	179	0,622	4,65	2,89
Summe			11235 ^{d)}			47,3 ^{e)}

^{a)}Die gemessenen Lysimeterwasserkonzentrationen werden aus Gründen der Übersicht (Größe der Zahlen) in [mg/L] angegeben, ^{b)}Absolut in der drain bottle aufgefangene Sickerwassermenge je Probenahme, ^{c)}Aus der gemessenen Konzentration und der Sickerwassermenge berechnete Frachten in [mg], die mit dem Wasser aus dem Lysimeter entfernt wurden, ^{d)}Gesamtmenge PFOA in [mg], die mit dem Wasser von 2007 aus dem Lysimeter entfernt wurde, ^{e)}Gesamtmenge PFOS in [mg], die mit dem Wasser von 2007 aus dem Lysimeter entfernt wurde

nen Durchwurzelung des Bodens PFOS länger pflanzenverfügbar ist als PFOA. Diese Hypothese kann jedoch nur durch fortlaufende Untersuchungen in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten bestätigt oder widerlegt werden. Der für den beschriebenen Zeitraum durchgeführte Lysimeterversuch ist nach den bislang vorliegenden Ergebnissen jedoch sehr gut geeignet, sowohl den carry over von PFT in verschiedene Pflanzen sowie Pflanzenkompartimente (Stroh und Korn) als auch die mögliche Verlagerung der Substanzen durch den Boden in das Sickerwasser parallel zu untersuchen und auf diesem Wege wissenschaftlich belastbare Resultate zu erhalten.

4. Literaturangaben

- Engels, H., Winckler, C., 2004: Mobility of tetracycline-hydrochloride in lysimeters with humous sandy soil. In: Program abstract of SETAC Euro 14th Annual Meeting, 18-22 April 2004.
- Gellrich, V., Stahl, T., Knepper, T., 2012: Behavior of perfluorinated compounds in soils during leaching experiments. *Chemosphere* 87, 1052-1056.
- Gellrich, V., Brunn, H., Stahl, T., 2013: Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in Mineral Water and Tap Water. *Journal of Environmental Science and Health* 48, 129-135.
- Kay, P., Blackwell, P.A., Boxall, A.B.A., 2005: A Lysimeter experiment to investigate the leaching of veterinary antibiotics through a clay soil and comparison with field data. *Environ. Pollut.* 134, 333-341.
- Kreuzig, R., Holtge, S., 2005: Investigations on the fate of sulfadiazine in manured soil: laboratory experiments and test plot studies. *Environ. Toxicol. Chem.* 24, 771-776.
- Lechner, M., Knapp, H., 2011: Carryover of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) from Soil to Plant and Distribution to the Different Plant Compartments Studied in Cultures of Carrots (*Daucus carota* ssp. *Sativus*), Potatoes (*Solanum tuberosum*), and Cucumbers (*Cucumis Sativus*). *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 59, 11011-18.
- Stahl, T., Ackmann, R., Georgii, S., Wohlfarth, R., Brunn, H., 2007: Perfluorierte Tenside – Verwendung, Vorkommen und Aufnahme mit Trinkwasser und Nahrung. *Ernährung – Wissenschaft und Praxis* 1, 27-35.
- Stahl, T., Gellrich, V., Brunn, H., 2012: PFC Contamination of Groundwater and Drinking Water. *Water and Waste, Special Edition*, May 2012, 18-20.
- Stahl, T., Heyn, J., Thiele, H., Hüther, J., Failing, K., Georgii, S., Brunn, H., 2009: Carryover of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) from Soil to Plants. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 57, 289-98.
- Stahl, T., Riebe, R.A., Falk, S., Failing, K., Brunn, H., 2013: A long-term lysimeter experiment to investigate the leaching of perfluoroalkyl substances (PFASs) and the carryover from soil to plants – Results of a pilot study. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 61, 1784-1793.

Qualitätssicherung Landbauliche Abfallverwertung (QLA): Rückblick auf 10 Jahre Qualitätssicherung in der Prozesskette und Vorschau auf neue Tätigkeitsfelder im Stoffstrommanagement von betriebsfremden organischen Düngemitteln

H. Schaaf¹, A. Heck², C. Hendrischke²

¹Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, Kassel, ²VDLUFA-QLA GmbH, Rheinbach

1. Historische Grundlagen der Forschung zur Landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung

Ende der 50er Jahre haben Mitgliedsinstitute des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) Feldversuche mit Klärschlamm angelegt, die in den 70er bis 90er Jahren mit Mitteln des Umweltbundesamtes (UBA) gefördert wurden. Die Diskussion war seiner Zeit darauf fokussiert, mit pflanzenbaulich sinnvollen Anwendungsstufen die Nährstoffwirkung im System Boden/Pflanze zu prüfen und durch extrem hohe Gaben im Zeitraffer Aspekte der Schadstoffakkumulation zu bewerten. Zu den Vertretern der ersten Gruppe gehörten die Professoren Hermann Kick (Univ. Bonn), Otto Siegel (LUFA Speyer) und Eduard von Boguslawski (Univ. Gießen), zur zweiten Gruppe Prof. Dieter Sauerbeck (Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft – FAL). Prof. Wolfgang Kampe (LUFA Speyer) hat zusätzlich anhand von Boden- und Pflanzenproben aus diesen Feldversuchen Fragen der Anreicherung von organischen Schadstoffen bearbeitet. Aus den deutschen Langzeitversuchen mit Klärschlamm wurden 1986 bis 1989 Böden in Gefäßversuche übernommen und dort das Aufnahmepotential von Schwermetallen geprüft. Als Koordinator dieser Gefäßversuche fungierte Prof. Wilfried Werner (Univ. Bonn).

2. Initiativen zur Vorbereitung einer Gütesicherung

1993 wurde von der Gütegemeinschaft für Bodenverbesserung das Papier „Landwirtschaftliche Verwertung von Rest- und Abfallstoffen – Einheitliches Verwertungssystem“ (Proppe und Kluge, 1993) formuliert. Darin wurde auf den

zunehmenden Verwertungsdruck für Rest- und Abfallstoffe hingewiesen. Die Landwirtschaft wurde aufgefordert, die Kreislaufwirtschaft aktiv zu gestalten. Proppe und Kluge beschrieben in ihrem Papier die Voraussetzungen an eine pflanzenbauliche Verwertung organischer Reststoffe. So sollte die stoffliche Unbedenklichkeit (Schadstoffaspekt) sichergestellt sowie ein Beitrag zur Förderung des Pflanzenwachstums durch Verbesserung der Nährstoffversorgung und/oder bodenphysikalischer, bodenbiologischer und bodenchemischer Eigenschaften (Wertstoffaspekt) der Böden geleistet werden.

Im Herbst 1994 übernahm der VDLUFA – Arbeitskreis (AK) „Rest- und Abfallstoffe“ der Fachgruppe X „Bodenfruchtbarkeit und Agrarökologie“ die Federführung für diese Arbeiten. Die Arbeiten mündeten in die Formulierung des 1. Standpunktes des VDLUFA mit dem Titel „Landbauliche Verwertung von geeigneten Abfällen als Sekundärrohstoffdünger, Bodenhilfsstoffe und Kultursubstrate“ (VDLUFA, 1996). Dieser Standpunkt war zudem das zentrale Papier des 108. VDLUFA-Kongresses in Trier 1996. Der Standpunkt verfolgte das Ziel, Grundsätze einer umweltverträglichen Verwertung zu definieren. Es wurden auch erste Eckpunkte einer Qualitätssicherung beschrieben.

3. Konzeptionelle Ansätze des VDLUFA

Als Reaktion auf die Agrar- und Umweltministerkonferenz 2001 veröffentlichte der VDLUFA ein Memorandum mit dem Titel „Nachhaltige Verwertung von Klärschlämmen, Komposten und Wirtschaftsdüngern in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion“ (VDLUFA, 2001). Dort forderte der VDLUFA eine objektive Abwägung aller Vorteilswirkungen von Sekundärrohstoffen mit den möglichen Risiken. In einer zusätzlichen Stellungnahme des VDLUFA zur Konzeption von BMVEL und BMU vom Juni 2002 über „Gute Qualität und sichere Erträge“ wurde das Prinzip „Gleiches zu Gleichem“ naturwissenschaftlich bewertet. Im Ergebnis konnte als Erfolg verbucht werden, dass die Einführung dieses Prinzips verhindert werden konnte.

Am 11. November 1998 verabredeten der VDLUFA und der Arbeitskreis für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen (ANS) die Gestaltung eines QS-Systems für Abfälle nach § 1 des Düngemittelgesetzes zur landbaulichen Verwertung, ihre Aufbereitung und Anwendung als Sekundärrohstoffdünger, Bodenhilfsstoffe und Kultursubstrate. Mit dem System wurde eine lückenlose Qualitätssicherung von den Ausgangsmaterialien über die Endprodukte bis hin zur landwirtschaftlichen

Verwertung angestrebt. Im ANS war die Initiative nicht mehrheitsfähig, so dass nur der VDLUFA gemeinschaftlich mit der Gütegemeinschaft Bodenverbesserung Träger des Qualitätssicherungssystems war. Das QS-System erhielt den Namen „Qualitätssicherung Landbauliche Abfallverwertung (QLA)“ und wurde 2000 in einer Pressemitteilung beworben. Das System gliederte sich bereits damals in drei Kategorien (Ausgangsstoffe, Endprodukte, Anwendungskonzeption).

Im Mai 2000 wurde zudem mit dem Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) ein Projekt mit dem Titel „Einführung einer Qualitätssicherung Landbauliche Abfallverwertung (QLA) für Abfallproduzenten und -behandler sowie landbauliche Abfallverwerter“ vereinbart. Das Projekt lief vom 01.11.2002 bis zum 31.10.2004. Federführend für das Vorhaben waren die LUFAen Augustenberg und Speyer. Projektziel war die Validierung des QS-Systems.

4. Kooperation von VDLUFA und DWA

Am 05. Juli 2002 loteten VDLUFA und ATV/DVWK (Rechtsnachfolger: DWA) Möglichkeiten einer Zusammenarbeit aus. Im Vergleich zur damals rechtsgültigen AbfKlärV (1992) wurden verschärfte Schadstoff-Richtwerte für das QLA-System vereinbart. Es wurden Festlegungen getroffen, welche organischen Schadstoffe im Qualitätssicherungssystem Berücksichtigung finden sollten. Fragen der Seuchenhygiene wurden ebenfalls mit einbezogen. Es wurde das System der Nährstoff-Schadstoff-Äquivalente (NEQ) erarbeitet. So wurden die Schwermetallrichtwerte nach QLA in der Relation von Nährstoffzufuhren und Schwermetalleinträgen ermittelt. Das NEQ-Konzept wird detailliert von Schaaf (2005) beschrieben. Am 13. November 2002 wurden von VDLUFA und ATV/DVWK die Eckpunkte der gemeinsam getragenen Gütesicherung zur landbaulichen Verwertung von Klärschlamm vorgestellt. Das System besteht seitdem aus drei Kategorien und wird nachfolgend beschrieben.

5. Das QLA-System

5.1 Grundsätze des QLA-Systems

Der Qualitätssicherung der QLA liegt die Verantwortung zugrunde, Ressourcen zu schonen und die Nachhaltigkeit zu erhöhen. Das umfasst insbesondere

die Anforderung, die enthaltenen Hauptnährstoffe auf möglichst kurzem Wege wiederzuverwenden. Dadurch werden nicht nur die Ressourcen der entsprechenden Nährstoffe geschont – neben den in den organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln enthaltenen Hauptnährstoffen sind auch andere wertgebende Stoffe enthalten, die ebenfalls von Nutzen sind. Hierbei sind die vor allem organische Substanz zur Humusbildung, Mikronährstoffe und basisch wirksame Substanz zu nennen. Diese Stoffe würden bei einer weiteren Aufarbeitung aus dem Kreislauf genommen. Daher ist es das Bestreben der QLA, dass die entstehenden Düngemittel und Bodenhilfsstoffe eine so hohe Qualität aufweisen, dass es bei einer fachgerechten Anwendung zu keinen negativen Beeinträchtigungen der landwirtschaftlichen Produktion und der Umwelt kommt. Die Qualitätssicherung bedeutet zudem nicht nur das Sichern einer bestehenden Qualität, sondern auch das weitere Verbessern – um langfristig die Grundlage zur direkten Verwertung zu schaffen. Mit diesem Vorgehen werden ökologische und ökonomische Vorteile geschaffen (Abb. 1).

Ökologische Bewertung	Pflanzenbauliche Bewertung
Gefahren	Nutzen
<ul style="list-style-type: none"> - Schadstoffe - Nährstoffe (Überschuss) - Hygiene / Phytohygiene - Fremdstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> - Nährstoffe - organische Substanz - Erosionsschutz - Bodenverbesserung
Qualitätssicherung der landwirtschaftlichen Abfallverwertung	
Kontrolle	
<u>Analysen</u>	<u>Nachweisverfahren</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Abfälle - Böden 	<ul style="list-style-type: none"> - Lieferschein - Flächenkataster

Abb. 1: System einer einheitlichen und ganzheitlichen Verwertung

Die Grundhaltung ist ganz deutlich: qualitativ hochwertige organische und organisch-mineralische Düngemittel sollen direkt verwertet werden, „mindere Qualitäten“ sollen einer Aufbereitung zugeführt werden.

Die Anforderungen der QLA werden in speziellen Qualitäts- und Prüfbestimmungen festgelegt. Das Vorgehen bei der Qualitätssicherung gliedert sich in drei Stufen bzw. Kategorien, die hier der besseren Verständlichkeit halber am Beispiel des Klärschlammes dargestellt werden:

- Kategorie I (Ausgangsstoffe)

Im Rahmen des integrativen Ansatzes der Qualitätssicherung fällt dieser Kategorie eine zentrale Rolle zu. Schadstoffe, die dem Abwasserstrom gar nicht erst zugeführt werden, müssen auf der Kläranlage auch nicht entfernt werden. Die Kategorie Ausgangsstoffe umfasst daher nicht nur die Indirekteinleiterkontrolle, sondern auch die Überprüfung von Direktanlieferungen auf der Anlage oder die sorgfältige Auswahl von Abwasserbehandlungskemikalien. Für die Umsetzung dieser Anforderungen ist ein Qualitätssicherungsbeauftragter (QSB) verantwortlich, der seitens des Betreibers benannt wird. Die Einhaltung der Anforderungen in der Kategorie I wird durch unabhängige Sachverständige in regelmäßigen Betriebsprüfungen kontrolliert.

- Kategorie II (Endprodukte)

Hier wird die Qualität des Klärschlammes über Laboruntersuchungen nachgewiesen. Neben der Einhaltung der QLA - spezifischen Schadstoffgrenzwerte (organische Schadstoffe und Schwermetalle) werden die Gleichförmigkeit der Nährstoffe und der hygienische Status beurteilt. Auf der Grundlage der Analysen werden die abfallrechtliche Eignung für die Verwendung in der Landwirtschaft kontrolliert und die düngemittelrechtlichen Deklarationen erstellt.

- Kategorie III (Anwendungskonzeption)

In der Kategorie Anwendungskonzeption der Qualitätssicherung werden Anforderungen an die Anwendung von Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzten Flächen gestellt. Das dient nicht nur dem Umwelt-, Boden- und Gewässerschutz, sondern trägt auch entscheidend zur Akzeptanz Dritter bei. Natürlich ist die Anwendung nach „guter fachlicher Praxis“ gefordert; einige Themenbereiche sind jedoch auch weiter konkretisiert. So sind die Durchführung einer Dünge- und Vorsorgeberatung vorgeschrieben, bodenschonende Techniken benannt und Maßnahmen zur Erhöhung des Emissionsschutzes beschrieben. Für die Umsetzung der Anwendungskonzeption ist ein Qualitätsbeauftragter Verwertung (QBV) zu benennen. Die Einhaltung der Anforderungen überprüft ebenfalls ein unabhängiger Sachverständiger. Mit dem Anforderungskatalog der Kategorie III ist es beim Klärschlamm bereits jetzt möglich, ein Stoffstrommanagement der qualitätsgesicherten Klärschlämme durchzuführen.

5.2 Stand der Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung der QLA im Bereich Klärschlamm wird seit über 10 Jahren erfolgreich durchgeführt. In Abbildung 2 werden die Klärschlammengen, die zwischen 2004 und 2012 unter dem QLA-Qualitätszeichen in der Landwirtschaft verwertet werden, beschrieben.

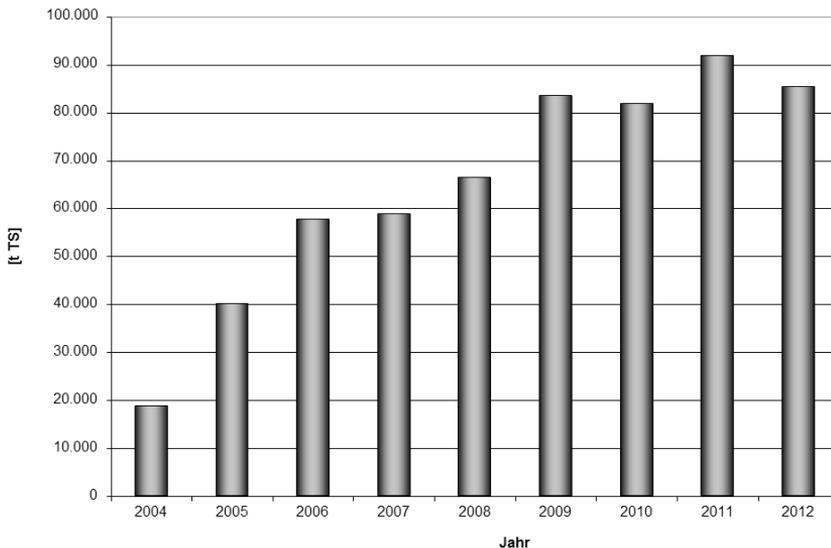


Abb. 2: Zertifizierte Klärschlamm-Menge. Stand 2004 bis 2012

Von 2003 bis 2009 ist die qualitätsgesicherte Klärschlammmenge stetig gestiegen. Seit 2010 zeigt sich eine gewisse „Stagnation“ bei etwa 16 % der in Deutschland landwirtschaftlich verwerteten Klärschlämme. Die Stagnation ab dem Jahre 2010 hat neben einer „Marktsättigung“ weitere wichtige Gründe. Ganz entscheidend ist dabei die fehlende Planungssicherheit wegen Unsicherheiten bezüglich der gesetzlichen Regelungen. Die Situation entsteht unter anderem durch einige Vorgaben aus der Düngemittelverordnung (DüMV, 2012), deren Umsetzbarkeit unter Berücksichtigung der verbindlichen Übergangsfristen nicht absehbar ist. Im Fall der Hygiene hängt sie darüber hinaus ganz entscheidend von einer Novellierung der Klärschlammverordnung (Abf-KlärV) ab. Insgesamt ist die Situation nicht zufriedenstellend. Es ist daher verständlich, dass Kläranlagenbetreiber die Zukunft der landwirtschaftlichen Verwertung in Frage stellen und den Aufwand für eine Qualitätssicherung scheuen.

Sowohl für den ökonomischen Erfolg von QLA als auch für ihre gesellschaftliche Anerkennung ist es deshalb zwingend, dass wir unser Angebot um weitere Zertifizierungsbereiche erweitern. Neben der Qualitätssicherung für Klärschlämme bietet die QLA zum jetzigen Zeitpunkt auch Qualitätssicherungen für Gärprodukte, Pilzkultursubstrate, Komposte sowie einige andere Abfallstoffe zur landwirtschaftlichen Verwertung an. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Tonnagen der 2012 qualitätsgesicherten Abfälle.

Tab. 1: Durch die Qualitätssicherung Landbauliche Abfallverwertung (QLA) zertifizierten Abfallmengen. Angaben gerundet in t Trockenmasse pro Jahr

Klärschlämme	KS	86 000
Gärreste	GÄ	41 000
Komposte	KO	17 000
Pilzkultursubstrate	Champost	40 000

6. Zentrale Aufgabenstellungen

Bei der Definition und Ausgestaltung allgemeiner sowie spezieller Qualitäts- und Prüfbestimmungen ist zu berücksichtigen, dass die in Gesetzen und Rechtsverordnungen definierten Grundsätze Basisanforderungen einer jeden Güte- und Qualitätssicherung darstellen. Die QLA versteht ganz im Sinne moderner Umweltmanagementsysteme (DIN ISO 14000er Reihe), dass Qualitätssicherung zum einen über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinausgehen und zum anderen das Ziel verfolgen muss, den einmal erreichten Qualitätsstandard auch kontinuierlich zu verbessern.

6.1 Abfall- und düngemittelrechtliche Regelungen

Im Kreislaufwirtschaftsgesetz vom 01.06.2012 ist die Verwertungshierarchie für Abfälle verbindlich geregelt. Das Düngemittelrecht hat dergestalt Vorrang, dass düngemittelrechtliche Regelungen immer vor den abfallrechtlichen Regelungen gelten. In der neuen DüMV (2012) sind verschiedene Vorgaben aufgeführt, die mit unterschiedlichen Übergangsfristen wirksam werden und die darüber hinaus einen entscheidenden Einfluss auf eine landwirtschaftliche Verwertung (insbesondere von Klärschlamm) haben. Das stellt jeden Betreiber, der in die

Landwirtschaft verbringt, damit aber auch die QLA, vor teilweise große Anforderungen, von denen die wichtigsten im Folgenden genannt werden:

Die Schwermetall-Grenzwerte der DüMV werden ab dem 01.01.2015 umfassend gelten. Mit den Vorgaben der DüMV werden eine Reihe von Klärschlämmen (nach unserer Kalkulation $\pm 20\%$) nicht mehr in der Landwirtschaft verwertet werden können, was vornehmlich an den strengen Grenzwerten für Cadmium (dann: 1,5 mg/kg TM) und Quecksilber (dann: 1,0 mg/kg TM) liegt.

Ab dem 01.01.2014 gilt: die „Einleitung von Stoffen aus Verarbeitungsbetrieben tierischer Nebenprodukte und von Schlachtabwässern aus Schlachthöfen nach Artikel 8, 9 oder 10 der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 nur dann, wenn ein Feststoffrückhaltesystem mit einer maximalen Maschenweite von 2 mm genutzt wird.“ Diese Vorgabe stellt eine ausgesprochen ambitionierte Herausforderung dar. Zum einen entscheiden die Veterinärbehörden, wer dieser Regelung unterliegt. Hier gibt es aber keine einheitliche Vorgehensweise, da es bezüglich des Vollzugs zwischen den einzelnen Kreisbehörden unterschiedliche Auffassungen gibt. Die Kläranlagenbetreiber können die Anforderung bei den Schlachthöfen nicht ohne weiteres umsetzen. Zudem haben die für die Umsetzung bzw. die Kontrolle der Vorgaben der DüMV nach Landesrecht zuständigen Institutionen keine Ermächtigung, die entsprechenden Betriebe zu kontrollieren. Fachlich bleibt festzuhalten, dass die technische Umsetzbarkeit für kleinere Betriebe in Frage steht. Wird diese Vorgabe jedoch scharf umgesetzt, werden über 90 % der Klärschlamme nicht mehr in der Landwirtschaft verwertet werden können. In der EU ist bereits ein Feststoffrückhaltesystem mit einer maximalen Maschenweite von 6 mm vorgeschrieben. Damit ist ein Mindeststandard für Europa definiert und umgesetzt, der auch praktikabel erscheint.

Die Düngemittelverordnung verlangt zudem ab dem 01.01.2017, dass synthetische Polymere zur Schlammbehandlung nur noch insofern eingesetzt werden dürfen, als sämtliche Bestandteile und das Endprodukt sich zu mindestens 20 % innerhalb von zwei Jahren abbauen. Die Umsetzung dieser Vorgaben würde nach dem heutigen Kenntnisstand rund 80 % der Klärschlämme betreffen und somit zu einer weitreichenden Einstellung der Verwertung führen. Der Einsatz von Polymeren hat sich in weiten Teilen der landwirtschaftlichen Produktion etabliert. Werden die Polymere als Hüllsubstanz für Düngemittel verwendet, ist ihre Verwendung auch weiterhin zulässig. Im Sinne einer rechtlichen Gleichbehandlung ist der Ausschluss von „Klärschlamm-Polymeren“ fachlich nicht zu rechtfertigen.

Zudem stehen über die rechtliche Regelungen der DüMV hinaus mit der Novelle der AbfKlärV weitere Änderungen an. Mit dem Wirksamwerden der Novelle (nach einer mündlichen Mitteilung des BMU voraussichtlich ab dem 01.01.2015) sollen weitergehende Anforderungen an die Seuchen- und Phytohygiene festgelegt werden – aber auch eine Qualitätssicherung als ein anerkanntes Werkzeug benannt werden. Wenn eine zukünftige Klärschlammverordnung die Salmonellenfreiheit in Verbindung mit einer weitergehenden Behandlung (Hygienisierung) fordert, würde dies die weitere landwirtschaftliche Verwertung derart verteuern, dass sie nicht mehr wirtschaftlich wäre. Die Kosten einer weitergehenden Behandlung werden vom KTBL mit mind. 100 €/t TM (UBA, 2009) angegeben, was etwa 25-30 €/t Filterkuchen entspricht. Das kann dazu führen, dass die meisten Kläranlagenbetreiber den Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Verwertung wählen. Die Auswirkungen wären gravierend, da nur etwa 10 % der derzeit in der Landwirtschaft verwerteten Klärschlämme die strengen Vorgaben einer generellen Hygienisierungspflicht einhalten könnten (UBA, 2012). Ergänzend sei an den Beitrag von Philipp anlässlich des VDLUFA-Kongresses in Berlin (Philipp et al, 2013) verwiesen, dass nicht nur in einer Vielzahl teilhygienisierter Klärschlämme der qualitative Nachweis von Salmonellen gelingt, sondern auch in rund 10 % der Schweine- und Rindergüllen Salmonellen festgestellt werden können. Zudem werden in Misten aus der Geflügelproduktion in einem wesentlich höheren Anteil Salmonellen nachgewiesen. Auch hier stellt sich dann die Frage nach einer Gleichbehandlung betriebsfremder organischer Düngemittel.

Im Zuge der Novellierung der AbfKlärV wird allerdings eine Qualitätssicherung als Alternative zur umfassenden Hygienisierung diskutiert.

6.2 Rahmenbedingungen der Landwirtschaftlichen Verwertung

Klärschlamm steht in Konkurrenz mit anderen betriebsfremden organischen Düngemitteln. In diesem Zusammenhang muss vorab die Prämisse gelten, dass betriebseigene organische Düngemittel vorrangig in den Betrieben verwertet werden, in denen sie anfallen. Ergibt die Bilanzierung im Nährstoffhaushalt (Hof- und Schlagbilanz) einen weiteren Nährstoffbedarf, kann dieser auch mit betriebsfremden organischen Düngemitteln ausgeglichen werden. Hier stehen Klärschlämme und Bioabfälle (Komposte und Gärreste) in Konkurrenz zu allen anderen organischen Düngemitteln (deutsche und niederländische Überschussgüllen, Überschussmiste und Hühnertrockenkote aus der flächenungebundenen Fleischproduktion, NawaRo-Gärrückstände).

Konkrete Konkurrenzsituationen ergeben sich deshalb vor allem in solchen Regionen, in denen der Anfall organischer Düngemittel aus der Viehhaltung besonders hoch ist und dort, wo sonstige Wirtschaftsdünger, z. B. überschüssige Gärrückstände, in Verkehr gebracht werden. Hohe Viehbesatzdichten, Importe von Wirtschaftsdüngern aus den Niederlanden, ein hoher Besatz an Biogasanlagen und einem dementsprechend hohen Anfall an Gärrückständen werden zu gesetzlichen Restriktionen in der Düngung führen. Hieraus ergeben sich die im Folgenden genannten künftigen Anforderungen aus der Düngeverordnung (DÜV)

6.3 Anforderungen aus der Düngeverordnung (DüV)

Als wesentlicher Unterschied bezieht sich die Begrenzung der jährlich tolerablen Stickstofflieferung von 170 kgN/ha aus organischer Düngung bislang nur auf den Wirtschaftsdüngeranteil. So wird bislang bei Gärrückständen die Anwendungsobergrenze im Pflanzenbau nur auf die N-Menge aus dem Wirtschaftsdüngeranteil bezogen. Dies ist fachlich nicht vertretbar, so dass mit Recht künftig geplant ist, auch bei Gärrückständen die N-Zufuhr auf die Gesamtmenge zu berechnen. Zusätzlich wird bislang und auch zukünftig die im Herbst zulässige N-Lieferung auf 40 kg NH₄-N bzw. auf 80 kg Gesamt-N begrenzt. Schließlich bleiben die im Nährstoffvergleich festgestellten tolerablen Bilanzüberhänge von 60 kg N/ha im dreijährigen und 20 kg P₂O₅/ha im sechsjährigen Mittel bestehen (Schaaf et al, 2013).

Ein Hauptkritikpunkt in der Diskussion um die Novellierung der Düngeverordnung durch die EU-Kommission bestand jedoch darin, dass in der derzeit gültigen Fassung die Überschreitung der Bilanzmittelwerte (60 kg N/ha und 20 kg P₂O₅/ha) nur die Konsequenz der Beratungsnotwendigkeit nach sich zieht. Wird den Belangen der EU-Kommission und der Umweltverbände Rechnung getragen, wird die Überschreitung der Salden zwangsläufig eine Ordnungswidrigkeit nach sich ziehen (s. Tab. 2).

Die zusätzliche Vorgabe, dass Düngemittel mit einem wesentlichen Gehalt an verfügbarem Stickstoff (> 10 %) nach der Ernte der Hauptfrucht im Herbst

- nach Mais, Raps, Kartoffeln, Zuckerrüben, Feldgemüse und Leguminosen und
- zur Förderung der Strohrotte

nicht mehr ausgebracht werden dürfen, schränkt die Verwertung im Herbst wesentlich ein. Dazu passt auch die Aussage der Landwirtschaftskammer Nie-

dersachsen, dass die Verwertung von Klärschlämmen seit der Ernte Mitte 2013 in Niedersachsen um teilweise 60 % zurückgegangen ist.

Fest steht, dass

- der ordnungsgemäßen Verwertung des wirtschaftseigenen Düngemittels konsequent Vorrang eingeräumt werden wird,
- betriebsfremde organische Dünger wie z. B. Flüssigschlamm oder polymer-konditionierter Klärschlamm im Herbst nur noch sehr eingeschränkt ausgebracht werden kann,
- eine vermehrte Zwischenlagerung von Gärrückständen und Klärschlämmen erfolgen muss, um ihre Ausbringung im Frühjahr realisieren zu können,
- die Flächenverfügbarkeit für organische Düngemittel mit der universell geltenden maximalen N-Fracht von 170 kg/ha/a für alle organischen Dünger sinken wird.

Tab. 2: Die gesetzlichen Grundlagen der Düngeverordnung (DüV)

Gesetzliche Grundlagen		
Dünge- verordnung:	bisher:	künftig geplant:
§ 4 (Abs. 3) 170 kg N/ha	aus org. Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft	aus org. Düngern insgesamt (tierischer und pflanzlicher Herkunft)
§ 4 (Abs. 6)	40 kg NH ₄ -N 80 kg Ges.-N	40 kg NH ₄ -N 80 kg Ges.-N
§ 6 (Abs. 1)	60 kg/ha N 20 kg/ha P ₂ O ₅	60 kg/ha N 20 kg/ha P ₂ O ₅

7. Neue Anforderungen an QLA

Aus den Vorgaben der DüV resultieren neben der umfassenden Düngeplanung auch die Notwendigkeit der Erfassung und Dokumentation der in Verkehr gebrachten Wirtschaftsdünger und die Etablierung eines umfassenden Stoffstrommanagements.

Besonderes Augenmerk liegt unserer Meinung nach auf den überwiegend deutschen und niederländischen Überschussmistern und Überschussgüllen aus der

nicht flächengebundenen Fleischproduktion. Diese dürfen fachlich folgerichtig nicht zu den Wirtschaftsdüngern zählen und sollten auf diesem Wege gegenüber den Bioabfällen bezüglich der Untersuchungspflichten und den behördlichen Auflagen gleichgestellt werden. Als betriebsfremde organische Düngemittel sollten sie aus unserer Sicht fachlich vollständig den Anforderungen des Inverkehrbringens aus der Düngemittelverordnung unterliegen (DüMV, 2012). Die Begrenzung der Untersuchungs- und Kontrollpflichten aus der Wirtschaftsdüngerverbringungsverordnung (2010) auf Stickstoff und Phosphor greift zu kurz. Zum Stoffstrommanagement gehört auch mindestens die Dokumentation der Verwertung wie sie in der Bioabfallverordnung (2013) festgelegt ist.

Im Sinne einer nachhaltigen Pflanzenproduktion ist für nicht flächengebundene organische Düngemittel die Zertifizierung eines nachhaltigen Stoffstrommanagements mit dem Ziel der Einhaltung der rechtlichen Vorgaben aus der Dünge- und der Düngemittelverordnung sowie der Wasserrahmenrichtlinie zu etablieren.

In Zukunft werden auch Aschen aus der Monoverbrennung von Klärschlämmen, aus der Niedertemperaturkonvertierung, aus der Nutzholzverbrennung und ähnliche Produkte (z. B. Terra preta) vor dem Hintergrund des Phosphorrecyclings berücksichtigt werden müssen. In diesem Zusammenhang müssen jedoch die Anreicherung anorganischer Schadstoffe in den Aschen sowie die P-Verfügbarkeit intensiv diskutiert werden. Es kann nicht sein, dass zuerst die thermischen Verwertung propagiert und quantitativ umgesetzt wird und erst danach die Wissenschaft um Lösungsansätze gebeten wird. Es besteht dann die Gefahr, dass Lösungsansätze mit heißer Nadel gestrickt werden.

Vor dem Hintergrund der komplexen Umweltrisiken und der hieraus resultierenden umfänglichen Anforderungen an die Träger einer regelmäßigen Qualitätssicherung bleibt es zudem unverständlich, wieso ein funktionierendes System wie die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung über den Weg fachlich nicht nachvollziehbarer gesetzlicher Auflagen nach und nach praktisch unmöglich gemacht wird. Die direkte landwirtschaftliche Verwertung guter qualitätsgesicherter Klärschlämme muss auch weiterhin möglich sein.

8. Literaturangaben

- AbfKlärV, 1992: Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 15. April 1992. BGBl. I, 912-914.
- BioAbfV, 2013: Bioabfallverordnung (BioAbfV) vom 4. April 2013. BGBl. I, 658.
- DüMV, 2012: Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung – DüMV) vom 5. Dezember 2012, BGBl. I, 2482.
- DüV, 2007: Düngeverordnung vom 27. Februar 2007, BGBl. I, 221.
- Kluge, R., Propfe, H., 1993: Landwirtschaftliche Verwertung von Rest- und Abfallstoffen – Einheitliches Verwertungssystem. Gütegemeinschaft Bodenverbesserung.
- UBA, 2009: Anforderungen an die Novellierung der Klärschlammverordnung unter besonderer Berücksichtigung von Hygieneparametern. Projektbearbeiter KTBL. UBA-FB001246.
- Philipp, W., Haumacher, R., Hölzle, L.E., 2013: Hygienierisiken organischer Düngemittel bei deren landwirtschaftlicher Verwertung. VDLUFA-Schriftenreihe 69 (im Druck), Kongressband 2013 Berlin, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Schaaf, H., 2005: Düngemittel und Bodenhilfsstoffe. II-1.2.3 Litz-Wilcke-Wilke (Hg.) Bodengefährdende Stoffe-1.Erg. Lfg. 2/2005, 1-13.
- Schaaf, H., Koch, D., Heyn, J., Georgii, J., 2013: Optimierung des Aufnahmepotentials betriebsfremder organischer Düngemittel (Geflügelmiste, Gärreste) für landwirtschaftliche Betriebe unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Belange. VDLUFA-Schriftenreihe 69 (im Druck), Kongressband 2013 Berlin, VDLUFA-Verlag, Dortmund.
- UBA, 2012: Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdüngern vom 21.07.2010, BGBl. I, 1062.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), 1996: Standpunkt des VDLUFA zur landbaulichen Verwertung von geeigneten Abfällen als Sekundärrohstoffdünger, Bodenhilfsstoffe und Kultursubstrate. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 44, 13-21, Kongressband 1996 Trier, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), 2001: Nachhaltige Verwertung von Klärschlämmen, Komposte und Wirtschaftsdüngern in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. Dezember 2001. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), 2002: Stellungnahme des VDLUFA zur Konzeption des BMVEL und BMU: Gute Qualität und sichere Erträge. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Wirkung verschiedener Biokohlen auf die Biomasseentwicklung und Reproduktionsrate von Regenwürmern (*Lumbricus terrestris*)

A. Schmidtmann, C. Engels

Fachgebiet Pflanzenernährung und Düngung, Humboldt-Universität zu Berlin

1. Einleitung

In den letzten Jahren wurde in zahlreichen Publikationen die Applikation von Biokohle, d. h. pyrolysiertes Biomasse, auf landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzte Böden als eine Möglichkeit angesehen, Kohlenstoff im Boden zu sequestrieren und die Bodenfruchtbarkeit zu erhöhen (siehe Übersichtsartikel von Verheijen et al., 2010). Eine wesentliche Komponente der Bodenfruchtbarkeit ist eine hohe biologische Aktivität im Boden. Es gibt bereits viele Arbeiten zur Wirkung von Biokohle auf Bodenlebewesen, aber die mechanistische Wirkungsweise von Biokohle bzw. spezifischen chemischen und physikalischen Biokohleeigenschaften auf die Bodenflora und -fauna wird noch wenig verstanden (Lehmann et al., 2011).

Regenwürmer tragen zum Abbau von organischem Material im Boden und zur Nährstoffmineralisierung bei und verbessern die Bodenstruktur (Blouin et al., 2013). Sie haben daher eine wichtige Funktion für die Bodenfruchtbarkeit. Regenwürmer werden als geeignete Indikatoren für die Bodengesundheit angesehen (Paoletti et al., 1998). Nach OECD-Richtlinien wird für Biotests mit Regenwürmern die Art *Eisenia fetida* eingesetzt (OECD, 1984). Daher liegen einige Arbeiten zum Einfluss von Biokohle auf diese Art vor, wobei sowohl positive als auch negative Wirkungen gefunden wurden (Weyers und Spokas, 2011). *Eisenia fetida* ist eine Regenwurmart, die bevorzugt Komposthaufen besiedelt und in Ackerböden nicht vorkommt. In der vorliegenden Studie wurde der Einfluss von drei verschiedenen Biokohlen auf Vitalitätsparameter von *Lumbricus terrestris* untersucht. Diese anektische Art kommt häufig in Ackerböden Nord- und Zentraleuropas vor (Dinter et al., 2013) und wird als wichtiger Ingenieur für die Ökosystemleistungen und die Bodenfruchtbarkeit angesehen (Blouin et al., 2013).

Es gibt zwar Hinweise dafür, dass einzelne Komponenten bestimmter Biokohlen schon kurzfristig von Mikroorganismen mineralisiert werden können, man kann

jedoch generell davon ausgehen, dass Biokohle im Vergleich zu dem zur Biokohleherstellung verwendeten Ausgangsmaterial eine schlechte Quelle für die Ernährung von heterotrophen Bodenorganismen darstellt (Ameloot et al., 2013). In der vorliegenden Studie wurden die Regenwürmer *ad libitum* gefüttert, um von der Ernährung unabhängige direkte Wirkungen von Biokohlen zu untersuchen.

2. Material und Methoden

Um die Wirkung von Biokohle auf Regenwürmer zu messen, wurde ein 30-Tage Toxizitätstest durchgeführt. Die Regenwürmer (*Lumbricus terrestris*) wurden über die Firma „Lombrico Wurmhandel“ auf postalischem Weg bezogen. Sie wurden zunächst in 6 °C kaltem Eiswasser rehydriert und anschließend für eine Eingewöhnungsphase sieben Tage in den für die Inkubationsversuche verwendeten Ackerboden gesetzt (Abb. 1). In dieser Zeit erfolgte eine *ad libitum*-Fütterung mit einem Gemisch aus Wicke und Schafskot (fein gemahlen, Gewichtsverhältnis 2,5:1). Danach wurden die Würmer gewogen (Ausgangsgewicht) und in die Inkubationsgefäße (unten geschlossene Plastikröhren mit einem Durchmesser von 10,5 cm) eingesetzt. Die Gefäße waren mit 1,6 kg Boden (Bodendichte 1,3 g cm⁻³) gefüllt, dem zuvor drei unterschiedliche Mengen an verschiedenen Biokohlen zugesetzt worden waren: 0, 13 oder 0,51 oder 2,56 Gewichtsprozent. Bei der Annahme einer gleichmäßigen Einarbeitung in die obersten 30 cm der Bodenkrume (Bodendichte 1,3 g cm⁻³ Boden) entspricht dies Biokohlegaben in Höhe von etwa 5, 20 oder 100 t ha⁻¹. Die drei getesteten Biokohlen unterschieden sich u. a. im Ausgangsmaterial und in der Nutzung nach der Herstellung der Biokohlen: Eine so genannte Grünschnittkohle (GK) war aus Grünschnitt hergestellt worden. Eine so genannte Holzkohle (HK) war aus Stammholz hergestellt worden. Eine so genannte Filterkohle (FK) war ebenso wie HK aus Stammholz hergestellt und danach als Filtermaterial zur Abluftreinigung von Biogasanlagen verwendet worden. Die FK war durch hohe Schwefelgehalte (30 Gewichtsprozent) gekennzeichnet.

Während des 30-tägigen Versuchs wurden die Inkubationsgefäße bei 15 °C, 65 % relativer Luftfeuchte und Dunkelheit aufbewahrt. Biokohle kann ein hohes Wasserbindungsvermögen besitzen und kann das Verhalten von Regenwürmern durch Trockenstress negativ beeinflussen (Li et al., 2011). Um solche Bodenfeuchtwirkungen auszuschließen, wurde der Boden nach Zugabe der Biokohle auf Feldkapazität bewässert. Die Gefäße wurden alle 2-3

Tage bewässert, um die Bodenfeuchte konstant zu halten. Die Futterzufuhr mit dem Schafkot-Wicke-Gemisch erfolgte nach Bedarf, d. h. immer dann, wenn ein Großteil des auf die Bodenoberfläche aufgebrachten Futters verbraucht war.

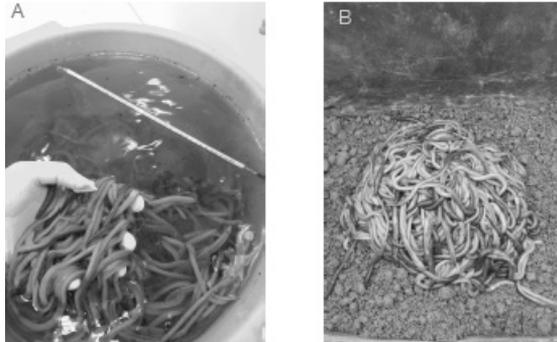


Abb. 1: A) Rehydrierung der Regenwürmer nach der Anlieferung B) Einwöchige Eingewöhnung der Würmer an den Boden und das Futter

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Wirkungen der verschiedenen Biokohlen auf die Regenwürmer unterschieden sich deutlich und waren abhängig von der Höhe der Biokohlegabe. Bereits während des 4-wöchigen Fütterungsversuchs waren anhand der Regenwurmlosung und der auf der Bodenoberfläche verbleibenden Futterreste deutliche Unterschiede zwischen den Behandlungen in der Regenwurmaktivität festzustellen (Abb.2).



Abb.2: Linke Abbildung) hohe Regenwurmaktivität in der Kontrolle ohne Biokohlezusatz; Regenwurmlosung auf der Oberfläche, alles Futter wurde aufgenommen. Rechte Abbildung) geringe Regenwurmaktivität bei Zusatz von GK; wenig Futteraufnahme und Regenwurmlosung auf der Oberfläche, tote Regenwürmer auf der Oberfläche

In den Kontrollgefäßen ohne Biokohlezusatz überlebten alle zu Versuchsbeginn eingesetzten Regenwürmer. Pro Regenwurm wurden zu Versuchsende 1,6 Kokons gefunden. Die durchschnittliche Gewichtszunahme pro Regenwurm lag bei 1,8 g bzw. 39 % des Ausgangsgewichtes (Tab. 1).

Tab. 1: Einfluss unterschiedlich hoher Gaben (Gew. %) an drei Biokohlen (GK, HK, FK) auf die Überlebensrate, die Anzahl Kokons pro überlebendem Wurm und die Gewichtsveränderung der überlebenden Würmer (in % des Anfangsgewichtes); Mittelwerte \pm Standardabweichung, n=4

Behandlung	Überlebensrate	Kokons/Wurm	Gewichtszunahme
	(%)		(%)
Kontrolle	100	1,6	+39 \pm 8,5
GK0,13%	72 \pm 24	0,2	-13 \pm 9,8
0,51%	0	-	-
2,56%	0	-	-
HK0,13%	96 \pm 8	1,3	+12 \pm 10,0
0,51%	84 \pm 32	0,1	-25 \pm 8,0
2,56%	8 \pm 16	-	-
FK0,13%	100	1,5	+25 \pm 9,1
0,51%	88 \pm 16	0,6	+25 \pm 8,8
2,56%	96 \pm 8	0,1	-14 \pm 8,6

Die aus Grünschnitt hergestellte Biokohle (GK) führte schon bei der geringsten Gabe (0,13 Gew.%) zu einer deutlichen Abnahme der Überlebensrate auf 72 %. Pro überlebenden Regenwurm wurden nur noch 0,2 Kokons gefunden. Die überlebenden Regenwürmer hatten im Durchschnitt 13 % ihres Ausgangsgewichtes verloren. Bei den beiden höheren Gaben an GK überlebte kein Regenwurm die 30-tägige Versuchsdauer (Tab. 1). Eine mögliche Ursache für die ungünstige Wirkung von GK auf die Regenwürmer liegt in dem hohen Salzgehalt, der sich im Boden einstellte (Tab. 2). Bei den beiden höheren Gaben wurde der für Regenwürmer kritische Bereich erreicht, der bei EC-Werten oberhalb von 500 μ S/cm beginnt (Owojori et al., 2009).

Tab. 2: Einfluss unterschiedlich hoher Gaben (Gew. %) an drei Biokohlen (GK, HK, FK) auf den Bodensalzgehalt (EC-Wert) und den Boden-pH-Wert; Mittelwerte \pm Standardabweichung, n=4

Behandlung	EC-Wert ($\mu\text{S/cm}$)	pH-Wert
Kontrolle	221 \pm 33	6,3 \pm 0,2
GK0,13 %	418 \pm 14	6,0 \pm 0,1
0,51 %	625 \pm 51	6,6 \pm 0,1
2,56 %	1536 \pm 223	6,1 \pm 0,2
HK0,13 %	234 \pm 31	6,4 \pm 0,2
0,51 %	266 \pm 36	6,7 \pm 0,1
2,56 %	481 \pm 50	8,2 \pm 0,2
FK0,13 %	283 \pm 16	6,0 \pm 0,2
0,51 %	410 \pm 54	6,0 \pm 0,2
2,56 %	773 \pm 56	5,9 \pm 0,1

Die beiden anderen getesteten Biokohlen (HK und FK) waren für die Regenwürmer besser verträglich. Zumindest bei der geringsten Dosierung von 0,13 Gew.% waren die Überlebensrate und die Anzahl der Kokons pro Regenwurm noch nicht beeinträchtigt (Tab. 1). Allerdings war die Gewichtszunahme der Regenwürmer bei Zugabe von frischer Holzkohle (HK) mit 12 % des Ausgangsgewichtes bereits deutlich geringer als bei der Kontrolle (39 %). Höhere Gaben an diesen beiden Biokohlen führten aber zu einer starken Beeinträchtigung der Regenwurmmaktivität, wobei die Überlebensrate, die Anzahl der Kokons pro Wurm und die Gewichtszunahme durch HK stärker verringert wurde als durch FK. Die extrem toxische Wirkung der höchsten HK-Gabe (2,56 Gew.%), war mit einer Erhöhung des Boden-pH-Wertes auf 8,2 verbunden (Tab. 2) und damit auf Werte die für Regenwürmer kritisch sind (Beylich und Graefe, 2007). Die deutlich negative Wirkung der höchsten FK-Gabe, die zu einer geringen Kokonproduktion und einem Gewichtsverlust der Würmer führte (Tab. 1) war mit einer Erhöhung des EC-Wertes im Boden auf deutlich über 500 $\mu\text{S/cm}$ verbunden (Tab. 2).

4. Schlussfolgerungen

Biokohlezugabe kann je nach Ausgangsmaterial bereits bei geringen Gaben (5 t ha^{-1}) die Leistungsfähigkeit von *L. terrestris* beeinträchtigen. Vor dem Einsatz von Biokohle auf landwirtschaftlich genutzten Böden sollte daher die Wirkung auf im Acker vorkommende Regenwürmer überprüft werden.

5. Literaturangaben

- Ameloot, N., Graber, E.R., Verheijen, F.G.A., De Neve, S., 2013: Interactions between biochar stability and soil organisms: review and research needs. *European Journal of Soil Science* 64, 379-390.
- Beylich, A., Graefe, U., 2007: Artenzahlen von Annelidengemeinschaften (Regenwürmer und Kleinringelwürmer) – Referenzwertbereiche für unterschiedliche Standortsituationen. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 110, 745-746.
- Blouin, M., Hodson M.E., Delgado, E.A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K.R., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J.E., Cluzeau, D., Brun, J.-J., 2013: A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science* 64, 161-182.
- Dinter, A., Oberwalder, C., Kabouw, P., Coulson, M., Ernst, G., Leicher, T., Miles, M., Weyman, G., Klein, O., 2013: Occurrence and distribution of earthworms in agricultural landscapes across Europe with regard to testing responses to plant protection products. *Journal of Soils and Sediments* 13, 278-293.
- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., Crowley, D., 2011: Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry* 43, 1812-1836.
- Li, D., Hockaday, W.C., Masiello, C.A., Alvarez, P.J.J., 2011: Earthworm avoidance of biochar can be mitigated by wetting. *Soil Biology and Biochemistry* 43, 1732-1737.
- OECD, 1984: Earthworm, acute toxicity tests. OECD Guidelines for testing of chemicals, Section 2, Effects on biotic systems. OECD, Paris.
- Owojori, O.J., Reinecke, A.J., Voua-Otomo, P., Reinecke, S.A., 2009: Comparative study of the effects of salinity on life-cycle parameters of four soil-dwelling species (*Folsomia candida*, *Enchytraeus dorjest*, *Eisenia fetida* and *Aporrectodea caliginosa*). *Pedobiologica* 52, 351-360.

- Paoletti, M.G., Sommaggio, D., Faretto, M.R., Petruzzelli, G., Pezzarosa, B., Barbafieri, M., 1998: Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs. *Applied Soil Ecology* 10, 137-150.
- Verheijen, F.G.A., Jeffery, S., Bastos, A.C., van der Velde, M., Diafas, I., 2009: Biochar Application to Soils – A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 149 pp.
- Weyers, S.L., Spokas, K.A., 2011: Impact of biochar on earthworm populations: A review. *Applied and Environmental Soil Science*, Article ID 541592.

Optimierung des Aufnahmepotentials betriebsfremder organischer Düngemittel (Geflügelmiste, Gärreste) für landwirtschaftliche Betriebe unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Belange

H. Schaaf¹, D. Koch², J. Heyn², S. Georgii³

¹Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, Kassel, ²Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kassel, ³Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, Wiesbaden

1. Einleitung und Problemstellung

Nach einer Erhebung des Hessischen Statistischen Landesamtes geht im Vergleich der Erhebungsjahre 1999 und 2010 mit einer Ausnahme die Anzahl der in Hessen gehaltenen Tiere und damit der durchschnittliche Viehbesatz pro Hektar Fläche zurück (s. Tab. 1). Als Ausnahme ist die doch deutliche Zunahme der Masthähnchenzahlen zu nennen.

Dadurch entsteht im Mittel der hessischen landwirtschaftlich genutzten Fläche und dem durchschnittlichen Viehbesatz der Eindruck, dass auf der Fläche ein erhebliches Aufnahmepotential für betriebsfremde organische Düngemittel besteht. Dieser Eindruck kann vor dem Hintergrund des steigenden Imports nichthessischer organischer Düngemittel aus veredlungsreichen Regionen zu falschen Schlussfolgerungen bezüglich des Aufnahmepotentials hessischer Ackerflächen führen. Dies wird durch die Tatsache verschärft, dass durch die steigende Anzahl von Biogasanlagen der Austausch organischer Stoffe über Kreis- und Ländergrenzen hinweg steigt. Die hohe Transportwürdigkeit aus den Überschussgebieten hinaus weitet sich zunehmend in die Ackerbaubetriebe in Niedersachsen, Hessen, Sachsen Anhalt und Thüringen aus. (Tab. 1).

Es ist weiterhin unstrittig, dass Überschussmiste und Überschussgülle aus der nicht flächengebundenen Tierproduktion durch den zunehmenden Austausch erheblich zum Import und Export von Nährstoffen, Schwermetallen und anderen umweltrelevanten Schadstoffen beitragen. Dies wirft u. a. die Frage auf, ob die rechtliche Zuordnung zu Wirtschaftsdüngern gerechtfertigt erscheint oder es nicht sinnvoll wäre diese dem Bioabfall zuzuordnen. Die daraus resultierende Ausweitung der Untersuchungsintervalle und anderen Auflagen könnten zu

einer verbesserten Beurteilung dieser Stoffe führen. Die Begrenzung der Untersuchungs- und Kontrollpflichten aus der Wirtschaftdüngerverbringungsverordnung (2010) auf Stickstoff und Phosphor greift eindeutig zu kurz. Fachlich sollten die Materialien düngemittelrechtlich den betriebsfremden organischen Düngemitteln zuzuordnen sein.

Tab. 1: Statistische Kennzahlen für das Bundesland Hessen (Hess. Stat. Landesamt) Entwicklung der Viehbestände

	1999	2010	Veränderung
Rinder	560000	464000	-17%
Milchkühe	176000	149000	-15%
Halter	7695	3043	
Bestand	23	38	
Milcherzeugung	5958	7040	
Bestände > 50	32	62	
Bestände > 100		23	
Mutterkühe	41759	42079	
Halter	5052	3930	
Bestand	8	11	
Pferde	29000	32000	10%
Schweine	884000	726000	-18%
Mastschweine	562000	440000	-22%
Halter	11038	4263	
Bestand	51	103	
Zuchtsauen	85000	59000	-30%
Halter	3996	1450	
Bestand	21	41	
Bestände > 50	62%	77%	
Bestände > 100		64%	
Schafe	183000	140000	-23%
Legehennen	1472000	874000	-41%
Masthähnchen	79000	545000	590%

2. Betriebsfremde organische Düngemittel

Unstrittig ist vor dem Hintergrund der niedrigen durchschnittlichen Viehbesatzdichte in Hessen, dass es eine Reihe von Betrieben mit Aufnahmepotential gibt, die entweder nur in einem geringen Ausmaß Viehhaltung betreiben bzw. als Ackerbaubetriebe anzusehen sind. Diese Betriebe setzen zunehmend Überschussmiste und Überschussgülle ein. Diese organischen Düngemittel verfügen i. d. R. über alle Nährstoffe und können damit zur Ernährung landwirtschaftlicher Kulturen einen substantiellen Beitrag leisten. Da sich der Inverkehrbringer dieser Materialien entledigen will, bleiben für den aufnehmenden Betrieb die Düngemittelkosten in einem überschaubaren Rahmen. In jedem Fall besteht gegenüber den mineralischen Düngemitteln ein geldwerter Vorteil. Zudem werden in vielen Biogasanlagen in Hessen nicht nur Wirtschaftsdünger eingesetzt. Es werden auch gerne Geflügeltrockenkote zum Teil aus Überschussregionen vergoren. Wegen der schlechten Nährstoffausnutzung durch das Geflügel können bei einem sachgerechten Einsatz von Geflügelmisten hohe Gasausbeuten erzielt werden. Die Überschussmiste werden zum Teil überregional angefahren, da in Überschussregionen die Notwendigkeit besteht, diese den örtlichen Betriebskreisläufen zu entnehmen.

3. Düngeverordnung (DüV)

Die derzeit gültige Düngeverordnung (DüV) wird in einem überschaubaren Zeitrahmen novelliert. In der Tabelle 2 werden in zwei verschiedenen Spalten die bisherigen gesetzlichen Grundlagen mit der geplanten Novellierung verglichen. Zur Nachvollziehbarkeit wird zusätzlich auf Paragraphen und Absätze der bisherigen Düngeverordnung verwiesen (s. Tab. 2).

Als wesentlicher Unterschied bezieht sich die Begrenzung der jährlich tolerablen Stickstofflieferung von 170 kg N/ha aus organischer Düngung bislang nur auf den Wirtschaftsdüngeranteil. So wird bislang z. B. bei Gärresten die Anwendungsobergrenze im Pflanzenbau nur auf die N-Menge aus dem Wirtschaftsdüngeranteil bezogen. Dies ist fachlich nicht vertretbar, so dass mit Recht künftig geplant ist, auch bei Gärresten die N-Zufuhr auf die Gesamtmenge zu berechnen. Zusätzlich wird bislang und auch zukünftig die im Herbst zulässige N-Lieferung auf 40 kg $\text{NH}_4\text{-N}$ bzw. auf 80 kg Gesamt-N begrenzt. Schließlich bleiben die im Nährstoffvergleich festgestellten tolerablen Bilanzüberhänge von 60 kg N/ha im dreijährigen und 20 kg/ha P_2O_5 im sechsjährigen Mittel bestehen.

Tab. 2: Die gesetzlichen Grundlagen der Düngeverordnung (DüV)

Gesetzliche Grundlagen		
Düngeverordnung:	bisher:	künftig geplant:
§ 4 (Abs. 3) 170 kg N/ha	aus org. Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft	org. Dünger insgesamt (auch Gärreste)
§ 4 (Abs. 6)	40 kg NH ₄ -N 80 kg Ges.-N	40 kg NH ₄ -N 80 kg Ges.-N
§ 6 (Abs. 1)	60 kg/ha N 20 kg/ha P ₂ O ₅	60 kg/ha N 20 kg/ha P ₂ O ₅

Ein Hauptkritikpunkt in der Diskussion um die Novellierung der Düngeverordnung durch die EU-Kommission bestand jedoch darin, dass in der derzeit gültigen Fassung die Überschreitung der Bilanzmittelwerte (60 kg N/ha und 20 kg P₂O₅/ha) nur die Konsequenz der Beratungsnotwendigkeit nach sich zieht. Wird den Belangen der EU-Kommission und der Umweltverbände Rechnung getragen, wird die Überschreitung der Salden zwangsläufig eine Ordnungswidrigkeit nach sich ziehen.

4. Stickstoff- und Phosphorüberschüsse in Deutschland

Als gravierende Umweltrisiken für Grund- und Oberflächengewässer sind Stickstoff und Phosphor anzusehen. Auf einer Klausurtagung des bayerischen Bauernverbandes in Herrsching am Ammersee am 08.03.2013 forderte Gutser (2013) von der Landwirtschaft eine „Anpassung an verschärfte Umweltziele“. Beispielhaft zeigt er in seiner Präsentation in jeweils kreisweiten Auswertungen Grafiken über N- und P-Überschüsse in Deutschland (Abb. 1 und 2)

Aus beiden Abbildungen geht hervor, dass sowohl in den klassischen Veredlungsgebieten im Nordwesten Deutschlands als auch in Bayern und in Teilen Baden-Württembergs z. T. gravierende N-Überschüsse bestehen. Auch in Zentralhessen werden in einzelnen Gebieten N-Salden ≥ 80 kg N/ha festgestellt. Bei Phosphor werden dagegen unvertretbare Saldenüberhänge ausschließlich in Nordwestdeutschland beschrieben.

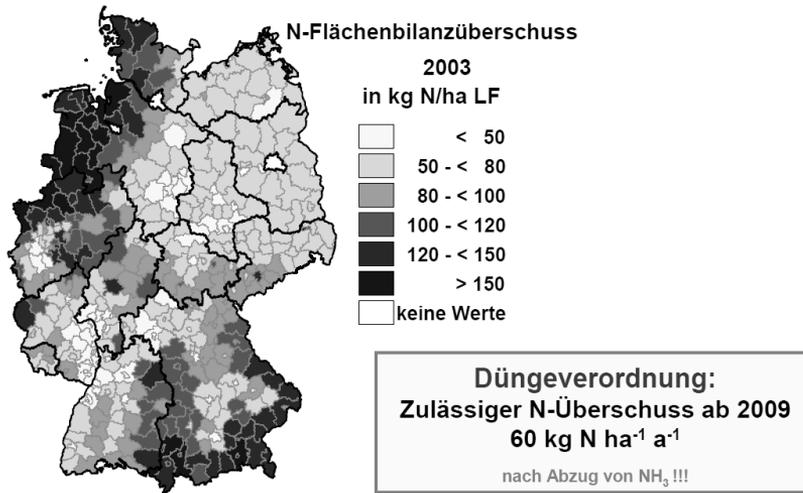


Abb. 1: N-Überschüsse in Deutschland

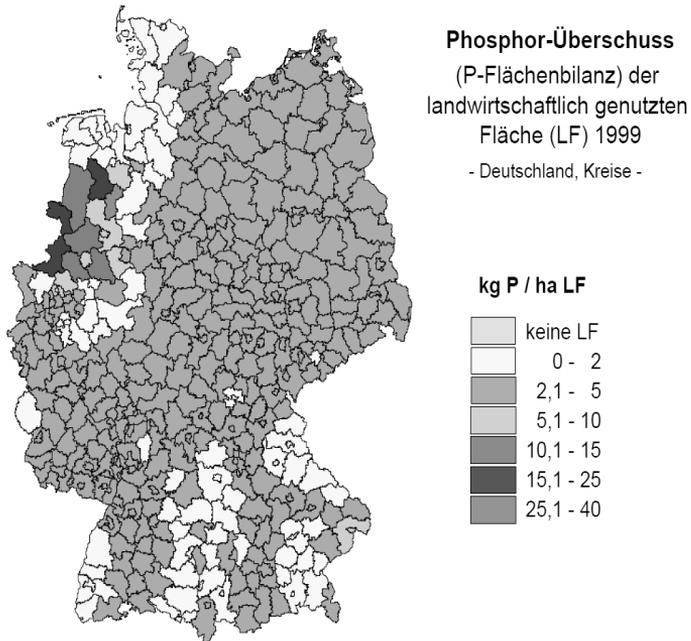


Abb. 2: P-Überschüsse in Deutschland

Tab. 3: Lysimeterversuch Kassel-Harleshausen. Versuchsplan

	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr	6. Jahr
Ackerbau- betrieb extensiv	Raps	Wi-Weizen	Wi-Gerste	Kleegras Mulch	Wi-Weizen	Wi-Gerste
Ackerbau- betrieb intensiv	Zu-Rübe GD Senf	Wi-Weizen	Wi-Gerste			
Gemischt- betrieb 0,8 GV/ha	Silo-Mais 15 m ³ Ri-Gülle ZF So-Raps	Wi-Weizen 15 m ³ Ri-Gülle	Wi-Gerste 15 m ³ Ri-Gülle	Kleegras Mulch	Wi-Weizen 15 m ³ Ri-Gülle	Wi-Gerste 15 m ³ Ri-Gülle
Gemischt- betrieb 1,6 GV/ha	Silo-Mais 30 m ³ Ri-Gülle ZF So-Raps	Wi-Weizen 30 m ³ Ri-Gülle	Wi-Gerste 30 m ³ Ri-Gülle			
Ökobetrieb viehlos	Kleegras Mulch	Wi-Weizen	So-Gerste GD Legumin.	Möhre GD Legumin	Fu-Erbse	Wi-Roggen
Ökobetrieb 0,5 GV/ha	Kleegras	Kleegras 20 m ³ Öko-Ri- Gülle	Wi-Weizen 20 m ³ Öko-Ri- Gülle	Möhre GD Legumin.	Fu-Erbse	Wi-Roggen 20 m ³ Öko-Ri- Gülle
Ökobetrieb 1,0 GV/ha	Kleegras	Kleegras 20 m ³ Öko-Ri- Gülle	Wi-Weizen 25 m ³ Öko-Ri- Gülle	Silo-Mais 50 m ³ Öko-Ri- Gülle GD Legumin	Fu-Erbse	Wi-Roggen 25 m ³ Öko-Ri- Gülle
NawaRo- Betrieb	Raps 2,5 t TM/ha Klärschlamm oder 20 t TM/ ha Kompost	Wi-Weizen	Wi-Gerste oder Wi-Roggen			

Die auf Kreisebene dargestellten Bilanzen haben allerdings den Nachteil, dass sie die örtlichen und einzelbetrieblichen Hot Spots nicht zur Genüge feststellen können. Der auf betrieblicher Ebene bestehende Umstand, dass in viehstarken Betrieben immer die hofnahen und gut zu erreichenden Schläge mit organischer Düngung versehen werden, stellt auch die Anforderung an das Versuchswesen, diesen Umstand im Versuch darzustellen. Hierzu hat der Landesbetrieb Landwirtschaft in Hessen in Zusammenarbeit mit dem Landesbetrieb Hessischer Landeslabor seit mehr als 20 Jahren einen Versuch in Betonkästen (K4) angestellt.

Weiterhin ergibt sich wiederum die Frage nach der Sinnhaftigkeit einer flächigen Saldenbilanzierung auf Kreisebene einerseits und die Frage andererseits, ob die Probleme lokaler Saldenüberhänge auf Betriebsebene durch eine Schlagbilanz ergebnisgenauer abgebildet werden können.

5. Lysimeterversuch (Standort Kassel-Harleshausen)

Am Versuchsstandort in Kassel-Harleshausen des Landesbetriebes Landwirtschaft Hessen (LLH) wird mit dem Lysimeterversuch ein in Deutschland einzigartiger Versuch betrieben, in dem zur Klärung der Fragestellung der Umweltbelastung unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensitäten fachliche Antworten gegeben werden können. So werden auf gestochenen Bodenmonolithen aus Löss des Standortes Kassel-Harleshausen in acht verschiedenen Varianten verschiedene Bewirtschaftungssysteme verglichen. Alle Versuchsvarianten werden vierfach wiederholt, sodass insgesamt 32 Lysimeter bewirtschaftet werden. Neben viehlos extensiv und intensiv wirtschaftenden Ackerbaubetrieben und einer Variante mit einem viehlos wirtschaftenden Ökobetrieb werden integriert wirtschaftende Betriebe mit einem Viehbesatz von 0,8 bzw. 1,6 GV pro ha sowie Ökobetriebe mit einem Viehbesatz von 0,5 bzw. 1,0 GV pro ha miteinander verglichen. Schließlich wird eine Variante mit nachwachsenden Rohstoffen geprüft, in der Klärschlamm oder auch Kompost zur Anwendung gelangen (Tab.3).

In der Abbildung 3 wird die in den verschiedenen Betriebssystemen die mineralische sowie organische Düngung und die legume N-Bindung dargestellt und den Stickstoffausträgen über das Sickerwasseraustrag gegenübergestellt. Dabei wird grundsätzlich klar, dass alle im Versuch geprüften Systeme den Anforde-

rungen an die Nachhaltigkeit entsprechen. Es fällt weiterhin auf, dass der vieharm wirtschaftende Marktfruchtbetrieb mit den viehhaltenden Ökobetrieben vergleichbare N-Austräge aufweist. Schließlich sind die N-Austräge intensiver Betriebsformen (viehlos, intensiver Ackerbaubetrieb, viehreicher Marktfruchtbetrieb, Massebetrieb mit Nawaro) im Vergleich dazu niedriger, was auf die vergleichsweise höheren Entzüge zurückgeführt werden kann. Lediglich der viehlos wirtschaftende Ökobetrieb weist N-Austräge ≥ 20 kg/ha auf und schneidet damit am schlechtesten ab. Dies kann man sehr wahrscheinlich auf den relativ hohen Anteil von Leguminosen in der Fruchtfolge zurück führen.

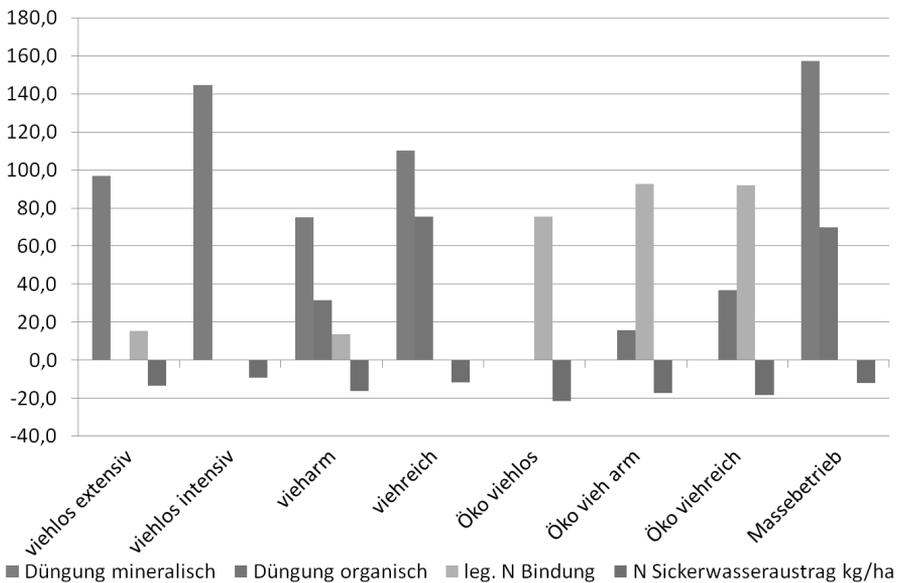


Abb. 3: Lysimeterversuch am Standort Kassel-Harleshausen: Mineralische und organische N-Düngung sowie legume N-Bindung und N-Austrag aus der Bodensäule, Angaben in kg/ha. Lysimeterversuch am Standort Kassel-Harleshausen

6. Antrittalprojekt

In den Jahren 2005 bis 2007 führte der Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH) im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (HMULV) in Mittelhessen entlang des Fließgewässers Antritt ein Projekt mit den anliegenden Landwirtschaftsbetrieben durch, welches

zum Ziel hatte, das Handlungsmanagement in den Betrieben zu optimieren und auf diesem Wege den erosiven Nährstoffeintrag in den Antrift-Stausee zu vermindern. In diesem Zusammenhang wurde eine Umweltverträglichkeitsprüfung nach der VDLUFA-Gütegemeinschaft USL durchgeführt. In Abbildung 4 werden die P-Hoftor-Salden geordnet nach den geprüften Betriebsformen beschrieben (LLH, 2007). Immerhin stellt der P-Saldo einen Schlüsselindikator für die Belastung und die Austragsgefährdung dar. Die Spannweite der Hoftorsalden liegt zwischen -36 bis +43 kg P/ha. Der negative Saldo wird bei einem Ökobetrieb gemessen. Bei einer Gliederung der 20 geprüften Betriebe nach den Betriebsformen wird sichtbar, dass insbesondere bei den Milch- und Futterbaubetrieben überwiegend P-Überschüsse vorliegen. Weiterhin wurden vier Veredlungsbetriebe geprüft, von denen ein Betrieb mit einem Saldo von +43 kg P/ha den größten Saldenüberhang aufwies.

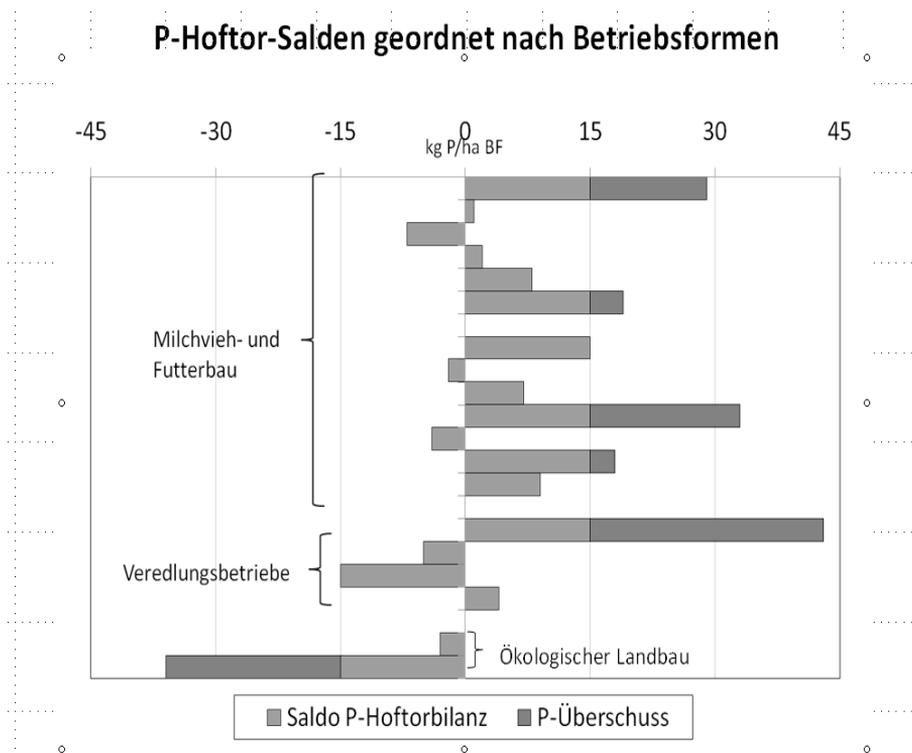


Abb. 4: Antrittalprojekt. Betriebsbewertung nach der USL-Gütesicherung des VDLUFA. Auswertung der P-Salden. Angaben in kg P/ha Betriebsfläche (BF)

7. Schlussfolgerungen

Die Auswertungen aus dem Lysimeterversuch in Kassel-Harelshausen belegen, dass unter Berücksichtigung des Stickstoffs trotz eines GV Besatzes von 1,6 GV/ha und dem entsprechenden Einsatz von mineralischer Düngung die ausgewaschenen Stickstofffrachten niedriger sind. Für die Varianten des viehlosen ökologisch wirtschaftenden Betriebs können zwar niedrigere Bilanzwerte berechnet werden, dennoch sind die ausgewaschenen Stickstoffmengen höher als in der viehstarken „konventionellen“ Variante. Aufgrund dieser Tatsache kann der Rückschluss gezogen werden das bei einem Bilanzwert von 20 kg Stickstoff/ha (siehe Abb. 5) ein bestimmtes Aufnahmepotential auch in viehstarken Betrieben vorhanden sein kann.

Beim Phosphor zeigen USL-Hoftorsalden von 20 Betrieben aus einem LLH-Projekt in Mittelhessen bereits mehrfach Saldenüberhänge in Milchvieh- und Futterbaubetrieben. Der größte Saldenüberhang wurde zusätzlich in einem Veredlungsbetrieb festgestellt. Für die betroffenen Betriebe stellt sich grundsätzlich die Frage, ob bei entsprechenden Überhängen auf die mineralische Düngung (z. B. Unterfußdüngung Mais mit DAP) nicht verzichtet werden kann.

Lysimeter 1995/96 bis 2009/10 = 15 Jahre:

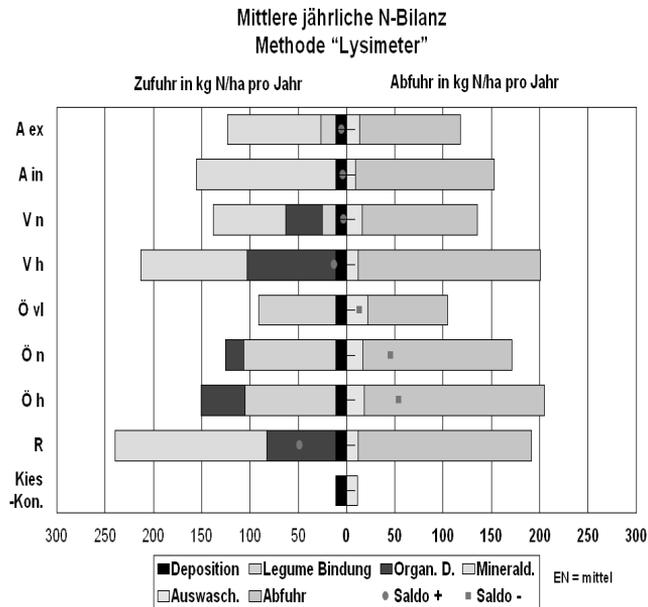


Abb. 5: Stickstoffbilanz der verschiedenen Bewirtschaftungsformen im Lysimeterversuch Kassel Harleshausen

Die in den Abbildungen 1 und 2 festgestellten deutschlandweiten Saldenüberschüsse für Stickstoff und Phosphor zeigen, dass in Regionen mit intensiver Viehhaltung mit Bezug zu diesen Elementen grundsätzlich die Zielvorgaben der europäischen Wasserrahmenrichtlinie nicht eingehalten werden können. Diese Probleme werden darüber hinaus verschärft, wenn überschüssige Gärreste, Siedlungsabfälle und/oder Dünger aus der Tierhaltung in Regionen mit intensiver Viehhaltung zusätzlich verwertet werden sollen.

Vor diesem Hintergrund wird die unkontrollierte Verwertung von überschüssigen Misten, GülLEN und Gärresten in Hessen aus anderen Regionen kritisch gesehen. Die Frage des Aufnahme potentials von Landwirtschaftsbetrieben für betriebsfremde organische Düngemittel muss fachlich begleitet und kontrolliert werden. Die Bilanzierung im Nährstoffhaushalt ist hierbei ein zentrales Arbeitswerkzeug. Die Bewertung auf der Grundlage einer Hof torbilanz wird allerdings vor dem Hintergrund der Anforderungen aus der Wasserrahmenrichtlinie (WRL) nicht als ausreichend angesehen. Vielmehr ist die Feststellung der Bilanzsalden je Schlag unverzichtbar.

Der VDLUFA wird mit seiner QLA-Qualitätssicherung hierbei im Sinne eines nachhaltigen Stoffstrommanagements künftig Hilfestellung leisten können.

8. Literaturangaben

Gutser, R., 2013: Landwirtschaft im Anpassungsprozess an verschärfte Umweltziele. Vortrag auf der Klausurtagung des Bayerischen Bauernverbandes, in Herrsching / Ammersee, 08. März 2013.

Heyn, J., 2011: Bewirtschaftungsmodelle im Vergleich. Ergebnisse aus 15 Jahren in der Lysimeteranlage Kassel. Teilaspekte: Produktivität, Wasser- und Stickstoffhaushalt.

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2007: Umstellung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung zur Verminderung des erosiven Nährstoffeintrages in den Antrift-Stausee.

Nährstoff-Verluste bei der Lagerung von Gärrest-Feststoff

F. Herbst, W. Gans

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Professur für Pflanzenernährung

1. Einleitung

Der Einsatz von Gärresten aus der Biogaserzeugung in der Pflanzenproduktion erfordert eine Zwischenlagerung der Gärreste. Wenn dies in der ursprünglichen, flüssigen Form erfolgt, treten bei der Lagerung keine wesentlichen Veränderungen in der Masse und den Nährstoffgehalten ein. Erfolgt jedoch eine Separierung (Fest-Flüssig-Trennung) der Gärreste, unterliegt der Feststoff bei der Lagerung in Mieten Umsetzungen, die zu Nährstoffverlusten führen. Solche Veränderungen sind von der Lagerung von Stallmist und Kompostmaterial bekannt. Gärrest-Feststoffe weichen in ihrer Zusammensetzung etwas von diesen Materialien ab, so dass auch etwas andere Veränderungen zu erwarten sind. In zwei Modellversuchen wurden die Umsetzungen und Verluste an Masse, Kohlenstoff und Stickstoff bei der Gärrest-Feststoff-Lagerung erfasst.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungen erfolgten in Mitscherlich-Gefäßen mit jeweils 1700 g frisch abgepresstem Feststoff, welcher aus einer Monovergärung von Maissilage stammte. Der Versuch G7 wurde im Zeitraum 8.5. bis 4.9.2012 und der Versuch G8 vom 1.10.2012 bis 30.4.2013 vorgenommen. Im ersten Versuch wurde nur eine offene, d. h. nicht abgedeckte Lagerung geprüft. Im zweiten Versuch erfolgte sowohl eine offene als auch abgedeckte Lagerung. Bei der Versuchsanlage wurden pro Variante jeweils 12 Gefäße mit Feststoff gefüllt, von denen zu jeweils 4 Messterminen jedes Mal 3 Gefäße untersucht wurden. Im Versuch G8 erfolgte bei der offenen Lagerung zusätzlich die Erfassung der Sickerwasser-

menge. Im frischen und den gelagerten Feststoffen wurden folgende Parameter erfasst: Frisch- und Trockenmasse, Gesamt-C (mittels Elementaranalysator), Gesamt-N (mittels Kjeldahl-Aufschluss und Destillation), NH_4 - und NO_3 -N (mittels Destillation) und pH-Wert (potentiometrisch). Im Sickerwasser erfolgte eine Analyse der N-Parameter und des pH-Wertes.

Tab. 1: Parameter der frisch abgepressten Feststoffe

Parameter	Versuch G7	Versuch G8
Trockensubstanz %	25,6	22,2
pH-Wert	9,1	8,9
Ammonium-N % in FM	0,128	0,142
Nitrat-N % in FM	0	0
Gesamt-N (N_t) % in FM	0,561	0,520
Gesamt-C (C_t) % in TM	42,6	41,1

3. Ergebnisse

Die offene Lagerung führte in den Sommermonaten zu einer Abnahme an Trockenmasse und Kohlenstoff von etwa 50 % (Abb. 1). Die N-Menge nahm weniger ab. Dabei stieg der N_t -Gehalt ein wenig an (Abb. 2). Der mineralische N-Gehalt nahm zu Beginn der Lagerung deutlich ab und danach geringfügig zu.

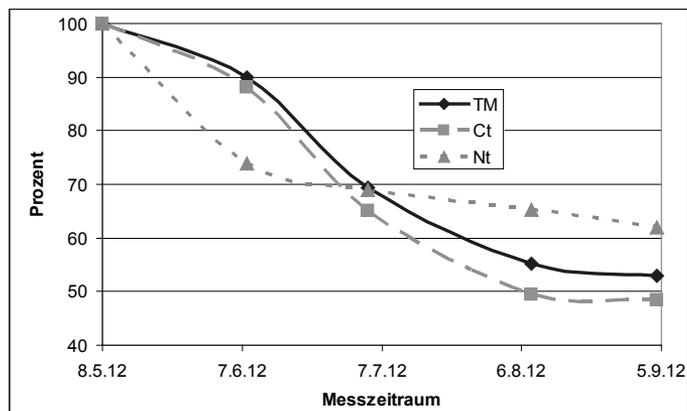


Abb. 1: Abnahmen von TM, C_t und N_t im Versuch G7

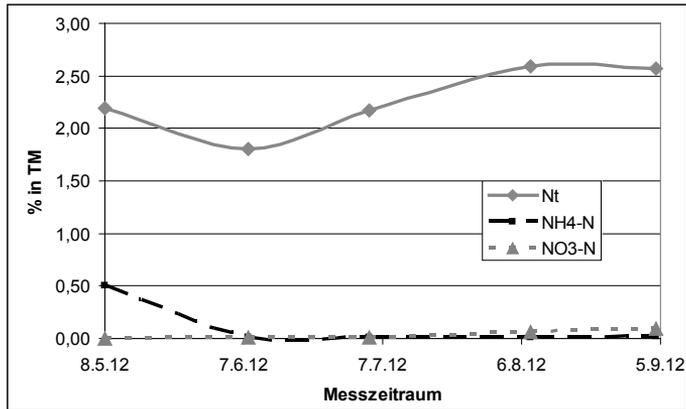


Abb. 2: Verlauf der N_t, NH₄-N- und NO₃-N-Gehalte im Versuch G7

In den Wintermonaten lag die Abnahme der Trockenmasse- und Kohlenstoff-Menge bei offener Lagerung bei etwa 20 % (Abb. 3). Sie wurde bei einer abgedeckten Lagerung um etwa die Hälfte reduziert. Die N_t-Menge nahm bei offener Lagerung um etwa 40 % und die N_{min}-Menge nahezu vollständig ab (Abb. 4). Bei abgedeckter Lagerung waren die N-Verluste nur gering.

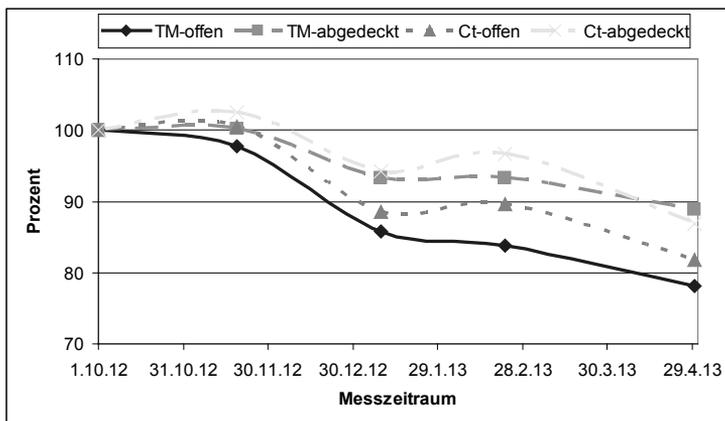


Abb. 3: Veränderungen an TM- und C_t-Menge im Versuch G8

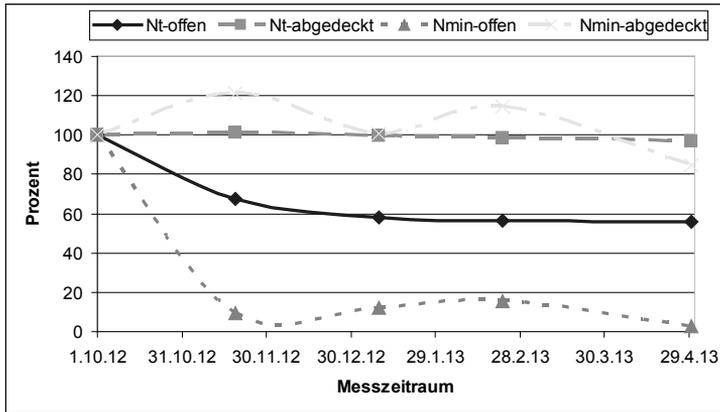


Abb. 4: Veränderungen der Mengen an N_t und N_{min} im Versuch G8

Bei einer offenen Lagerung mit einem ungehinderten Zutritt des Niederschlages trat Sickerwasser aus dem Feststoff bzw. den Gefäßen auf. Der darin enthaltene Stickstoff war zum überwiegenden Teil organisch gebunden und zu einem geringen Anteil NH₄-N. NO₃-N war fast nicht vorhanden (Abb. 5). Bei der offenen Lagerung kam es zu einer Abnahme des pH-Wertes des Feststoffes, welche in den Sommermonaten stärker war als in den Wintermonaten. Bei der abgedeckten Lagerung blieb diese Abnahme aus (Abb. 6).

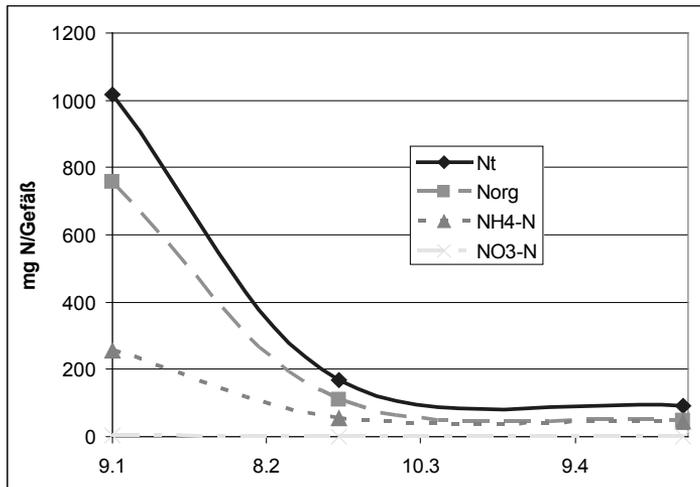


Abb. 5: N im Sickerwasser im Versuch G8

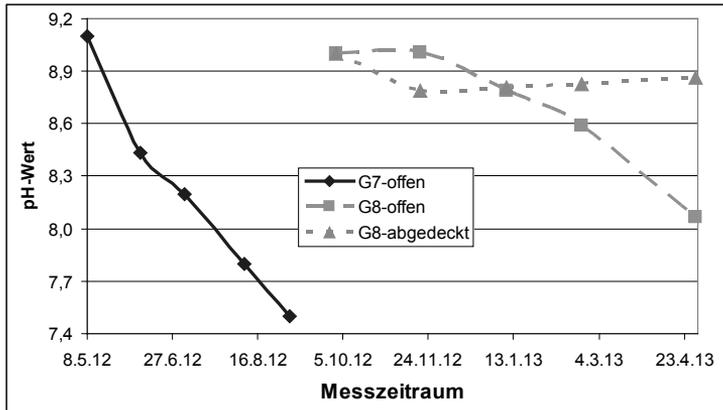


Abb. 6: pH-Veränderungen in den Versuchen G7 und G8

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Bei der Lagerung von Gärrest-Feststoff mit Luftzutritt kommt es zu beträchtlichen Masse-, Kohlenstoff- und Stickstoffverlusten, die in den Sommermonaten höher lagen als in den Wintermonaten. Bei dieser Lagerungsform ging der Ammonium-Stickstoff unabhängig von der Temperatur fast vollständig verloren.

Wie ergänzende Laboruntersuchungen zeigten, war die Abnahme des Ammonium-N im Feststoff bei der Lagerung mit Luftzutritt vor allem die Folge einer Ammoniak-Freisetzung. Eine Freisetzung von Lachgas trat hierbei nicht auf. Anzeichen dafür, dass es zu einer bedeutsamen N-Immobilisierung durch Mikroorganismen gekommen war, lagen nicht vor.

Eine Ursache für die hohe Ammoniakverflüchtigung war, dass es im Feststoff zu keiner wesentlichen Nitrifikation gekommen ist, was die Analysen des Feststoffes und Sickerwassers belegen. Offensichtlich sind im Feststoff kaum Nitrifikanten vorhanden. Als Folge davon kann eine anhaltend hohe Ammoniakverflüchtigung auftreten. Im Gegensatz zu den Nitrifikanten befinden sich im Feststoff wie im Biogasreaktor ausreichend heterotroph lebende Mikroorganismen, welche zu dem beträchtlichen Kohlenstoff- und Masseverlust geführt haben. Dadurch kann es trotz eines hohen N-Verlustes sogar zu einem Anstieg des Gesamt-N-Gehaltes im Feststoff kommen.

Durch eine Abdeckung des Feststoffes konnten alle Verluste beträchtlich reduziert werden. Dies wurde zum einen durch die teilweise Unterbindung der Ammoniakverflüchtigung bewirkt. Zum anderen fehlte den Mikroorganismen Sauerstoff für die Umsetzungsprozesse.

In den durchgeführten Gefäßversuchen kam es im Gegensatz zu einer Lagerung in Großmieten zu keiner anhaltenden Erhitzung des Feststoffes. Eine solche Erhitzung hat sicherlich Einfluss auf die Umsetzungsprozesse, so dass unter solchen Bedingungen abweichende Verluste gegenüber den dargestellten auftreten können.

Die Arbeiten wurden mit Mitteln des BMELV / FNR gefördert (FKZ 22025207).

Kohlenstoffdynamik und mikrobielle Umsatzprozesse von sächsischen Ackerböden bei differenzierter Bodenbearbeitung

F. Kirsten¹, O. Nitzsche², G. Machulla², J. Heinrich¹

¹Universität Leipzig, ²Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Nossen

1. Einleitung

Die hier vorgestellte Forschungsarbeit geht der wissenschaftlich kontrovers diskutierten These nach, dass konservierende Bodenbearbeitungsverfahren unter mitteleuropäischen Klima- und Bodenbedingungen dauerhaft zu einer Zunahme an organischer Substanz bzw. Humus im Boden führen. Dabei stehen die Mineralisierung steuernde mikrobielle Umsatzprozesse sowie für die Praxis wichtige Fragen nach der Stabilität der organischen Substanz bei Bodenbearbeitungswechseln im Zentrum der Untersuchungen.

2. Material und Methoden

Zur Überprüfung der These stehen zwei seit 1992 konsequent differenziert bewirtschaftete Dauerversuchsflächen (Pflug, konservierende Bodenbearbeitung, Direktsaat) im sächsischen Lösshügelland zur Verfügung, für die umfangreiche Voruntersuchungen existieren (Abb. 1-3).



Abb. 1: Versuchsfläche am Standort Methau (Aufnahmedatum: 27.04.2012)
(Quelle: LfULG Sachsen)

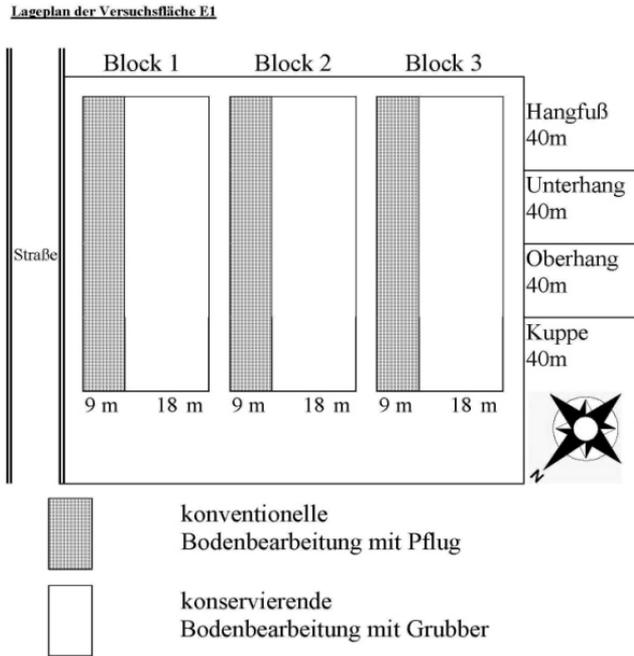


Abb. 2: Versuchsanlage Methau, schematisch (Quelle: LfULG Sachsen)



Abb. 3: Versuchsfläche am Standort Lüttewitz (Quelle: LfULG Sachsen)

Die Bodenprobenentnahme erfolgt bodenmasseäquivalent. Daher geht jeder Probenahme eine Bestimmung der Trockenrohdichte (TRD) mittels Stechzylindern voraus. Die ermittelten Trockenrohdichten für die Ober- und Unterkrume sowie die sich daraus ergebenden variantenspezifischen Beprobungstiefen sind für den Standort Lüttewitz in Abbildung 4 dargestellt.

Beprobungstiefen Lüttewitz Frühjahr 2012

Bodenmasse [t/ha]	Pflug	Direktsaat	Konservierend	Kons. Locker
	Untergrenze [cm]	Untergrenze [cm]	Untergrenze [cm]	Untergrenze [cm]
750	5,3 (1,41 g/cm ³)	5,0 (1,50 g/cm ³)	5,2 (1,44 g/cm ³)	5,6 (1,33 g/cm ³)
750	10,6 (1,41 g/cm ³)	10,0 (1,50 g/cm ³)	10,4 (1,44 g/cm ³)	11,2 (1,33 g/cm ³)
1500	21,2 (1,41 g/cm ³)	20,0 (1,50 g/cm ³)	20,1 (1,54 g/cm ³)	22,5 (1,33 g/cm ³)
1500	31,9 (1,41 g/cm ³)	30,1 (1,50 g/cm ³)	29,9 (1,54 g/cm ³)	32,1 (1,55 g/cm ³)
4500	61,9 (1,5 g/cm ³)	60,1 (1,5 g/cm ³)	59,9 (1,5 g/cm ³)	62,1 (1,5 g/cm ³)

Abb. 4: Beprobungstiefen der fünf masseäquivalenten Bodenschichten am Standort Lüttewitz (Frühjahr 2012)

Die auf der Erfassung der TRD basierende Bodenprobenahme erfolgt in Methau an jeweils drei Punkten pro Parzelle am Mittelhang und in Lüttewitz an jeweils neun repräsentativ über die Parzelle verteilten Punkten. Als für die Fragestellung wichtigste Parameter werden der organische Kohlenstoff sowie als mikrobielle Parameter die mikrobielle Biomasse (FEM) und die Dehydrogenaseaktivität (DHA) erfasst.

3. Ergebnisse

Die ersten Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Varianten. Exemplarisch sind in den Abbildungen 5-8 die C_{org}-Mengen, die Dehydrogena-

seaktivität (DHA), die mikrobielle Biomasse (FEM) sowie die relative mikrobielle Aktivität (Verhältnis von DHA zu C_{mic}) für den Standort Lüttewitz dargestellt.

Auffällig sind die v. a. in den beiden oberen beprobten Schichten deutlich höheren Mengen an C_{org} in den Varianten D, K und KL im Vergleich zur gepflügten Variante (Abb. 5). In den darunter liegenden Bereichen des Bodens gleichen sich die C_{org} -Mengen der Varianten zwar an und z. T. kehrt sich dieses Verhältnis sogar um, allerdings weisen die Varianten D und K insgesamt um 13 bzw. 15 % höhere Mengen an C_{org} auf als die Pflugvariante.

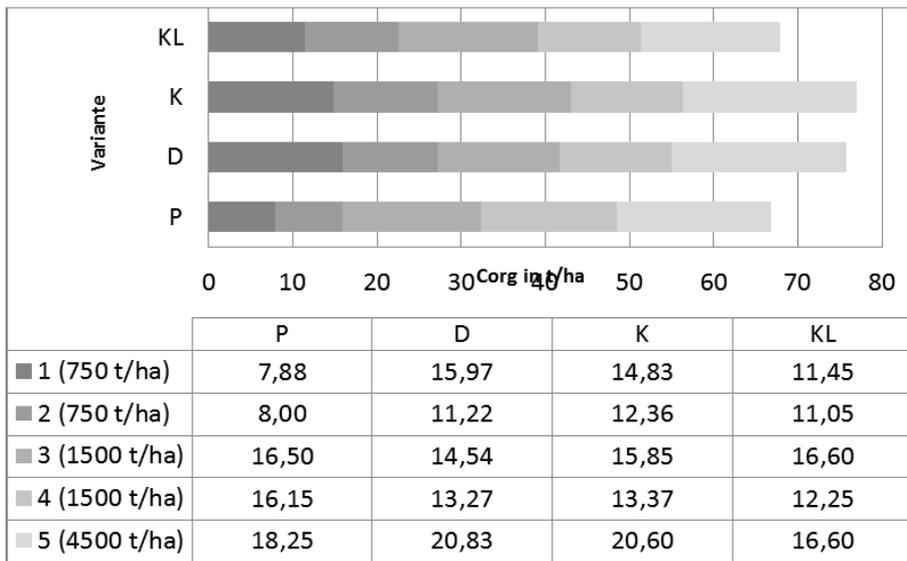


Abb. 5: C_{org} -Mengen der 4 Bearbeitungsvarianten in 5 masseäquivalenten Schichten am Standort Lüttewitz (Frühjahr 2012)

Die beiden dargestellten mikrobiellen Parameter (Abb. 6 u. 7) bestätigen dieses Ergebnis mit Ausnahme der mikrobiellen Biomasse in der Variante D, die in allen Beprobungsschichten vergleichsweise gering ausfällt. Die Ursachen hierfür können erst nach dem Vergleich mit den C_{mic} -Werten aus dem Herbst 2012 sowie weiteren Parametern geklärt werden. Die relative mikrobielle Aktivität (Abb. 8) als Maß für die tatsächliche Aktivität der Bodenmikroben ist in der Variante D in allen Schichten mit Abstand am höchsten und in den Varianten K und KL in den obersten beiden Schichten gegenüber P deutlich erhöht.

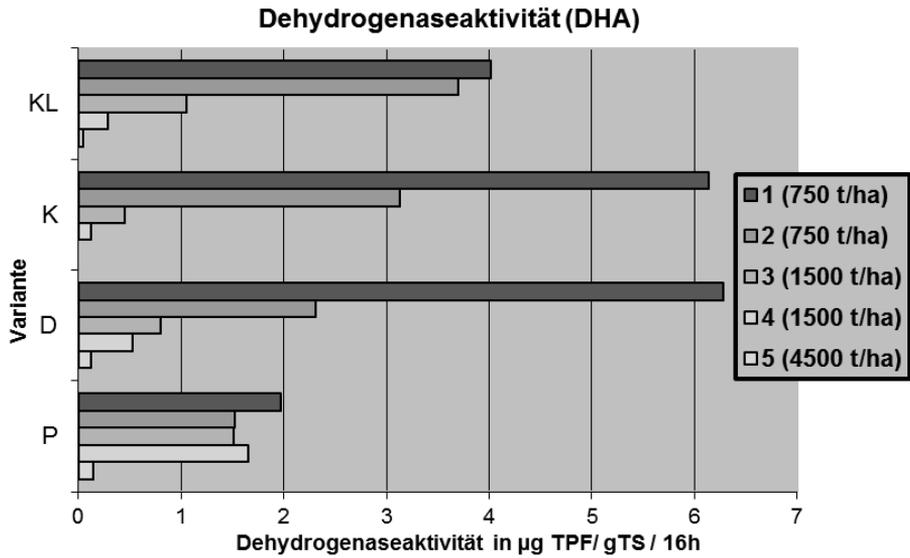


Abb. 6: Dehydrogenaseaktivität (DHA) am Standort Lüttewitz, Frühjahr 2012

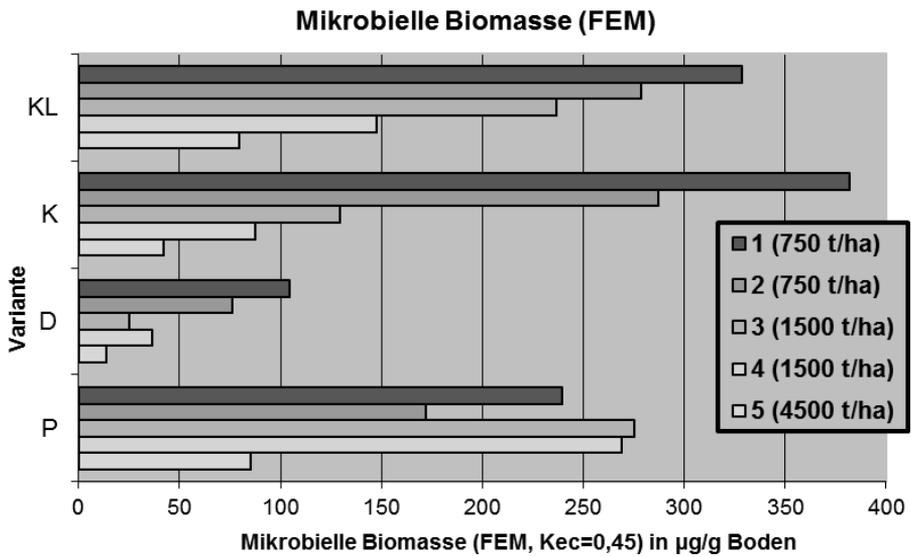


Abb. 7: Mikrobielle Biomasse (FEM) am Standort Lüttewitz, Frühjahr 2012

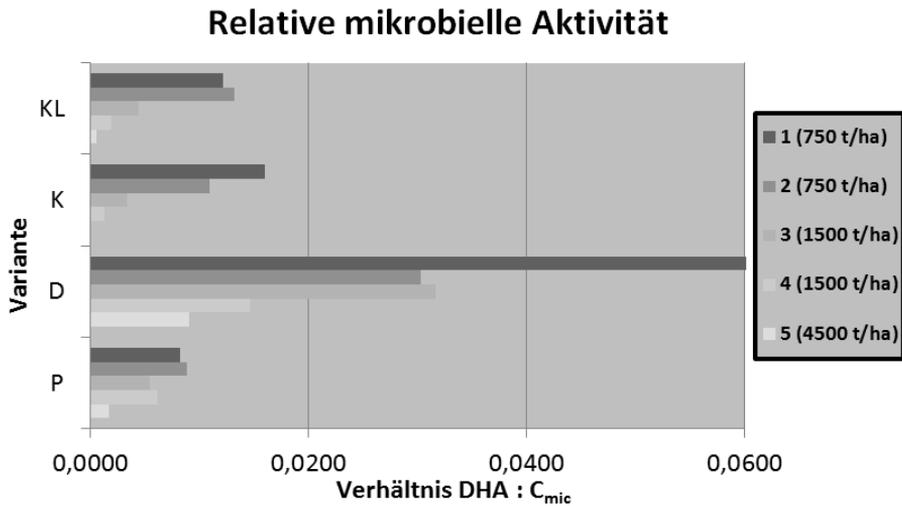


Abb. 8: Relative mikrobielle Aktivität (Verhältnis DHA : C_{mic}) am Standort Lüttewitz, Frühjahr 2012

4. Ausblick

Neben der Entwicklung der C-Masse unter Fortführung eines Bodenbearbeitungsverfahrens ist die Stabilität der organischen Substanz nach langjährig veränderter Bodenbearbeitung von entscheidender Bedeutung.

Es ist für den Herbst 2013 vorgesehen, Teilparzellen der seit 20 Jahren in Direktsaat bewirtschafteten Parzelle in Lüttewitz zu pflügen und die Dynamik und das Ausmaß der daraus resultierenden C-Mineralisierung mit den vorgestellten Methoden zu erfassen. Die Beprobungen im Rahmen des Umbruchs sind zeitlich sehr eng gestaffelt, um die Dynamik der resultierenden Prozesse möglichst genau zu erfassen. Es ist vorgesehen, unmittelbar vor, unmittelbar nach sowie im Abstand von einem, sechs und zwölf Monaten nach dem Umbruch zu beproben.

Im Herbst 2014 sollen dann weitere Teilbereiche umgebrochen sowie die bereits im Herbst 2013 gepflügten Bereiche erneut umgebrochen werden.

Im Rahmen dieser Beprobungsmethodik sollen weitere Parameter untersucht werden, die Rückschlüsse auf die kurz- und mittelfristige Dynamik der organi-

schen Substanz zulassen. Dazu zählen insbesondere die Bodenatmung sowie der heißwasserlösliche Kohlenstoff.

5. Literaturangaben

- Alef, K., 1993: Bestimmung mikrobieller Biomasse im Boden: Eine kritische Betrachtung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 156, 109-114.
- Brookes, P., 2001: The Soil Microbial Biomass: Concept, Measurement and Applications in Soil Ecosystem Research. *Microb. Environ.* 16, 131-140.
- Chen, H., Marhan, S., Billen, N., Stahr, K., 2009: Soil organic-carbon and total nitrogen stocks as affected by different land uses in Baden-Württemberg (southwest Germany). *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172, 32-42.
- Ellert, B.H., Bettany, J.R., 1995: Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Can. J. Soil. Sci.* 75, 529-538.
- Koch, H., Stockfisch, N., 2006: Loss of soil organic matter upon ploughing under a loess soil after several years of conservation tillage. *Soil and Tillage Research* 86, 73-83.
- Prechtel, A. von Lützow, M. Schneider, U.B., Bens, O., Bannick, C.G., Kögel-Knabner, I., Hüttl, R.F., 2009: Organic carbon in soils of Germany: Status quo and the need for new data to evaluate potentials and trends of soil carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172, 601-614.
- Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E., 1991: *Bodenbiologische Arbeitsmethoden*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Schrumpf, M., Schulze, E.D., Kaiser, K., Schumacher, J., 2011: How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories? *Biogeosciences* 8, 1193-1212.
- Ulrich, S., Tischer, S., Hofmann, B., Christen, O., 2010: Biological soil properties in a long-term tillage trial in Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 173, 483-489.

Effect of drip irrigation and soil mulching on some soil properties, yield and quality of navel orange trees at North Delta

S.M. Youssef, A.S. El-Henawy, M.R. Khalifa, S.A. Mashali, A. Rabie

Soils and Water Sci. Dept., Fac. of Agric., Kafr El-Sheikh Univ., Egypt

1. Abstract

The present investigation was carried out at orchard of Sakha agricultural research station farm, Kafr El-Sheikh Governorate during two successive growing seasons 2003 and 2004. The effect of drip irrigation and soil mulching on some soil properties as well as yield and quality of Navel orange trees at North Delta compared with surface irrigation were studied. The design of the experiment was a split plot design with four replicates in two seasons.

Total N, available P and K were slightly increased under soil mulching comparing with un-mulched one. Values of previous elements were increased in drip irrigation treatments than that under surface irrigation.

Yield of navel orange was affected by soil mulching and irrigation. Values of fruit weight, vitamin C and No. of fruit falling were improved under soil mulching and under drip irrigation.

It could be concluded that use of drip irrigation at rate of 75 % ETC in citrus orchards could save about 1938.0 m³/fed./season of irrigation water under soil mulching with rice straw and a higher yield, as well as improving soil chemical and physical properties under the conditions of the current study.

2. Introduction

Surface irrigation methods are the ways of irrigating most of citrus orchards and field crops, particularly in Nile Delta lands. National strategy of Egyptian government included saving of irrigation water by changing traditional irrigation systems to modern systems. Drip irrigation is one of the developed methods for irri-

gation. Citriculture is the most important yield among the Egyptian horticulture. According to 2002 statistics, citrus acreage in Egypt represents approximately 39 % of the total area of fruit trees. It is about 340 443 feddans from which 3047 feddans are growing in Kafr El-Sheikh Governorate and surface irrigation system is applied in all areas, (Ministry of Agriculture, 2002). On the other side, rice straw causes an environmental problem in Egypt. Some farmers are burning rice straw in their fields directly which causes phenomena called "Black Cloud" in the atmosphere of Cairo city. Rice straw could be use as a soil mulching material and producing organic compost (Khalifa, 1994b).

Nath and Sarma (1992) studied the effect of organic mulches on growth and yield of Assam lemon, they found that mulching increased growth and yield of Assam lemon compared with bare soil. Khalifa *et al.* (2001) pointed out that, the highest values of fruit weight (220.39 g), total soluble solids percentage (TSS %), TSS/acid ratio and the lowest value of acidity % was found under border strip irrigation method compared to basin, ring-shaped and basin furrow irrigation methods. However, vitamin C and peel thickness were not significantly affected by method of irrigation. Khalifa (1994a) reported that, number of fruit drop per tree decreased on mulched soil (especially under soil surface covered with cutter weeds and soil surface covered with rice straw, 2 cm layer) compared with clean weeded (control). So, the aim of the current study was to evaluate the effect of soil mulching and irrigation treatments on growth, yield and yield quality of navel orange trees at North area of Nile Delta.

3. Materials and Methods

The present investigation was carried out at orchard of Sakha Agricultural Research Station Farm, Kafr El-Sheikh Governorate during two successive growing seasons 2003 and 2004. Some chemical and physical properties of the experimental soil is shown in Table 1.

The trees were 10 years old, budded on sour orange rootstock and the planting distance was 5 × 5 meters. The design of the experiment was a split plot design with four replicates in two seasons (replicate = one tree). The main plots were occupied by soil mulching with 2 cm layer of rice straw as a whole and bare soil without any mulch. The subplots were devoted to surface irrigation, drip irrigation 100 % ET_c, drip irrigation 75 % ET_c and drip irrigation 50 % ET_c. Surface irrigation was applied by using the basin method.

Tab. 1: Some chemical and physical properties of soil samples before experiment

Soil variable	Soil depth, cm			
	0-30	30-60	60-90	Mean
PH(1:2.5 soil suspension)	8.06	8.18	8.66	-
EC, dS/m(1:5 extract)	0.723	0.485	0.356	0.521
Soluble ions, meq/L				
Na ⁺	0.84	1.28	1.67	1.26
K ⁺	0.91	0.45	0.38	0.58
Ca ⁺⁺	2.70	1.60	0.60	1.63
Mg ⁺⁺	2.80	1.60	0.90	1.77
Cl ⁻	0.80	0.60	0.60	0.67
CO ₃ ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO ₃ ⁻	1.40	1.30	1.50	1.40
SO ₄ ⁻	5.05	3.03	1.45	3.18
Total N, %	0.154	0.112	0.070	0.112
Available P, mg/kg soil	15.24	7.90	2.54	8.56
Available K, mg/kg soil	1154	800	624	859.3
Organic matter, %	1.31	0.99	0.76	1.02
Field Capacity, %	45.21	46.19	45.29	45.56
Wilting point, %	23.81	24.51	23.85	24.06
Available water, %	21.40	21.68	21.44	21.51
Bulk density, mg/m ³	1.276	1.442	1.514	1.411
Particle size distribution, %				
Clay	66.57	67.43	63.37	65.79
Silt	27.94	27.29	31.14	28.79
Sand	5.49	5.28	5.49	5.42
Texture class	clay	clay	clay	clay

The trees were received 8 irrigations during the experimental period each season. To calculate the irrigation water requirements, in drip irrigation treatments of navel orange trees, the climatic data were collected from Sakha Weather Station for the previous years during the period from 1993 to 2002. Reference evapotranspiration (ET_o) according to Penman-Montieth was calculated using FAO CROPWAT software computer program (Smith, 1992). The crop evapotranspiration (ET_c) is estimated according to Doorenbos and Pruitt (1977). Gross irrigation water requirements (GIR) in drip irrigation system were

calculated according to FAO (1980) by using the average of (ET_o) which obtained from the previous meteorological data (1993-2002), 0.2 leaching fraction, 0.85 irrigation system efficiency of drip irrigation and 0.65 reduction factor of navel orange trees, and were found to be 2918.009, 2188.518 and 1459.017 m³/fed. for 100, 75 and 50 % ET_c , respectively. Each tree was irrigated by using 3 emitters which fixed with polyethylene lines of 16 mm outer diameter. The emitters placed on the middle of canopy tree cover. The interval of irrigation (on/off) in drip irrigation was timed every three days. The supply of water was from tanks (200 L) of about 0.5 meter height above the land to give a suitable pressure. Each tank was prepared to irrigate two trees. All trees received the regular fertilization (960, 550 and 900 g/tree from urea, super phosphate and potassium sulphate, respectively in 1st season and alternated urea by 2170 g/tree of ammonium sulphate in 2nd season. All fertilizers were added broadcast in surface irrigation and fertigation in drip irrigation method). All cultivation practices were performed as recommended by the Ministry of Agriculture and Land Reclamation.

Orange leaf analysis: At October of each year, leaves of navel orange trees were taken, carefully washed with distilled water, then oven dried at 70 °C for 48 hrs, ground and wet digested by mixture of H₂SO₄ and H₂O₂ according to the standard method, and kept for analysis. Total nitrogen was determined by micro-kjeldahl according to Cottenie et al., (1982). Total phosphorus and potassium were determined according to Carter (1993).

At harvest fruit yield of navel orange trees was recorded at each treatment and total yield was calculated and expressed as kg/tree, No. of fruits per tree and yield in ton/fed. The crop water use efficiency was estimated by dividing the fruit yield (kg/fed.) by actual evapotranspiration expressed as depth of water as described by Hukkeri et al. (1977). At harvest, 20 mature fruits were randomly collected from the individual trees under each treatment for the determination of TSS %, acidity, vitamin C, fresh weight, fruit volume, juice volume and peel thickness according to Association of Official Analytical Chemists (1975). Average number of fruits falling was recorded for each treatment during the experimental period and calculated as % of mature fruits at the end of each season. Navel orange growth indicators were recorded as height of tree starting from grafting point, diameter of trunk tree under grafting point and tree canopy was calculated according to Morse and Robertson (1987). Soil analyses were determined by using standard method according to Klute (1986). Statistical analysis: some of data obtained were statistically analyzed according to Snedecor and Cochran (1967).

4. Results and Diskussion

4.1 Effect of soil mulching and irrigation on yield and yield quality of Navel orange trees

4.1.1 Yield/tree

Tab. 2: Yield of Navel orange trees during 2003 and 2004 seasons as affected by soil mulching and irrigation treatments.

	Mulch	Irrigation	No. of fruits falling /tree		Yield/tree (kg)	
			2003	2004	2003	2004
Without		A	11.0 a	14.0 a	21.5 a	25.6 b
		B	9.0 ab	14.8 a	23.6 a	35.7 a
		C	5.8 b	13.3 a	24.3 a	33.1 a
		D	11.3 a	11.5 a	23.0 a	26.1 b
		Mean	9.3	13.4	23.1	30.1
With		A	10.3 ab	13.3 a	22.1 b	28.3 b
		B	6.5 bc	14.0 a	24.1 b	37.9 a
		C	4.0 c	13.8 a	28.7 a	27.8 b
		D	10.8 a	12.3 a	23.0 b	26.8 b
		Mean	7.9	13.4	24.5	30.2
F-Test		M	Ns	Ns	Ns	Ns
		I	**	Ns	**	**
		M × I	Ns	Ns	Ns	Ns

A = surface irrigation, B = drip irrigation 100 % ET_C, C = drip irrigation 75 % ET_C, D = drip irrigation 50 % ET_C. With = soil mulching with 2 cm thickness of rice straw, Without = bare soil without any mulch, Ns = non-significant, * = significant at 5% and ** = significant at 1%, M = soil mulching and I = irrigation.

In both seasons, data shown in Table 2 indicated that the yield of Navel orange trees was mostly higher under drip irrigation than of those under surface irrigation. Also, yield under soil mulching with 2 cm thickness of rice straw gave the highest values than that under un-mulched soil (bare soil). The highest values of yield occurred in drip irrigation 75 % ET_C and drip irrigation 100 % ET_C treatments under soil mulching and were found to be 28.7 and 37.9 kg/tree in seasons 2003 and 2004, respectively. The lowest values of yield were 21.5 and 26.1 kg/tree in surface irrigation and drip irrigation 50 % ET_C treatments under bare soil in seasons 2003

and 2004, respectively. The statistical analysis showed that the averages yield (kg/tree) under bare soil and soil mulching was non-significant, while irrigation factor was highly significant on averages yield of Navel orange tree. Interaction effect between mulching and irrigation factors on yield was not-significant. These results are in agreement with those obtained by Khalifa (1994b) and El-Zawily (2004).

4.1.2 Number of fruits falling/tree

In both seasons, data presented in Table 2 indicated that the No. of fruits falling/tree of Navel orange was not significantly as affected by irrigation, soil mulching and interaction between them in seasons 2003 and 2004, except irrigation factor in season 2003 was highly significant. The No. of fruits falling are similar in surface irrigation and drip irrigation 50 % ET_c treatments. The lowest No. of fruits falling was obtained in drip irrigation 75 % ET_c under soil mulching and drip irrigation 50 % ET_c under bare soil treatments in seasons 2003 and 2004, respectively and were found to be 4.0 and 11.5 fruit. These results are in agreement with those obtained by Khalifa (1994b), who found that mulching soil lowered fruit dropping comparing with bare soil.

4.1.3 Total soluble solids

Table 3 showed that the TSS was not significantly affected by irrigation, soil mulching and interaction between them at the two growing seasons 2003 and 2004. In season 2004, the values of TSS were lower under drip irrigation than that under surface irrigation while, in season 2003, the values of TSS didn't take a clear trend. The highest values of TSS were obtained under soil mulching in drip irrigation 75 % and 100 % ET_c treatments in season 2003 and 2004, respectively and were found to be 12.1 and 11.2 %.

These results are in agreement with those obtained by Ghali and Nakhlla (1996). They reported that soil cover treatments were a nearly stable percent of TSS. Also, Mohsen et al. (1988) reported that TSS increased with increasing soil moisture level in both flood and sprinkler irrigation.

4.1.4 Acidity

Table 3 showed that the fruit acidity was not significantly affected by irrigation, soil mulching and interaction between them at two growing seasons 2003 and

2004. There are not clear variations between values of acidity in the two growing season 2003 and 2004. The lowest values of acidity were obtained in drip irrigation 75 % ET_c treatment with and without soil mulching and were found to be 0.81 and 0.64 % in season 2003 and 2004, respectively. These results are analogues with Fares and Alva (1999) who noticed that acidity increased as consequence deficit irrigation.

Tab. 3: Some chemical characters (quality) of Navel orange fruits during 2003 and 2004 seasons as affected by soil mulching and irrigation treatments.

Mulch	Irrigation	TSS		Acidity(%)		Vitamin C. (mg / 100 ml juice)	
		2003	2004	2003	2004	2003	2004
Without	A	11.5 a	11.1 a	1.00 a	0.72 a	48.0 a	32.8 c
	B	11.7 a	10.8 ab	0.98 a	0.62 a	54.0 a	39.5 ab
	C	11.4 a	10.4 ab	0.98 a	0.64 a	51.0 a	42.4 a
	D	11.5 a	10.0 b	1.03 a		49.4 a	36.6 bc
	Mean	11.5	10.6	1.00	0.66	50.6	37.8
With	A	11.6 a	11.4 a	1.03 ab	0.67 a	45.4 b	36.1 b
	B	11.4 a	11.2 a	0.99 ab	0.74 a	50.8 ab	37.7 b
	C	12.1 a	10.7 a	0.81 b	0.67 a	54.7 a	43.5 a
	D	11.6 a	10.8 a	1.21 a	0.69 a	53.3 a	37.2 b
	Mean	11.7	11.0	1.01	0.69	51.1	38.6
F-Test	M	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
	I	Ns	Ns	Ns	Ns	*	**
	M × I	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns

A = surface irrigation, B = drip irrigation 100 % ET_c, C = drip irrigation 75 % ET_c, D = drip irrigation 50 % ET_c. With = soil mulching with 2 cm thickness of rice straw, Without = bare soil without any mulch, Ns = non-significant, * = significant at 5% and ** = significant at 1%, M = soil mulching and I = irrigation.

4.1.5 Vitamin C

Table 3 showed that vitamin C content was not significantly affected by soil mulching and interaction between irrigation and soil mulching in two growing

seasons 2003 and 2004, while irrigation factor was significant in 1st season and highly significant in 2nd season. The values of vitamin C content in fruit juice were higher under drip irrigation than that under surface irrigation. The highest values of vitamin C content (54.7 and 43.5 mg/100 ml juice), under the same conditions, were obtained at treatment C (drip irrigation 75 % ET_C). These results are in agreement with those obtained by El-Zawily (2004) who reported that increasing irrigation water applied increased vitamin C of Navel orange fruit juice.

4.2 Concentration of nutrients in leaves

4.2.1 Nitrogen concentration

Table 4 showed that the irrigation factor had a highly significant effect on total N in Navel orange leaves at the two growing season 2003 and 2004, while soil mulching had significant effect on it in season 2003 only. Interaction effect was not significant at the two growing seasons.

These values of total N were at minimum satisfactory level of nitrogen in orange leaves (2.5-2.8 % according to Bennett, 1994). The values of total N in Navel orange leaves were higher under soil mulching than that under bare soil except, in drip irrigation 50 % ET_C treatment in two growing seasons 2003 and 2004. In season 2004, the values of total N in Navel orange leaves were higher under drip irrigation than that under surface irrigation, but an opposite trend was found in season 2003. These results are in agreement with those obtained by Yagev and Horesch (1983) who showed that leaves of grapefruit under drip irrigation had a higher N content than that under sprinkler irrigation.

4.2.2 Phosphorus concentration

Table 4 showed that the irrigation, soil mulching and interaction between them had no significant effect on total P of Navel orange leaves at the two growing seasons 2003 and 2004. There is no variation between values of total P in two growing seasons, except in drip irrigation 75 % ET_C treatment in season 2004 the total P was higher (0.34 %) than the other one. These results seem to be in harmony with those obtained by Garcia et al., (2003). They showed that the amount of applied water didn't affected leaf-P of lemon "Fino 49".

Data showed that the values of leaf-P content are in excess than plant need: 0.10 to 0.17 % according to Bennett (1994). Higher availability of soil-P (15.24 mg/kg)

and added fertilizer could enhance the absorption of phosphate and its accumulate in orange leaves.

Tab. 4: Concentrations of N, P, K and Na in Navel orange leaves during 2003 and 2004 seasons as affected by soil mulching and irrigation treatments.

	Mulch	Irrigation	P %		K %			
			2003	2004	2003	2004	2003	2004
Without	A		2.78 a	1.61 b	0.18 a	0.25 a	1.36 a	0.98 b
	B		1.41 b	1.73 ab	0.16 a	0.20 a	1.26 ab	1.20 ab
	C		1.54 b	2.12 a	0.16 a	0.23 a	0.81 b	1.34 a
	D		1.89 b	2.09 a	0.17 a	0.25 a	1.22 ab	1.32 a
	Mean		1.91	1.89	0.17	0.23	1.16	1.21
With	A		2.56 a	1.72 b	0.19 a	0.23 b	1.45 a	1.00 b
	B		1.77 a	1.79 b	0.16 ab	0.22 b	1.20 a	1.21 ab
	C		2.47 a	2.37 a	0.16 ab	0.34 a	0.98 a	1.18 ab
	D		1.87 a	2.07 ab	0.14 b	0.22 b	1.11 a	1.49 a
	Mean		2.17	1.99	0.16	0.25	1.19	1.22
F-Test	M		*	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
	I		**	**	Ns	Ns	*	**
	M × I		Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns

A = surface irrigation, B = drip irrigation 100 % ET_c, C = drip irrigation 75 % ET_c, D = drip irrigation 50 % ET_c, With = soil mulching with 2 cm thickness of rice straw, Without = bare soil without any mulch, Ns = non-significant, * = significant at 5% and ** = significant at 1%, M = soil mulching and I = irrigation.

4.2.3 Potassium concentration

Table 4 showed that the irrigation factor had significant and high significant effect on total K of Navel orange leaves at season 2003 and 2004, respectively. The effect of soil mulching and interaction between irrigation and soil mulching were not significant at the two growing seasons. At season 2004, the values of total K were higher under drip irrigation than that under surface irrigation, but in season 2003, K-values had the opposite trend. The values of total K in Navel orange lea-

ves were in optimum level according to Beennett (1994) who reported that the optimum level of K in orange leaves ranged between 0.8 to 1.7 %. These results are in agreement with those obtained by Iobishvili and Mikautadze (1984) who showed that irrigation increased K contents in both old and young leaves and higher application rate of irrigation water gave only slightly higher nutrient values.

4.3 Water use efficiency (WUE)

Table 5 illustrates the effect of soil mulching and irrigation treatments on water use efficiency (WUE) of Navel orange fruits in two growing seasons. Data revealed that WUE values under soil mulching were higher than that under bare soil, except in treatment of drip irrigation 75 %ET_c in 2nd season. Also, values of WUE were higher in 2nd season than that in 1st one, except in treatment of drip irrigation 75 %ET_c in 2nd season. The highest values of WUE were obtained under soil mulching in drip irrigation 50 % ET_c treatment in 2nd season and was found to be 3.09 kg/m³. The lowest value of WUE was obtained under bare soil in surface irrigation treatment in 1st season and was found to be 0.86 kg/m³. These results are in agreement with those obtained by Ghali and Nakhlla (1996) who reported that soil mulch significantly increased fruit crop production and improved the values of plant water use efficiency under drip irrigation in sandy loam soil. Also, El-Araby (1997) revealed that WUE of mandarin under drip irrigation system is almost 3.3 times higher than that under flood irrigation system.

Tab.5: Water use efficiency of navel orange fruits (kg/m³) in two growing seasons 2003 and 2004 as affected by soil mulching and irrigation treatments.

Irrigation	Soil mulching			
	Bare soil		Soil mulching with rice straw	
	2003	2004	2003	2004
Surface irrigation	0.86 d	1.07 d	1.04 d	1.33 d
Drip irrigation 100 %ET _c	1.36 c	2.06 c	1.39 c	2.18 b
Drip irrigation 75 %ET _c	1.87 b	2.54 b	2.20 b	2.13 c
Drip irrigation 50 %ET _c	2.65 a	3.01 a	2.65 a	3.09 a

5. References

- Association of Official Analytical Chemists, 1975: Official Methods of Analysis. 12th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington Press. P. 401, 574-575.
- Bennett, F.W., 1994: Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants. Second print, chapter 17, 165-170.
- Carter, M.R., 1993: Soil Sampling and Methods of Analysis. Canadian Soc. Soil Sci., Lewis, London, Tokyo.
- Castel, J.R., Lidon, A.L., Gineta, C., Ramos, C. 1995: Yield, growth and nitrate leaching in drip-irrigated citrus trees under different fertigation treatments. Proceedings of the 5th International Micro Irrigation Congress Orlando, Florida, April 2-6, 4, 461-968.
- Chandaran, S.R., Salinas, K., Madeira, M., 2001: Weed control research at the organic farm. College of Agric., Forestry and Consumer Sci. (c.f. <http://www.caf.wvu.edu/plsc/organic/frontpage/weed.htm1>).
- Chapman, H.D., Pratt, P.F., 1961: Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. Univ. of California, USA.
- Chartzoulakis, K., Michelakis, N., Stefanoudaki, E., 1999: Water use, growth, yield and fruit quality of "Bonanz" oranges under different soil water regimes. Advances in Hort. Sci. 13, 6-11. [Hort. Abst. 69(8), 7299, 1999].
- Chung, S.O., Horton, R., 1987: Soil heat and water flow with a partial surface mulch. Water Resour. Res. 23, 2186.
- Cottenie, A., Verloo, M., Velghe, G., Kiekens, L. 1982: Biological and Analytical Aspects of Soil Pollution. Lab. of Analytical & Agron. State Univ. Ghent-Belgium.
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1977: Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO. Rome, Italy.
- El-Araby, A.A., 1997: Evaluation of drainage system in clay soils under flood and drip irrigation. M. Sc. Thesis, Fac. of Agric., Kafr El-Sheikh, Tanta Univ.
- El-Zawily, H.M., 2004: Influence of irrigation management, nitrogen and potassium fertilization on yield, fruit quality and storage life of "Washington Navel" orange fruits. M. Sc., Fac. of Agric., Kafr El-Sheikh Tanta Univ.
- FAO, 1980: Localized irrigation. FAO. Irrigation and Drainage Paper No. 36, Rome.

- Fares, A., Alva, A.K., 1999: Water relations, fruit quality and yield of citrus under different irrigation and fertilization rates in a sandy soil. Dahlia Greidinger International Symposium. Nutrient Management Under Salinity and Water Stress. Technion-Israel Inst. Of Technology, Haifa, 1-4 March 1999, 411-421.
- Garcia-Sanchez, F., Carvajal, M., Porras, I., Botia, P., Martinez, V. 2003: Effects of salinity and rate of irrigation on yield, fruit quality and mineral composition of 'Fino 49' lemon. *Europ. J. Agron* 19, 427-437.
- Ghali, M.H., Nakhlla, F.G., 1996: Evaluation of perforated polyethylene mulch on loamy sand soil under drip irrigated orange trees: 2-Soil thermal regime and moisture, root distribution and tree productivity. *Ann. of Agric. Sci., Moshtohor*, 34, 1090-1116.
- Hukkeri, S.B., Maji, C.C., Michael, A.M., 1977: Water Requirement and Irrigation Management of Crops in India. Water Technology Center, Indian Agric. Res. Inst.
- Iobishvili, N.P., Mikautadze, M.K., 1984: Effects of irrigation on the nutrient element content in mandarin leaves. *Subtropicheskie Kul'tury* 5, 20-24.
- Khalifa, M.R., Dawood, S.A., Zeerban, S.M., 2001: Yield, fruit quality and water consumptive use of Washington navel orange trees in relation to different flooding irrigation methods at Kafr El-Sheikh province. *J. Agric. Res. Tanta Univ.* 27, 358-370.
- Khalifa, M.R., 1994a: Some soil properties and yield of Valencia orange trees as affected by different types of mulching. *J. Agric. Res. Tanta Univ.*, 20(2), 361-371.
- Khalifa, M.R., 1994b: Effect of different types of mulching on water consumptive use of Valencia orange trees. *J. Agric. Res. Tanta Univ.* 20, 591-602.
- Klute, A., 1986: *Methods of Soil Analysis (Part 1)*. Amer. Soc. of Agron, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 3rd edition.
- Ministry of Agriculture and Land Reclamation, 2002: *Agricultural Statistics*. (<http://www.vercon.sci.eg>).
- Mohsen, A.M., Gaafar, S.I., Meligi, M.A., Swellem, A.A., 1988: Effect of soil moisture levels and irrigation system on Valencia orange trees. I- Fruit set and yield. *Zagazig J. Agric. Res.* 15.
- Morse, J.G., Robertson, C.A., 1987: Calculating canopy area of citrus trees and surface area of fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 115(1), 169-180.
- Nath, J., Sarma, R., 1992: Effect of organic mulches on growth and yield of Assam lemon. *Hort. J.* 5, 19-23.

- Smith, M., 1992: CROPWAT8- a computer program for irrigation planning and management. FAO8 irrigation and drainage paper #46, Rome.
- Snedecor, G.W., Cochran, W.G. 1972: Statistical Methods. 6th Ed. Iowa State Univ., Amess. Iowa.
- Yagev, E., Horesch, I., 1983: A comparison of drip and sprinkler irrigation in citrus orchards. Proceedings of the International Society of Citriculture 2, 508-511.

Die größten Irrtümer über Biogas – Ein Beitrag vom VDLUFA AK Biogas

K. Gödeke¹, F. Hengelhaupt¹, M. Paterson², M. Bischoff³

¹Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena, ²Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt, ³LUFA Nord-West, Oldenburg

1. Der VDLUFA „AK Biogas“

Der Arbeitskreis Biogas der VDLUFA wurde im März 2008 gegründet. Als AK-Leiter und -Sprecher wurde Dr. Bischoff von der LUFA Nord-West und als sein Stellvertreter Dr. Michels vom LTZ Augustenberg gewählt. Aktuell gibt es 61 Mitglieder, weitere sind herzlich willkommen! Der AK Biogas trifft sich i. d. R. halbjährlich mit jeweils etwa 20-30 Teilnehmern. Der AK ordnet sich in die VDLUFA Fachgruppe VIII (Umweltanalytik) ein.

Seit der Gründung kann der Arbeitskreis auf einige Leistungen zurückblicken. So wurden bereits zwei Verbandsmethoden, eine zur Probenahme von flüssigen Proben in Biogasanlagen (VDLUFA, 2011) und eine zur Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute in Gärtests (VDLUFA, 2011) abgeschlossen und veröffentlicht.

Ringversuche zur Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute in Gärtests werden vom VDLUFA in Zusammenarbeit mit dem KTBL fortlaufend in den beteiligten Laboren durchgeführt und ausgewertet.

Eine dritte Verbandsmethode zur Vorbereitung von Proben aus Biogasanlagen ist in Bearbeitung.

2. Landwirtschaftliche Biogasanlagen

Im Zuge der politischen Rahmensetzung am Anfang dieses Jahrhunderts, wurde die Biogasproduktion als landwirtschaftlicher Betriebszweig auch ökonomisch interessant. Viele Landwirtschaftsbetriebe, die anderweitig kein Wachstum des Betriebes realisieren konnten, investierten in diesen neuen

Betriebszweig. Anfangs entstanden die meisten BGA in der Nähe von Tierhaltungsanlagen, um den Vergärungsprozess mit den dort anfallenden Wirtschaftsdüngern zu stabilisieren. Futterpflanzen, die für die Tiere nicht benötigt wurden, kamen mit in die Biogasanlage, in der sie die Gasausbeute des reinen Wirtschaftsdüngers wesentlich erhöhten. Folglich werden auch heute noch hauptsächlich Rindergülle (24 % FM) und Maissilage (48 % FM) als Einsatzsubstrate in Biogasanlagen bevorzugt (Weiland et al., 2009). Mit dem Bau von BGA, losgelöst von der Tierhaltung, ergeben sich aber auch mehr Fruchtartenoptionen, die sich potenziell zur Biogasgewinnung eignen würden.

Nach dem guten Start des „Landwirts als Energiewirt“ und „Erzeuger grünen Stromes“, worauf weitere Landwirte aktiv in diese Branche einstiegen, wurde der Landwirt jedoch plötzlich in die „Umweltsünderecke“ gedrängt. Er sah sich mit Schlagworten wie „Maiswüsten“, „Vermaisung der Landschaft“, „Landschaftsverchandlung durch Anlagenbau“, „Geruchsbelästigung durch BGA“ und vielen weiteren, konfrontiert. Nicht immer zu Recht, wie wir finden. Deshalb sei im Folgenden auf einige der verbreitetsten Irrtümer bzgl. Biogasproduktion eingegangen.

3. Die größten Biogasirrtümer und deren Aufklärung

3.1 Biogasproduktion fördert nur den Silomaisanbau!“

Zuerst ist erneut festzuhalten, dass sich der konzentrierte Silomaisanbau vorrangig in den viehstarken Regionen befindet, da Silomais die effizienteste Futterpflanze für Wiederkäuer ist. Aufgrund dieser Eigenschaften ist Silomais daher auch optimal und effizient für die Biogasproduktion geeignet.

Hierbei ist die Reihenfolge entscheidend, den konzentrierten Silomaisanbau gab es in den viehstarken Regionen also schon bereits vor dem Bau der ersten BGA. Die Biogasproduktion hat dieses Problem nicht hervorgerufen, es jedoch in diesen „vorbelasteten“ Regionen sicherlich verstärkt.

Ein klarer Zusammenhang zwischen der Höhe der installierten elektrischen Leistung der BGA und dem Umfang des Silomaisanbaus lässt sich jedoch nicht ableiten (Abb. 1). Der Tierbesatz spielt hier eine viel entscheidendere Rolle.

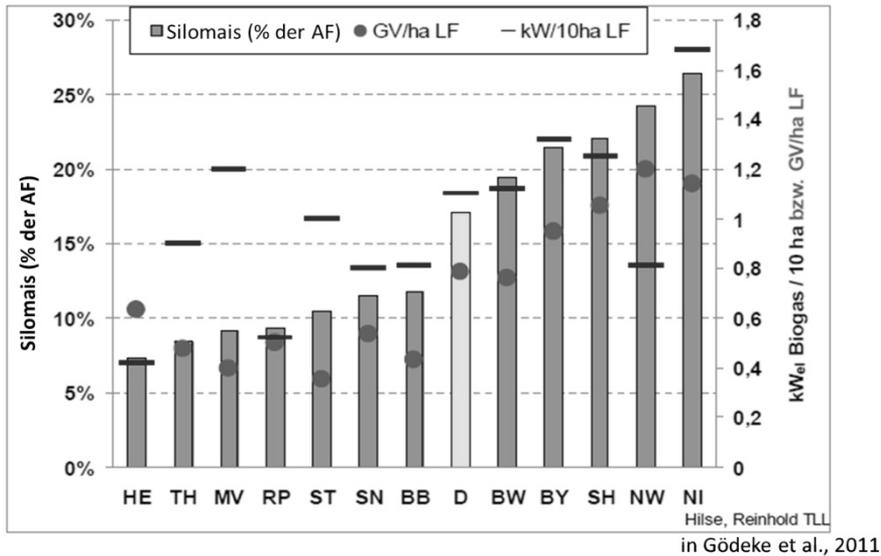


Abb. 1: Silomaisanteil an der Ackerfläche (in %), installierte Leistung der Biogasanlagen (in kW_{el}) sowie der Tierbesatz (in GV/ha LF) pro Bundesland und in Deutschland gesamt

In den anderen Regionen (und das ist der größere Anteil in Deutschland) ist der Mais eine Fruchtartenbereicherung in der Fruchtfolge. Die getreidedominierten Fruchtfolgen der ostdeutschen Bundesländer z. B. werden durch den Silomais als neues Fruchtfolgeglied erweitert und damit trägt der Silomais an diesen Standorten zur Erhöhung der Agrobiodiversität bei.

Warum wird der Mais nun aber für die Biogasproduktion favorisiert? Hier einige Fakten kurz zusammengefasst:

Mais eignet sich gut als Biogassubstrat, weil er

- eine bekannte Futterpflanze ist (Anbau, Ernte, Eigenschaften),
- hohe Erträge bei kurzer Vegetationszeit erbringt,
- geringe Ansprüche an die Bodenart hat,
- einen niedrigen spez. N-Bedarf hat und org. Düngung gut verwerten kann,
- einen geringen Aufwand an Pflanzenschutz benötigt,
- eine hohe Wassereffizienz aufweist (Klimawandel),
- z. Zt. der Einsatzstoff mit den niedrigsten Kosten pro Menge erzeugtem Methan (ct/m³Methan) ist.

In dem Zuge der Förderung des Einsatzes von NaWaRos durch die verschiedenen EEG-Fassungen, ist der Anstieg der Maisanbaufläche in den vergangenen Jahren sicherlich so (gefühl) auffällig, da die Maisfläche in den davorliegenden Jahren, aufgrund des starken Rückgangs der Tierzahlen in Deutschland, auch stark gesunken war (Abb. 2). Die stetige Zunahme der Weizenanbaufläche, auf einem doppelt so hohen Anbauflächenniveau wie der Silomais, wird dagegen in der Öffentlichkeit scheinbar nicht so kritisch gesehen.

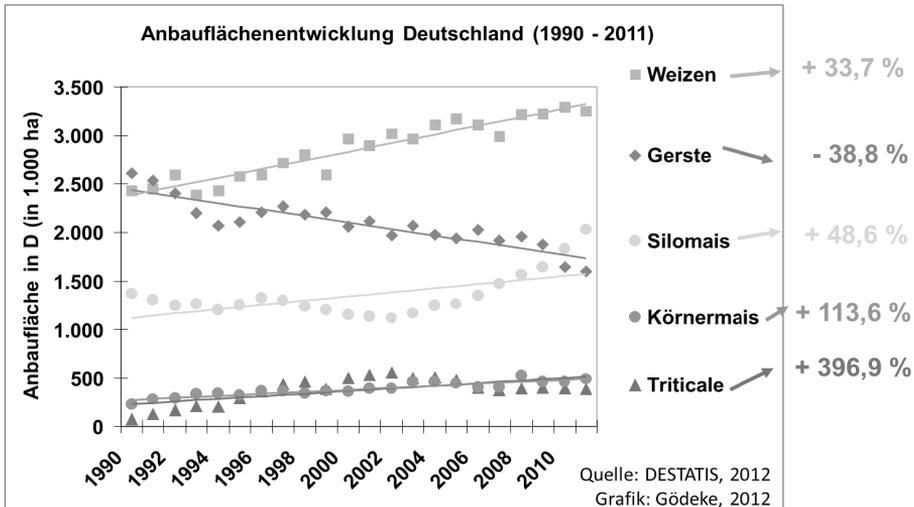


Abb. 2: Anbauflächenentwicklung ausgewählter Fruchtarten in Deutschland (1990-2011, in ha)

Bei dem Anstieg der Silomaisanbaufläche in den letzten 10 Jahren, muss jedoch auch beachtet werden, dass lediglich ein Drittel der Anbaufläche von der Biogasproduktion beansprucht wird. Zwei Drittel der Silomaisfläche sind nach wie vor für die Fütterung notwendig (FNR, 2013).

3.2 „Silomaisanbau bringt Nachteile für die Umwelt!“

Diese meist sehr plakative und allumfassende Aussage, muss differenziert betrachtet werden. Mais kann negative Umweltauswirkungen haben, muss aber nicht, und das gilt für alle landwirtschaftlichen Kulturen auch.

Umweltvorwurf:	Fakten:
Mais in Selbstfolge reduziert die potenzielle Artenvielfalt stark!	... wie jede annuelle Fruchtart, die in Selbstfolge angebaut wird, und fördert sie auch im Fruchtwechsel mit anderen Kulturen!
Hohe, dichte und flächenmäßig große Maisbestände behindern individuell subjektive Sichtachsen in die Landschaft!	... gleichzeitig bieten sie zwischen den abgeernteten Getreidefeldern Rückzugsgebiete für die verschiedenen Lebensformen.
Hohe Maisanteile an der Ackerfläche bedingen stark negative Humussalden!	... nicht, wenn eine Rückführung organischer Dünger (z. B. Gülle, Gärreste) erfolgt.
Hohe Maisanteile an der Ackerfläche bedingen hohe N-Überschusssalden sowie starke Boden-Erosion auf den Flächen!	... diese sind Fehlern im Betriebsmanagement geschuldet, nicht der Fruchtart. Lösungen dafür finden sich in der „Guten fachlichen Praxis“ (z. B. Untersaaten).

(Gödeke et al., 2011)

3.3 Biogasanlagen stinken und sind klimaschädlich!

Eine starke Geruchsbelästigung durch Biogasanlagen gibt es bei optimaler Betriebsweise nicht. Gülle, die vor ihrer Ausbringung auf die Ackerflächen zunächst in einer Biogasanlage vergoren wurde, verursacht wesentlich geringere Geruchsbelästigungen als unvergorene Gülle.

Bei der Einsparung von Treibhausgasemissionen leistet die Bioenergie im Kraftstoff- und Wärmesektor den größten Anteil von den Erneuerbaren Energien. Im Strombereich übernimmt sie den zweiten Platz in der Rangfolge der Treibhausgasemissionseinsparung, nach der Windenergie und vor Wasserkraft sowie Solarenergie (Abb. 3).

in Mio. t CO₂-Äq.

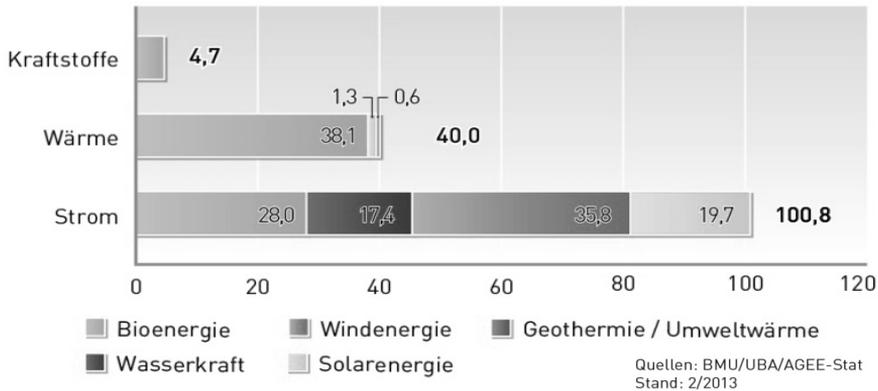


Abb. 3: Vermiedene Treibhausgas-Emissionen durch die Nutzung Erneuerbarer Energien in Deutschland 2012

3.4 Biogasanlagen sind Spekulationsobjekte großer Investoren und tragen nicht zur Wertschöpfung in der Landwirtschaft bei!

Erhebungsdaten zeigen hier ein ganz deutliches Bild, nämlich dass fast drei Viertel der installierten Leistung von Biogasanlagen im Eigentum von Landwirten ist (Abb. 4).

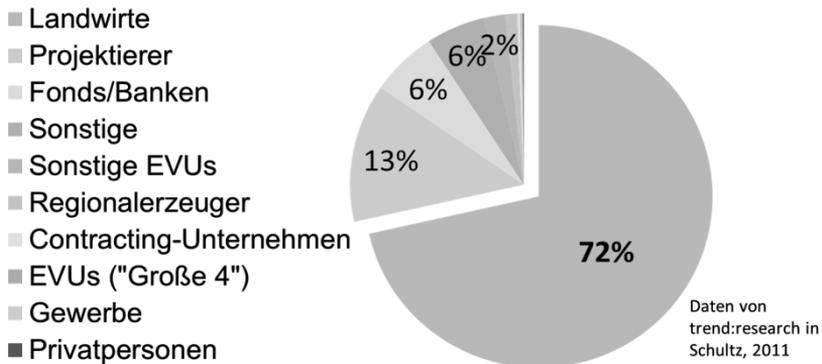


Abb. 4: Anteile der Eigentümer an der installierten Leistung von Biogasanlagen 2010 (gesamt 2.280 MW)

Dem entspricht auch der vom Statistischen Bundesamt erhobene Trend, dass 42 % der Betriebe die Erneuerbaren Energien als Einkommensalternative angeben. Danach folgen vertragliche Arbeiten mit lediglich 28 %.

3.5 Ausbringung von Gärresten auf landwirtschaftliche Flächen schafft Keim- und Erregerkreisläufe!

Die meisten pathogenen Mikroorganismen werden im anaeroben alkalischen Milieu des Gärprozesses gehemmt. Dieses Faulraummilieu hat, auch im mesophilen Bereich, ein Reduktionspotenzial (EFSA, 2007). Krankheitserreger, die im Vergärungsprozess überleben, vermehren sich dort nicht. Zusätzlich tritt im Reaktorraum ein Verdünnungseffekt ein, so dass die Konzentration der Erreger in den Gärresten vielfach unter der Nachweisgrenze liegt (Ade-Kappelman, 2008).

Auch Untersuchungen von Reinhold (2012) ergaben eine z. T. deutliche Verringerung der Keimbelastung von Gülle durch die Vergärung in Biogasanlagen (Abb. 5).

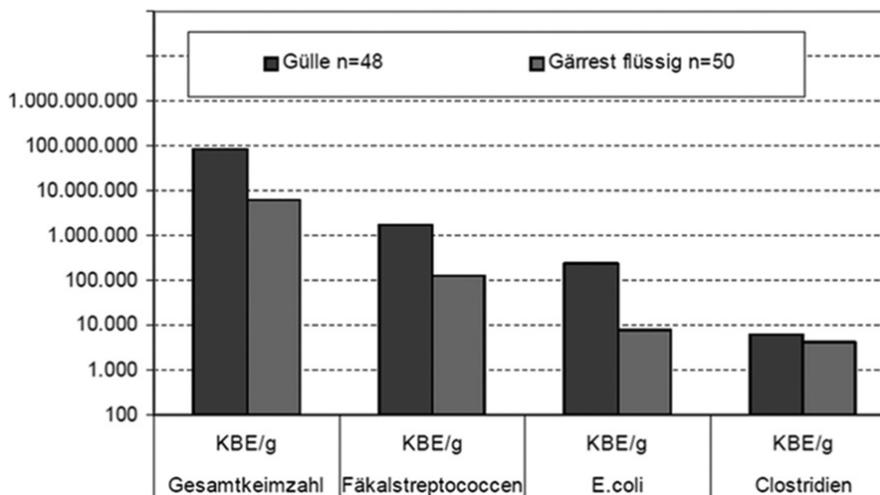


Abb. 5: Wirkung der Biogaserzeugung auf den hygienischen Status (Erhebung 2012)

4. Fazit

Es gibt viele Vorwürfe und Überzeugungen gegen Biogasanlagen. Viele Argumente beruhen jedoch meist auf Vorurteilen oder haben ihren Ursprung vom „Hörensagen“ über Dritte und können fachlich und sachlich schnell widerlegt oder zumindest relativiert werden! **Sprechen Sie uns an!** Optimierungsoptionen gibt es dennoch immer! **Wir arbeiten daran!**

5. Literaturangaben

Ade-Kappelmann, K., 2008: Untersuchungen zur seuchenhygienischen Unbedenklichkeit von Gärresten aus Bioabfällen nach der Behandlung in Anaerobanlagen. Dissertation, http://www.renewable-energy-concepts.com/fileadmin/user_upload/download-infos/Diss._Ade-appelmann_Hygenisierung.pdf.

Agentur für Erneuerbare Energien, 2013: Vermiedene Treibhausgas-Emissionen durch die Nutzung Erneuerbarer Energien in Deutschland 2012. Grafik unter http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/AEE_Vermiedene_Treibhausgas_Emissionen_2012_feb13-01.jpg.

FNR, 2013: Maisanbau in Deutschland. Grafik unter <http://mediathek.fnr.de/grafiken/pressegrafiken/maisanbau-in-deutschland.html>.

Gödeke, K., Reinhold, G., Vetter, A., Peyker, W., Graf, T., Warsitzka, C., Schubert, K., Weiser, C., Dotzauer, M., Hilse, A., 2011: Sachstandsanalyse Energiemais - „Energiemaisanbau - Auswertung agrarstatistischer Daten und Studien, Einordnung und Bewertung der Wirkungen des Energiepflanzenanbaus auf die Agrarflächennutzung“. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU, <http://www.til.de/ainfo/pdf/emai0811.pdf>.

Reinhold, G., Neumann, R., 2013: Hygienischer Status der Biogaserzeugung. Poster unter <http://www.til.de/ainfo/pdf/bihy0313.pdf>.

VDLUFA, 2011: Methode 1.1.1 Probenahme von flüssigen Proben in Biogasanlagen - V -. In: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.): Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. VII Umweltanalytik. 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

- VDLUFA, 2011: Methode 4.1.1 Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute in Gärtests - V -. In: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.): Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. VII Umweltanalytik. 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Weiland, P., Gemmeke, B., Riega, C., Schröder, J., 2009: Biogas Messprogramm II, Hrsg. FNR, 1. Auflage 2009, aktualisiert 2010, ISBN 978-3-9803927-8-5 und unter http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_385-messprogramm_ii.html.

Die Anpassungsstrategie an den Klimawandel für Baden-Württemberg – die Anpassungsmaßnahmen im Handlungsfeld Landwirtschaft

H. Flaig

Landwirtschaftliches Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg, Karlsruhe

1. Vorgehen bei der Anpassungsstrategie

Die Landesregierung von Baden-Württemberg erarbeitet derzeit eine „Anpassungsstrategie an die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels“. Um die Strategie auf eine wissenschaftliche Grundlage zu stellen, wurden auf der Basis regionaler Klimamodelle zunächst „klimatische Leitplanken“ abgeleitet (LUBW, 2013) und dann Fachgutachten für verschiedene Handlungsfelder in Auftrag gegeben, die durch einen Ressort-Arbeitskreis des zuständigen Ministeriums fachlich begleitet wurden. Das LTZ Augustenberg in Karlsruhe wurde damit beauftragt, das Gutachten für die Landwirtschaft, eines von 10 Handlungsfeldern in der Gesamtstrategie, zu erstellen. Dabei wurde zunächst die Vulnerabilität der Landwirtschaft gegenüber den zu erwartenden klimatischen Veränderungen analysiert (Flaig, 2013) und darauf aufbauend Maßnahmen zur Anpassung abgeleitet. Im weiteren Vorgehen werden die Ergebnisse der Fachgutachten zu einer Gesamtstrategie zusammengeführt. Eine Beteiligung der Verbände und der interessierten Öffentlichkeit soll sich anschließen.

Bei der Erarbeitung der Vulnerabilitäten und Anpassungsmaßnahmen waren auch Partner von anderen Landesanstalten eingebunden. So fanden auch Maßnahmen für Garten-, Obst- und Weinbau sowie Nutztierhaltung Eingang in die Strategie. Die folgende Vorstellung der Anpassungsmaßnahmen konzentriert sich auf den Pflanzenbau, insbesondere auf den Ackerbau.

2. Klimafaktoren und mögliche Anpassungen

Die Vulnerabilitätsanalyse (Flaig, 2013) wurde für Hitzebelastung, Trockenheit und Starkniederschläge durchgeführt, weil diese Klimafaktoren ein deutliches Klimasignal, gute Richtungssicherheit und vergleichsweise geringe Streuung der Modellergebnisse aufwiesen. Bei den Anpassungsmaßnahmen wurden auch andere Klimafaktoren berücksichtigt.

2.1 CO₂-Konzentration der Atmosphäre

Die CO₂-Konzentrationen werden vermutlich weiter ansteigen. Die CO₂-Düngung in höheren Ertrag umzusetzen und – wegen der bei höheren CO₂-Konzentrationen veränderten Qualitätseigenschaften – gleichzeitig die notwendige Qualität zu sichern, ist ein Ziel für die Pflanzenzüchtung. Hier ist auch eine angepasste Düngungsstrategie besonders für Stickstoff gefragt. Es gibt Hinweise darauf, dass hohe CO₂-Konzentrationen die Nitrataufnahme stören könnten (Bloom et al., 2010). Insofern könnte eine ammoniumbetonte Düngung neue Perspektiven aufzeigen. Diese Anpassungsmaßnahmen sind insgesamt nicht dringlich, erfordern aber langfristige Planung, um rechtzeitig neue Pflanzensorten zur Verfügung stellen zu können.

2.2 Höhere mittlere Temperatur

Wärmeliebende Arten werden ihren Anbauumfang ausweiten können. In der Regel reagieren die Landwirte schnell auf sich bietende Möglichkeiten, neue Kulturen und Sorten auszuprobieren. Am Beispiel Sojabohne lässt sich die mögliche Entwicklung ablesen: Sie wurde 2012 bereits auf mehr als 1400 Hektar in Baden-Württemberg angebaut. Mais wird bei steigenden Temperaturen weiter an Konkurrenzkraft gewinnen, so dass der Anbauumfang vermutlich noch zunehmen wird. Zu beachten ist jedoch, dass das hohe Ertragspotential nur bei ausreichender Wasserversorgung ausgenutzt werden kann – wie das außergewöhnlich warme und trockene Jahr 2003 gezeigt hat. Auf leichten Böden in eher niederschlagsarmen Regionen wird eine Ausweitung des Maisanbaus an Grenzen stoßen. Hirsearten werden vermutlich ebenfalls konkurrenzstärker. In Versuchen des LTZ hat sich gezeigt, dass Sorghum-Hirsen mit Trockenheit besser zurecht kommen als Mais. Sorghum benötigt im Vergleich zu Mais ca. 30 % weniger Wasser für eine vergleichbare Biomasseleistung (Stolzenburg und Monkos, 2012).

Sowohl unter Mais, als auch unter Hirse ist der Boden wegen der lange Zeit geringen Bodenbedeckung erosionsanfälliger als bei anderen Kulturen. Hinzu kommt bei Nutzung als Silomais eine negative Humusbilanz. Bei Ausweitung des Anbaus ist daher sowohl Erosionsschutz, als auch Humuserhalt zu beachten. Leguminosen und Zwischenfrüchte sind hierbei ein wichtiger Baustein. Zwischenfrüchte bieten auch Schutz vor Erosion und Nitratauswaschung und sind somit eine no-regret-Option, es sei denn, sie würden den Bodenwasservorrat für die Folgefrucht spürbar mindern.

Auch wenn mildere Winter in Zukunft vermutlich häufiger werden, muss weiterhin mit Spät- und auch Frühfrösten gerechnet werden. Eventuell werden Kaltlufteinbrüche sogar gefährlicher, wenn sie auf Pflanzen treffen, die in milden Phasen ihre Frostresistenz verloren haben. Insofern sind vor allem im Sonderkulturbereich Maßnahmen wie Frostschutzberegnung, Bewindung, Abdeckung mit Vliesen oder geschützter Anbau (im Gartenbau) weiterhin unabdingbar.

Wann welche Schaderreger wo in welcher Virulenz auftauchen, ist zwar eher von kurzfristigen Witterungsereignissen abhängig und unterliegt neben den klimatischen Gegebenheiten einer Vielzahl anderer beeinflussender Faktoren (Globalisierung, Resistenzeigenschaften der Sorten, veränderte Bewirtschaftungsbedingungen usw.). Beim Pflanzenschutz ist aber die Vulnerabilität der Kulturpflanzen gegenüber neuen oder verstärkt auftretenden Krankheitserregern, Schädlingen und Unkräutern potentiell hoch.

So sieht sich der Pflanzenschutz vor enorme Herausforderungen gestellt, denn es wird nicht berechenbar sein, wann welche „neuen“ Schaderreger in Baden-Württemberg ankommen. Wahrscheinlich ist lediglich die Tendenz, dass wärmeliebende Unkräuter, Schädlinge und Krankheitserreger an Bedeutung gewinnen werden, und zwar auch jene, die bereits etabliert sind. Um schnell reagieren zu können, muss die Schaderregerüberwachung (Monitoring) intensiviert werden. Datenlücken zur Biologie, Epidemiologie, Populationsdynamik, Befalls-Verlust-Relationen und Schad- bzw. Bekämpfungsschwellen von Schaderregern sind für die Entwicklung von Prognosemodellen möglichst kurz- und mittelfristig zu schließen. Die Bekämpfungsmaßnahmen müssen angepasst werden. Das betrifft die Entwicklung und Optimierung von Pflanzenschutzmitteln, aber auch den integrierten Pflanzenschutz, die biologische Bekämpfung und die Züchtung auf Schaderregerresistenz.

Anpassungsmaßnahmen sind im Falle der Fruchtfolgen, Nutzung der Anbauzeiträume und bereits zugelassener neuer Arten und Sorten vom Landwirt schnell und nach Bedarf und Möglichkeit umsetzbar. Frostschutzmaßnahmen im Sonderkulturbereich oder auch bei Frühkartoffeln haben eine hohe Priorität, allerdings ist nicht klar, inwieweit sie in Zukunft häufiger als heute zum Einsatz kommen müssen. Falls erosionsanfällige Kulturen wie Mais und Hirse im Ackerbau verstärkt angebaut werden, haben Maßnahmen zum Erosionsschutz wie konservierende Bodenbearbeitung und Begrünung hohe Priorität. Sie sind bekannt und kurzfristig umzusetzen. Ähnliches gilt für die Humusproduktion

als eines der Ziele der Fruchtfolgegestaltung. Hohe Priorität und Dringlichkeit haben die Maßnahmen des Pflanzenschutzes.

2.3 Hitzebelastung

Im Ackerbau kann man gegen akute Hitzebelastung wenig ausrichten. Eine Bewässerung würde über Transpirationskühlung Linderung verschaffen, ist aber im Ackerbau nur in Ausnahmefällen wirtschaftlich. Hier bleiben lediglich präventive Maßnahmen wie die Streuung des Anbausrisikos durch eine mehrgliedrige Fruchtfolge und die Verwendung mehrerer Sorten statt nur einiger weniger. Je nach Standort können „neue“ Winterungen wie Winter-Körnerleguminosen oder C4-Pflanzen wie Mais und Sorghum-Hirse eine Zusatzoption sein, aber auch Soja, Sonnenblumen oder hitzetolerante Sorten.

Mit zunehmender Erwärmung, damit verbundener höherer Hitzebelastung und ggf. Trockenheit werden Kulturarten, die weniger hitze- und trockentolerant sind, in den vulnerablen Gebieten des Landes an Konkurrenzkraft verlieren und in höhere Lagen oder in nördlichere Anbauggebiete abwandern. Dazu gehören Kartoffeln, Raps und Hafer. Eine ähnliche Differenzierung gilt für die Sorten.

Für die Pflanzenzüchtung muss Hitzetoleranz in das bisherige Zuchtprogramm integriert bzw. verstärkt bearbeitet werden, damit eine hohe und zuverlässige Ertragsbildung auch bei hohen Temperaturen möglich wird, ohne dass die Kälteresistenz, die weiterhin benötigt wird, leidet.

Die pflanzenbaulichen Anpassungsmaßnahmen an die Hitzebelastung werden mit zunehmender Anzahl von Hitzetagen sukzessive von den Landwirten umgesetzt werden, sofern sie sich ökonomisch lohnen. Gegebenenfalls kann die landwirtschaftliche Beratung unterstützen. Längere Vorlaufzeiten benötigen die Pflanzenzüchtung zur Bereitstellung angepasster Sorten und der Bau bzw. die klimatechnische Um- und Nachrüstung von Gewächshäusern und Viehställen. Hier liegt die höchste Priorität; wegen der Vorlaufzeiten ist der Maßnahmenbeginn auch dringlich.

2.4 Trockenheit

Viele Aussagen, die bei der Hitzebelastung zu Fruchtfolge, Kulturarten und Sorten gemacht wurden, gelten auch für die Anpassung gegen Trockenstress, da Hitze und Trockenheit oft zusammen auftreten.

Die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen ist wegen ihrer hohen Kosten derzeit lediglich im Garten-, Obst- und Weinbau weiter verbreitet. Wenn die Infrastruktur bereits vorhanden ist, werden gelegentlich auch Ackerbaukulturen wie Körner- und Saatmais, Kartoffeln, Zuckerrüben, und eventuell Getreide beregnet. Inwieweit sich die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung im Ackerbau in Zukunft ändern wird, ist nicht abschätzbar. Unabhängig vom Klimawandel wird jedoch mit einer weiteren Zunahme der Gartenbaukulturen gerechnet. Im Zuge des Klimawandels mit höherer Evapotranspiration und weniger Niederschlägen wird die Notwendigkeit der Bewässerung zunehmen, damit ein ausreichender Ertrag und eine akzeptable, marktfähige Qualität erzielt werden kann. Die Weiterentwicklung effizienter, wassersparender Bewässerungsverfahren und Bewässerungssteuerungen bleibt hier eine wichtige Aufgabe und erfordert entsprechende Investitionen.

Wenn nicht bewässert werden kann oder sich eine Bewässerung nicht lohnt, dann bleiben pflanzenbauliche Strategien:

- Kulturen, die die Bodenstruktur und Durchwurzelung verbessern.
- Trockentoleranz als Züchtungsziel, aber auch als Anbaukriterium.
- Optimale Ausnutzung der Winterfeuchte, z. B. über eine frühere Aussaat von Sommerungen oder frühere Abreife.
- Methoden witterungsunabhängigerer Nährstoffversorgung: Platzierte Düngung, stabilisierte Düngerformen, Depotdüngung im Wurzelraum der Pflanzen, Blattdüngung.
- Regelmäßige und ausreichende Zufuhr von organischer Substanz im Düngekonzept. Damit wird auch die Wasser- und Nährstoffkapazität und das Bodenleben gefördert.
- Konservierende Bodenbearbeitung hat vorteilhafte Auswirkungen auf die verfügbare Bodenfeuchte.

Die pflanzenbaulichen Anpassungsmaßnahmen sind bekannt und relativ leicht umsetzbar. Sie sind eine Frage der Beratung, der technischen Ausstattung und des ökonomischen Vorteils. Bei der Düngung sind verstärkt Versuche notwendig. Versuchsergebnisse des LTZ zeigen, dass z. B. bei CULTAN-Depotdüngung Erträge und Qualitäten wie bei herkömmlicher Düngung bei geringerer Witterungsabhängigkeit erzielt werden können. Die Züchtung trockenintoleranter Arten und Sorten benötigt mehrere Jahre Vorlaufzeit. Bewässerungsmaßnahmen benötigen erhebliche Investitionen und sind eine langfristige Aufgabe, nicht nur hinsichtlich der Optimierung der Technik, sondern auch der Organisations-

strukturen (z. B. Beregnungsverbände) oder der Bereitstellung der Wasserentnahmerechte. Wegen der wirtschaftlichen Bedeutung der betroffenen Kulturen ist diese Anpassungsmaßnahme dringlich und prioritär.

2.5 Hohe Winterniederschläge, Starkniederschlag und Hagel

Bei höheren Niederschlägen im Winterhalbjahr ist eine funktionierende Versicherung wichtig, um eine zügige Abtrocknung der Ackerflächen zu erreichen und Staunässe zu vermeiden. Zu feuchte Böden behindern die Bearbeitbarkeit und bergen das Risiko der Bodenverdichtung. Entsprechend wichtig ist die zeitliche Planung der Bearbeitung und die breite Verfügbarkeit entsprechend geeigneter, bodenschonender Landtechnik (z. B. Niederdruckreifen).

Erosionsschutzmaßnahmen werden weiter an Bedeutung gewinnen. Konservierende Bodenbearbeitung, vor allem Mulchsaat und auf geeigneten Standorten auch Direktsaat, schont darüber hinaus die Bodenwasservorräte und das Bodenleben. Sie ist mit Anpassungen in Pflanzenschutz und ggf. Fruchtfolge relativ leicht und kurzfristig umsetzbar und den meisten Akteuren bereits bekannt.

Es gibt Hinweise darauf, dass mit steigenden Temperaturen und einer Zunahme der Luftfeuchte eine erhöhte Gewitter- und Hagelneigung einhergehen könnte – sowohl in der Vergangenheit, als auch in der Zukunft (Mohr und Kunz, 2012; Kapsch et al., 2012). In Garten-, Obst- und Weinbau lassen sich die Auswirkungen von Hagel und Starkregen durch Hagelschutznetze und Überdachungen vermeiden bzw. abmildern. Die Investitionskosten sind allerdings erheblich, wegen der wirtschaftlichen Bedeutung der betroffenen Kulturen jedoch von hoher Priorität und vermutlich auch hoher Dringlichkeit. Eventuell müssen Versicherungslösungen angepasst werden, wenn Unwetter und Hagelschlag im Zuge des Klimawandels zunehmen.

3. Fazit

Bis zur Mitte des Jahrhunderts sollten sich die negativen Auswirkungen des Klimawandels für die Landwirtschaft in Grenzen halten. Viele Anpassungsmaßnahmen können die Landwirte relativ kurzfristig umsetzen: Arten- und Sortenwahl mit Wassereffizienz und Hitzetoleranz als Kriterien, Risikostreuung durch

vielfältigere Sortenwahl und Fruchtfolge, Anpassung von Saatzeit und -dichte, konservierende Bodenbearbeitung, Begrünung, Humusreproduktion, Düngungsstrategie, erweiterte Anbauzeiträume, neue Arten/Sorten.

Daher sind insbesondere solche Maßnahmen dringlich und prioritär, die eine lange Vorlaufzeit und/oder hohe Investitionen erfordern. Dazu gehören:

- Züchtung der Kulturpflanzen auf Hitzetoleranz, Trockenheitstoleranz, Abreifeverhalten (früh/spät), Ausnutzung der CO₂-Düngung unter Wahrung ausreichender Qualität, Resistenz gegen Schädlinge und Krankheitserreger.
- Im Pflanzenschutz Schaderreger-Monitoring, Schließen der Datenlücken zur Biologie, Epidemiologie, Populationsdynamik, Befalls-Verlust-Relationen und Schad- bzw. Bekämpfungsschwellen von Schaderregern, Anpassen der Bekämpfungsmaßnahmen.
- Bau bzw. klimatechnische Um- und Nachrüstung der Gewächshäuser und Viehställe zur Anpassung an die zunehmende Hitzebelastung (Kühlung, Klimatisierung).
- Schaffung einer Infrastruktur für Bewässerungsmaßnahmen insbesondere für Sonderkulturen, aber auch Ackerbaukulturen; Optimierung der Bewässerungstechnik.
- Schutzeinrichtungen gegen Hagel und Starkregen wie Gewächshäuser, Überdachungen, Hagelschutznetze.

4. Literaturangaben

- Bloom, A.J., Burger, M., Rubio Asensio, J.S., Cousins, A.B., 2010: Carbon Dioxide Enrichment Inhibits Nitrate Assimilation in Wheat and Arabidopsis. *Science* 328, 899-903.
- Flaig, H., 2013: Die Anpassungsstrategie an den Klimawandel für Baden-Württemberg – die Vulnerabilitätsanalyse im Handlungsfeld Landwirtschaft. VDLUFA-Schriftenreihe 69 (dieser Band), Kongressband 2013 Berlin, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Kapsch, M.-L., Kunz, M., Vitolo, R., Economou, T., 2012: Long-term trends of hail-related weather types in an ensemble of regional climate models using a Bayesian approach. *Journal of Geophysical Research* 117, D15107, doi:10.1029/2011JD017185.

- LUBW (Hrsg.), 2013: Vergleich regionaler Klimaprojektionen für Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- Mohr, S., Kunz, M., 2012: Recent trends and variabilities of convective parameters relevant for hail events in Germany and Europe. Atmos. Res., doi:10.1016/j.atmosres.2012.05.016.
- Stolzenburg, K., Monkos, A., 2012: Sorghumhirsen zur Biogasnutzung als Alternative bzw. Ergänzung zum Energiemaisanbau. LTZ Augustenberg (Hrsg.), Karlsruhe.

Danksagung

Die Arbeiten an der Anpassungsstrategie wurden beauftragt und gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.

Anbaueignung von Sorghum auf Standorten in Brandenburg

M. Martin, G. Barthelmes

Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung,
Güterfelde

1. Einleitung und Zielstellung

Mais ist wegen seines Trockenmasse- und Methanertragspotenzials, seiner bekannten Produktionstechnik sowie guten Silierbarkeit und Wirtschaftlichkeit das dominierende Kosubstrat in der Biogaserzeugung. Da sein Anbau deswegen besonders im Einzugsgebiet sehr großer Biogasanlagen zunimmt, wird befürchtet, dass sich dies negativ auf abiotische und biotische Umweltfaktoren wie Bodenfruchtbarkeit und biologische Vielfalt auswirkt. Daher wird nach gleichwertigen alternativen Pflanzenarten zur Ergänzung des Maisanbaus gesucht, wobei das Spektrum mit Eignung für leichte Sandböden und häufige Trockenheit sehr eingeschränkt ist. Eine Alternative könnte für derartige Standorte Sorghum darstellen. Wie Mais zählt Sorghum zu den C₄-Pflanzen, besitzt ein hohes Trockenmasse-Ertragspotenzial sowie eine relative Trockentoleranz. Aufgrund der vorherrschenden Standortbedingungen und züchterischer Fortschritte nahm der Sorghumanbau in Brandenburg zu. Insgesamt wird hier auf derzeit rund 4000-6000 ha der Sorghumanbau in der Praxis erprobt. Je nach lokaler Anbauerfahrung ist es auch mehrjährig in den Fruchtfolgen integriert (Hanff, 2013). Insbesondere auf leichten Böden hat sich Sorghum in den letzten Jahren für landwirtschaftliche Betriebe zu einer Anbaualternative bzw. -ergänzung zu bestehenden Kulturen für die Verwendung in Biogasanlagen etabliert. Dazu zählen auch pflanzenbaulich problematische Rekultivierungsstandorte des Braunkohlentagebaus, welche in einigen Landwirtschaftsunternehmen der Lausitz größere Flächenanteile einnehmen und daher erhebliche wirtschaftliche Bedeutung besitzen.

Zur Bewertung von Sorghum für die Verwendung als Biogassubstrat sowie zur Qualifizierung der Produktionstechnik unter Brandenburger Standortbedingungen beteiligt sich das Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF) Güterfelde bereits seit 2008 an Mehrländer-Verbundprojekten zum Anbau von Sorghum (Förderung durch das BMELV über die FNR

e. V. – FKZ 22021507, FKZ 22006910). In Kooperation mit dem Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e. V. (FIB e. V.) wurden dabei Sortenversuche auf zwei Diluvialstandorten und zwei Rekultivierungsstandorten durchgeführt.

2. Material und Methoden

Auf zwei Diluvialstandorten (D) Güterfelde und Dröbzig und zwei technologischen Rekultivierungs- bzw. Kippenstandorten (K) bei Grünewalde (ehemaliger Tagebau Koyné, verkippt 1958) und Welzow (Tagebau Welzow-Süd, verkippt 2000) (Knoche, 2011) wurden seit 2008 Exaktfeldversuche zur Arten- und Sortenprüfung von Sorghum im Vergleich zu Mais durchgeführt (Tab. 1). Sorten der Sorghumarten *Sorghum bicolor* (Futterhirse) und *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense* (Sudangrashybriden) standen zwei Maisreferenzsorten (mittelfrüh, mittelspät) zum Anbau in Hauptfruchtstellung (Aussaat Mitte Mai) für den direkten Vergleich der Anbauwürdigkeit gegenüber.

Tab. 1: Charakteristik der Versuchsstandorte

Parameter	Güterfelde	Dröbzig	Grünewalde	Welzow
Entstehung	Diluvium (D)		Rekultivierung/Kippe (K)	
Bodenform	Salm-bis Sandtieflehm- Fahlerde	Braunerde- Pseudogley	Tertiär- Kippkohle- Lehmsand	Quartär- Kippsand
Bodenart	Sl	O-Bod.: Sl2 U-Bod.: Ls3	Sl2	O-Bod.: Ss U-Bod.: Sl2
Ackerzahl	28-35	40	-	-
Höhenlage [m]	42-44	108	104	121
Niederschlag lj. Mittel [mm]	545	631	631	577
Temperatur lj. Mittel [°C]	9,1	8,8	8,8	9,2

Die versuchstechnische Anlage und Durchführung der Versuche erfolgte arten- und standortangepasst. Die Aussaat erfolgte mit 8-9 Körnern/m² für Mais, 25 Körnern/m² für *Sorghum bicolor* und 40 Körnern/m² für *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*. Die Datenerhebung wurde nach den Richtlinien des Bun-

dessortenamtes (2000) und nach projektinternen Vorgaben durchgeführt. Aufgrund der wechselnden Zusammensetzung des Sorghumsortiments werden ausgewählte Sorten über die Prüfzeiträume (5 Jahre, 3 Jahre und 2 Jahre) orthogonal betrachtet. Für den Ertragsvergleich von Sorghum mit Mais dienen die absoluten mittleren Ertragswerte der beiden Mais-Referenzsorten als Bezugsbasis.

3. Ergebnisse und Diskussion

Im mehrjährigen und mehrortigen Arten- und Sortenvergleich war Mais mit durchschnittlich 138-182 dt/ha TM-Ertrag überwiegend die ertragsstärkste Kultur. Dennoch zeigten in Abhängigkeit des Jahres einige Sorghumsorten Erträge, die an das Ertragsniveau des Mais heranreichten oder es sogar überschritten (Tab. 2).

Insbesondere die massebetonten, langwüchsigen Sorten von *Sorghum bicolor* wiesen ein hohes Ertragspotenzial auf. Für das Erreichen eines für die Silierung optimalen TS-Gehaltes von 28-32 % benötigt *Sorghum bicolor* jedoch eine lange Vegetationszeit. Die Abreife ist dabei sehr stark abhängig von der Sorte und den Witterungsbedingungen während der Vegetation. Auch lange Standzeiten von rd. 150 Tagen bis Mitte Oktober garantierten nicht immer ein ausreichendes Niveau des TS-Gehaltes. KWS Zerberus (rel. 100 bei 28,6 %) und Amiggo (rel. 104 bei 29,7 %) erzielten im Mittel der Jahre optimale TS-Gehalte bei Erträgen auf Maisniveau. Für den Sorghumanbau in der Praxis sind die langsame Abreife durch höheren Vegetationszeitananspruch im Hinblick auf die Silagequalität und den Anbau der Folgefrucht relevant (Ebel et al., 2013). *Sorghum bicolor* eignet sich deshalb eher für den Hauptfruchtanbau mit Aussaattermin Mitte Mai.

Sorten der Hybriden *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense* blieben mit durchschnittlich rel. 70 bis 99 im Ertrag überwiegend unter den Maiserträgen und lagen auch unter den Leistungen der ertragsstarken Sorten von *Sorghum bicolor*. Im Abreifeverhalten und TS-Gehalt bestanden größere Sortenunterschiede. Im Sortiment waren sowohl Sorten mit zügiger Abreife als auch Sorten mit sehr später Abreife enthalten, vergleichbar mit *Sorghum bicolor*. Zügig abreifende Sorten wie Lussi (rel. 91 bei 32,5 %) und KWS Freya (rel. 95 bei 29,5 %) erzielten relativ hohe Erträge bei optimalen TS-Gehalten. Aufgrund der

deutlich kürzeren Vegetationszeit von rd. 120-130 Tagen und entsprechend schnellerer Abreife eignen sich diese Sorten sowohl für eine frühe Ernte ab Mitte September als auch für den Einsatz als Zweitfrucht nach Grünschnittroggen und bedingt nach Ganzpflanzengetreide mit Aussaatterminen bis Ende Juni (Ebel et al., 2013).

Der mittlere Standortvergleich zeigt, dass das Ertragspotenzial von Mais auf den geprüften Diluvialstandorten (D) mit durchschnittlich 147-182 dt TM/ha höher als auf den Rekultivierungsflächen (K) mit durchschnittlich 133-146 dt TM/ha liegt (Tab. 2). Auf dem noch jungen Rekultivierungsstandort Welzow wurden dabei die geringsten Erträge aller drei Arten erzielt. Das Ertragsniveau der Arten war wiederum abhängig von den Sorten und der Jahreswitterung. Deutlich wird, dass die Ertragsrelationen der Sorghumsorten zu Mais zwischen den Diluvial- und Rekultivierungsstandorten nur geringfügig voneinander abwichen.

Für den Anbau auf leichten bis mittleren Diluvial- und Rekultivierungsböden sind folgende Sorten zu empfehlen (Barthelmes und Martin 2013):

Sorghum bicolor x Sorghum sudanense

Lussi und KWS Freya sind die leistungsstärksten der geprüften Sudangrashybriden, erreichten bezogen auf Mais ein knapp mittleres Ertragsniveau bei guten TS-Gehalten, gegebenenfalls auch für den Zweitfruchtanbau geeignet

Sorghum bicolor

KWS Zerberus, Amiggo und Hercules sind die ertraglich besten der geprüften Futterhirssesorten, ausreichende TS-Gehalte erzielten nur KWS Zerberus und Amiggo stabil

Nach einjähriger Prüfung zeigten sich weitere Sorghumsorten als aussichtsreich.

Tab. 2: Relativer TM-Ertrag, TS-Gehalt, Pflanzenlänge und Vegetationstage von Sorghum im Vergleich zu Mais, 2008-2012

		D	K	D	K	Standortmittel	
		TM-Ertrag [dt/ha]		TS-Gehalt [%]		Pfl. länge [cm]	Veg.tage [d]
		Mais abs. / Sorghum rel.		absolut		absolut	
<u>5 Prüffahre (2008-2012)</u>							
Mais Sortenmittel = BB*		161	138	31,3	31,7	251	133
Lussi	S.b.xS.s.	89	92	32,3	32,7	262	127
Sucrosorgo 506	S.b.	102	99	22,4	23,3	285	147
<u>3 Prüffahre (2008-2010)</u>							
Mais Sortenmittel = BB*		147	133	30,3	29,8	241	132
Susu	S.b.xS.s.	77	70	26,2	26,1	226	133
Goliath	S.b.	105	108	25,1	25,7	293	148
Rona 1	S.b.	87	82	24,8	24,7	210	148
Super Sile 20	S.b.	70	64	22,1	23,8	207	148
<u>2 Prüffahre (2011-2012)</u>							
Mais Sortenmittel = BB*		182	146	32,8	34,4	266	134
KWS Freya	S.b.xS.s.	91	99	29,0	29,9	301	117
KWS Zerberus	S.b.	97	103	28,0	29,1	314	146
Hercules	S.b.	102	102	25,2	26,1	340	146
Amiggo	S.b.	103	105	29,1	30,2	344	146

*BB= Bezugsbasis= relativ 100

D= Diluvialstandorte; K= Kippen-/Rekultivierungsstandorte

S.b.= Sorghum bicolor; S.b. x S.s= Sorghum bicolor x Sorghum sudanense

4. Fazit

Die Trockenmasseerträge und die Abreife von Sorghum sind sehr stark abhängig von den Standortbedingungen, aber auch von der Sortenwahl. Beide geprüften Sorghumarten erwiesen sich aufgrund des hohen Trockenmasseertragspotenzials und aufgrund ihrer relativen Trockentoleranz vor allem auf ertragsschwächeren und trockenen Diluvial- und Rekultivierungsstandorten als anbauwürdig. Das unterschiedliche Entwicklungs- und Abreifeverhalten der Sorghumarten und -sorten muss bei der Einordnung in die Fruchtfolge im

Hinblick auf Aussaat (Hauptfrucht/Zweitfrucht) und Ernte (Anbau Folgefrucht) berücksichtigt werden. Trotz langer Vegetationszeit ist bei den Futterhirsen (*Sorghum bicolor*) das Erreichen des optimalen TS-Gehaltes von > 26 % nicht immer gesichert. Geeignete Sudangrashybriden (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) hingegen reifen zügiger bei zwar geringeren, aber u. U. stabileren Erträgen.

Die Wettbewerbskraft des Sorghumanbaus hängt entscheidend von der weiteren Bereitstellung verbesserter Sorten ab. Diese müssen einen hohen Trockenmasseertrag mit Vorteilen im Trockenmassegehalt bei zügiger Jugendentwicklung, guter Kältetoleranz und günstiger Standfestigkeit kombinieren. Frühes und starkes Lager kann sehr hohe Ertragsverluste verursachen.

5. Literaturangaben

- Barthelmes, G., Martin, M., 2013: Sortenratgeber 2013 – Silomais, Körnermais, Sorghum. Fachinformation Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, Güterfelde.
- Bundessortenamt, 2000: Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Landbuch Verlag, Hannover.
- Ebel, G., Barthelmes, G., Heiermann, M., 2013: Energiepflanzen auf nordost-deutschen Diluvialstandorten – Ergebnisse EVA-Fruchtfolgeprojekt. In: 125. VDLUFA-Kongressband 2013 Berlin, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Hanff, H., 2013: persönliche Mitteilung. Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Ruhlsdorf.
- Knoche, D., 2011: persönliche Mitteilung. Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e. V., Finsterwalde.

Verfahrensvergleich zur Ermittlung von Stroherträgen

G. Ebel^{1,2}, G. Barthelmes¹, J. Zimmer¹

¹Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Stahnsdorf/OT Güterfelde, ²Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., Potsdam

1. Einleitung

Aus zahlreichen Diskussionen der letzten Jahre ergibt sich die Frage, wie in landwirtschaftlichen Feldversuchen der Strohertrag ermittelt wird. Es existieren Zweifel, dass dafür identische Methoden an den Standorten bzw. im Vergleich zu früheren Untersuchungen angewandt werden. In diesem Zusammenhang ist in Standardwerken (z. B. Anonymus, 2008) zum einen die Methodik der Ermittlung von Korn-Stroh-Verhältnissen nicht beschrieben. Zum anderen wird davon ausgegangen, dass das Zahlenmaterial älteren Versuchen (> 25 Jahre) entstammt. Als Konsequenz dessen wurden Dauerversuche im Land Brandenburg aktuell zum Korn-Stroh-Verhältnis ausgewertet (Zimmer et al., 2013). Es wurden unterschiedliche methodische Vorgehensweisen festgestellt.

2. Material und Methoden

In den Versuchen des EVA-Projektes („Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ (EVA)) werden seit 2005 am Standort Güterfelde (Kreis: Potsdam-Mittelmark, Ackerzahl: 29-33, Bodenart: IS; durchschnittlicher Jahresniederschlag: 545 mm, Jahresmitteltemperatur: 9,1 °C) unter anderem die Stroherträge von Winterroggen und -triticale ermittelt. Von beiden Getreidearten wurde bis 2009 der „erntbare Strohertrag“ mit dem Häcksler aus dem Schwad erfasst. Das entspricht den Stroherträgen in der Praxis (ohne Spreu) unter Berücksichtigung der unvermeidbaren Ernteverluste. Des Weiteren wird im Versuchswesen auch das Verfahren mit direktem Auffangen von Stroh und Spreu nach dem Mähdrusch mittels Plane angewendet (Verfahren für die Ermittlung des Ertrags der Koppelprodukte). Aufgrund der beschriebenen Problematik war es Ziel, beide Metho-

den zu vergleichen. So wurden beide Ernteverfahren parallel mit 80 Aufnahmen bei der Winterroggenernte in den Jahren 2010 und 2011 in unterschiedlichen Versuchen und Varianten durchgeführt.

3. Ergebnisse

Aus den 80 Vergleichsmessungen an Winterroggen (Sorte Visello) ergibt sich ein Faktor von 0,72 für den Vergleich zwischen „erntbarem Strohertrag“ und dem Strohertrag mit Spreu (Abb. 1).

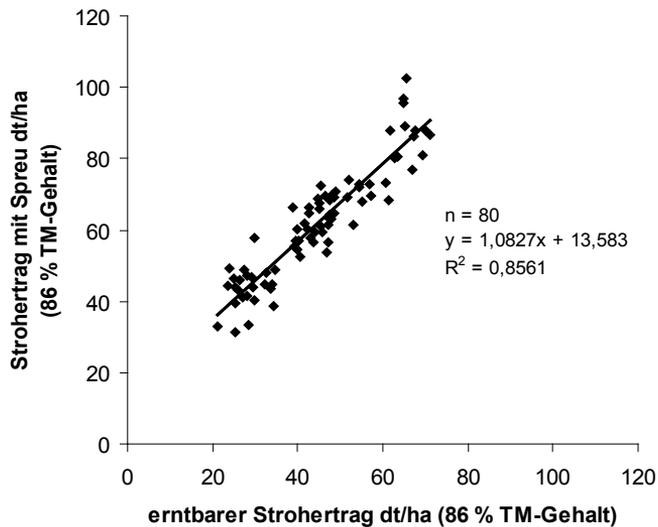


Abb. 1: Vergleich der Ertragsermittlung Winterroggenstroh der Verfahren „mit Spreu“ und „erntbarer Strohertrag“ (Aufnahme aus dem Schwad), Güterfelde, n=80, Versuche EVA-Projekt, Jahre 2010 und 2011

Unvermeidbare Verfahrensverluste bei der Aufnahme des Stroh aus dem Schwad sind dabei berücksichtigt. Das entspricht einem durchschnittlichen Strohertrag von 45 dt/ha (ohne Spreu) gegenüber 62 dt/ha (mit Spreu). Unter Berücksichtigung des Kornertes lagen die Korn-Stroh-Verhältnisse bei 1 : 0,78 (erntbarer Strohertrag) bzw. 1 : 1,08 (Strohertrag mit Spreu). Demnach ergibt sich hier ein Unterschied von 0,3.

4. Fazit

Die Differenz in den Stroherträgen zeigt die Notwendigkeit, stets die Methodik der Strohertragsermittlung zu benennen. Insbesondere bei regionalen Potenzialanalysen des Strohangebotes auf Basis von Korn-Stroh-Verhältnissen ist nur vom „erntbaren Strohertrag“ auszugehen. Die bisher als allgemein gültig angenommenen Richtwerte zu Korn-Stroh-Verhältnissen sind mit aktuellen Versuchen zu evaluieren (vgl. Zimmer et al., 2013). Mehrjährig und mehrortig vergleichende Strohertragsfeststellungen für verschiedene Getreidearten und -sorten erhöhen die Aussagefähigkeit und sind anzustreben. Wünschenswert wäre zudem die standardisierte Ermittlung des Strohertrags im Rahmen der amtlichen Sortenprüfung.

5. Literaturangaben

Anonymus, 2008: Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV). Herausgeber: Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung des Landes Brandenburg.

Zimmer, J., Dittmann, B., Ebel, G., Schweitzer, K., Baumecker, M., Barkusky, D., Rühlmann, J., Löffelbein, B., 2013: Aktuelle Korn-Stroh-Verhältnisse von Wintergetreide im integrierten und ökologischen Landbau im Land Brandenburg. Jahresbericht Landwirtschaft und Gartenbau 2012, Schriftenreihe des Landesamtes für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Frankfurt (Oder), im Druck.

Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Verbundvorhaben: „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ (EVA) – Koordinator: TLL Jena – wird mit Mitteln des Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz gefördert. Der Projektträger ist die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FKZ: 22002305, 22013008 bzw. 22006012), (Internetseite: <http://www.eva-verbund.de>). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Einfluss der langjährigen differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf die Dynamik der organischen Bodensubstanz

D. Pikula

Pulawy, Polen

1. Einleitung

Der Gehalt an organischer Substanz (SOM) im Boden ist eine der wichtigsten Determinanten der Bodenfruchtbarkeit und gehörte zu den neun Faktoren der bevorstehenden EU-Richtlinie über Qualitäts- und Bodenschutz. Die Frage der Quantität und Qualität der organischen Substanz im Boden ist in den polnischen Böden besonders relevant. Diese zeichnen sich meist durch eine geringe Reaktivität und eine Zusammensetzung aus Sanden und leichten Tönen Licht aus. Der durchschnittliche Gehalt an organischer Substanz liegt für diese Böden bei 2,2%.

2. Materialien und Methoden

Versuchsplanung: Der langjährige Versuch wurde im Jahre 1979 an der Landwirtschaftlichen Versuchsstation Grabow in der Nähe von Puławy mit zwei Fruchtfolgen A und B begonnen. In der Rotation A wurden folgenden Pflanzen angebaut: Kartoffeln, Winterweizen, Sommergerste und Silomais. Die Rotation B umfasste Kartoffeln, Winterweizen + Senf, Sommergerste und eine Klee-Gras-Mischung.

Faktoren des Experiments:

1. Fruchtfolge A und B
2. Stallung: 0, 20, 40, 60 und 80 t ha⁻¹
3. Mineralischen Stickstoffdüngung in vier, dem Nährstoffbedarf der Pflanzen angepassten Düngungsstufen (N0, N1, N2 und N3).

Die Phosphatdüngergabe betrug einheitlich in beiden Rotationen 54 kg P₂O₅ ha⁻¹. Die Kalium-Düngergabe betrug 85 kg K₂O ha⁻¹ für die Sommergerste, 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ bei Winterweizen, 115 kg K₂O ha⁻¹ für der Klee-Gras-Mischung, 120 kg K₂O ha⁻¹ im Silomaisanbau und 160 kg K₂O ha⁻¹ für Kartoffeln.

3. Ergebnisse und Diskussion

Der mittlere Gehalt an organischer Substanz ($SOM = \% Corg. \times 1,724$) im Jahre 1979, vor dem Beginn des Experiments war 1,28 % (Abb. 3). Nach acht Versuchsjahren mit differenzierter mineralisch-organischer Düngung betrug der SOM-Gehalte in der Fruchtfolge ohne Leguminosen 1,24 % und in der Fruchtfolge mit Leguminosen (Klee) 1,34 %. In den folgenden Jahren blieb in Fruchtfolge B der Gehalt an organischer Substanz konstant oder leicht zunehmend, insbesondere in Kombination mit einer Dosis von mehr als 40 Tonnen Stalldung pro Hektar. In der zweiten Fruchtfolge mit identischen Dosen von Düngemitteln und Stallmist wurde ein systematischer Rückgang der organischen Substanzen beobachtet (Abb. 1).

In dieser Fruchtfolge wurde festgestellt, dass durch die Anwendung sogar sehr hoher Dosen von Stallmist (60-80 t pro Hektar alle vier Jahre) die Abnahme des Humus im Boden nicht vermieden werden konnte. Die Analyse zeigt die Bedeutung der Variation „zufälliger Effekt“ (Jahre Erfahrung) und die Bedeutung der Auswirkungen der Fruchtfolge und organischen Düngung auf den Gehalt an organischer Substanz im Boden (Abb. 3).

Die Verwendung von verschiedenen Mineraldüngergaben erhöhte nicht den Gehalt an organischer Substanz, sondern führte zu seiner Stabilisierung (Abb. 2).

In der Rotation (Fruchtfolge A), in welcher das Stroh nicht eingepflügt wird und keine Hülsenfrüchte angebaut werden, war die Verwendung von organischem Dünger in Gaben von mehr als 40 t ha⁻¹ alle 4 Jahre nicht ausreichend, um die organische Substanz im Boden zu stabilisieren. Der Anteil von Leguminosen (Klee) in der Fruchtfolge B verhinderte den Rückgang des Gehalts an organischer Substanz im Boden. In der Fruchtfolge ohne Leguminosen (Klee) konnte eine Verarmung des Bodens an SOM selbst durch die höchste Gabe von organischem Dünger (60-80 Tonnen pro Vier-Feld-Rotation) nicht verhindert werden. In beiden Fruchtfolgen A und B variierte der SOM-Gehalt erheblich zwischen den Feldversuchen, was auf die räumliche Variabilität der Standorteigenschaften zurückgeführt werden kann. Durch die Varianzanalyse konnte auch das Zusammenwirken dieser Faktoren nachgewiesen werden.

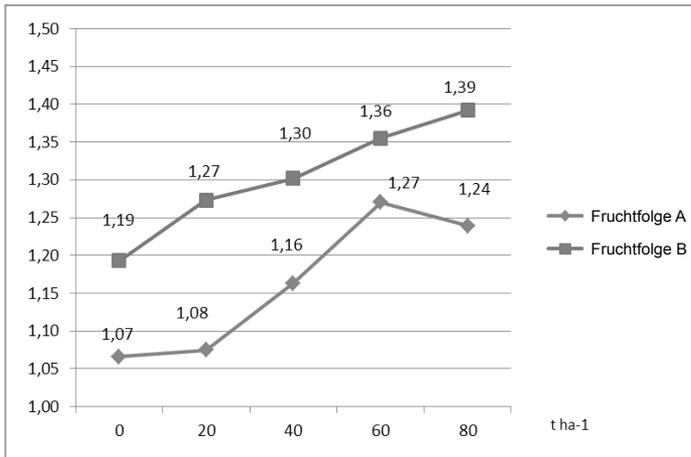


Abb. 1: Die Wirkung verschiedener Stalldunggaben auf den Gehalt an organischer Substanz (% SOM) im Boden

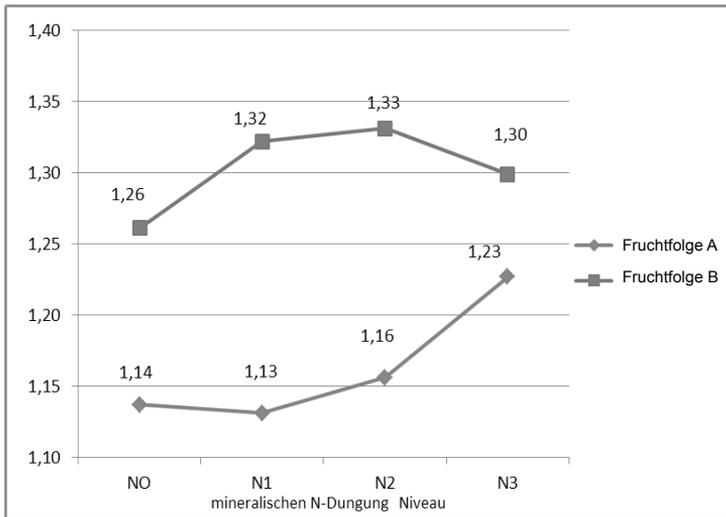


Abb. 2: Die Wirkung verschiedener Niveaus mineralischer N- Düngung auf den Gehalt an organischer Substanz (% SOM) im Boden

In dreißig Versuchsjahren konnte gezeigt werden, dass eine Erhöhung des Gehalts an organischer Substanz im Boden nur mit Hilfe regelmäßiger Stalldunggaben sowie dem Anbau von Hülsenfrüchten realisiert werden kann. Deut-

lich wurde, dass der Einfluss der Fruchtfolge auf die Zunahme des SOM-Gehaltes des Bodens größer war als die Auswirkung der organischen Düngung.

4. Zusammenfassung

Dreißig Versuchsjahre haben gezeigt, dass der Gehalt an organischer Substanz im Boden, der für eine optimale Bodenfruchtbarkeit und gute Erträge erforderlich ist, nur realisiert werden kann, falls dem Boden regelmäßig Stalldung zugeführt und Hülsenfrüchte angebaut werden. Die Verwendung von verschiedenen Mineraldüngergaben erhöhte nicht den Gehalt an organischer Substanz, sondern bewirkte lediglich seine Stabilisierung.

Schätzung der *in situ*-Abbauparameter des Rohproteins und UDP-Schätzung bei Leguminosen-Gras-Gemengen, Ackerbohnen, Körnerfuttererbsen und Blauen Lupinen

H.-J. Alert¹, A. Titze², S. Kirchhof³

¹Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Abt. Tierische Erzeugung, Köllitsch, ²Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft, Gülzow, ³Kiel

1. Einleitung

In den nächsten Jahren wird es verstärkt darauf ankommen, heimische Eiweißfutterpflanzen in der Tierfütterung einzusetzen. Gras, Luzerne und Klee sind die wichtigsten Eiweißquellen für die Milchkuhfütterung. Hierbei kommt es besonders darauf an, bei der Konservierung die Proteolyse zu minimieren. Darüber hinaus wird angestrebt, durch Verfütterung der Körnerleguminosen Ackerbohne, Körnerfuttererbse und Süßlupine den Sojabohnenimport zu verringern. Durch den Einsatz dieser Körnerleguminosen ergeben sich außerdem positive Wirkungen auf die Fruchtfolge (Nachhaltigkeit). Für die Milchkuhfütterung im Hochleistungsbereich ist es wichtig, die ruminale Abbaubarkeit des Proteins der Futtermittel zu kennen, weil die Höhe des im Duodenum nutzbaren Rohproteins (nXP) neben dem Anteil an mikrobiellem Protein auch durch das im Pansen unabgebaute Futterprotein (UDP) bestimmt wird. Die in den DLG-Futterwerttabellen (1997) und der DLG-Futtermitteldatenbank ausgewiesenen UDP-Gehalte einzelner Futtermittel gilt es, sortenbezogen zu erweitern.

In den nachfolgend dargestellten Untersuchungen wurde deshalb der ruminale Trockensubstanz- und Rohproteinabbau von 16 Leguminosen-Gras-Gemengen und jeweils 3 Sorten Ackerbohnen, Körnerfuttererbsen und Blauen Lupinen im Pansen bestimmt.

2. Material und Methoden

Die Leguminosen-Gras-Gemenge sowie der Rotschwingel stammten vom ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld der LFA M-V in Gülzow. Die Ernte erfolgte im Stadium des Rispschiebens der Graspartner.

3. Aufwuchs 2009: A (80 % Sichelluzerne, 20 % Rotschwingel)
 B (70 % Saatluzerne, 30 % Rotschwingel)
 C (70 % Weideluzerne, 30 % Rotschwingel)
 D (70 % Hornklee, 30 % Rotschwingel)

1. Aufwuchs 2010: E (40 % Weideluzerne, 60 % Rotschwingel)
 F (40 % Saatluzerne, 60 % Rotschwingel)
 G (40 % Sichelluzerne, 60 % Rotschwingel)
 H (40 % Hornklee, 60 % Rotschwingel)
 J (100 % Rotschwingel)
 K (40 % Rotklee, 60 % Wiesenschweidel)

2. Aufwuchs 2010: L (40 % Weideluzerne, 60 % Rotschwingel)
 M (40 % Saatluzerne, 60 % Rotschwingel)
 N (40 % Sichelluzerne, 60 % Rotschwingel)
 O (50 % Hornklee, 50 % Rotschwingel)
 P (100 % Rotschwingel)
 Q (50 % Rotklee, 50 % Wiesenschweidel)

Das Referat Grünland und Feldfutterbau des LfULG lieferte jeweils 3 Sorten Ackerbohnen (ESPRESSO, FUEGO, TANGENTA), Körnerfuttererbsen (NETTE, CASABLANCA, ROCKET) sowie Blaue Lupinen (SONATE, BOREGINE, BORLU). Als Versuchskühe wurden drei trockenstehende HF-Kühe mit großer permanenter Pansenfistel im LVG Köllitsch des LfULG genutzt.

Alle Futterproben wurden 24 h bei 58 °C getrocknet und anschließend über ein 3 mm Sieb gemahlen. Danach wurden jeweils etwa 4 g dieser Proben in Polyester-Gaze-Beutel eingewogen (Typ R1020).

Die weitere Versuchsdurchführung erfolgte entsprechend der im Rahmen eines Ringversuches (Autorenkollektiv, 2007) erarbeiteten Vorschrift zur Durchführung von Versuchen mit der Pansenbeuteltechnik.

Der prozentuale Verlust an RP aus den Residuen wurde mit Hilfe der Methode MARQUARDT der NLIN-Prozedur von SAS (2002) durch iterative Verfahren an nachstehende Funktion angepasst (Ørskov, 2000):

$$p_t = a + b(1 - e^{-c \times (t - \text{lag})}), \text{ für } t > \text{lag}.$$

Dabei entspricht p dem prozentualen Verlust der untersuchten Stoffgruppe zum Zeitpunkt (Inkubationszeit) t . A , b und c sind Schätzwerte für die verschiedenen Fraktionen des Rohproteins, welche von der NLIN-Prozedur geschätzt werden. Der Parameter a entspricht dem Anteil der sofort löslichen Fraktion, b entspricht dem Anteil der unlöslichen, potentiell abbaubaren Fraktion und c schätzt die Abbaurrate der unlöslichen potentiell abbaubaren Fraktion des Rohproteins. Die Bezeichnung lag steht für die geschätzte Verzögerungszeit (in h) bis der Abbau des Rohproteins beginnt. Während bei den Leguminosen-Gras-Gemengen die RP-Verluste aus den Pansenbeuteln um die mikrobielle Kontamination korrigiert wurden, war dies bei den Körnerleguminosen nicht nötig (Krawielitzki et al., 2006). Die Korrektur der RP-Verluste um die mikrobielle Kontamination der Residuen (MA: mg/g residuales RP für $t \geq 16$ h) erfolgte auf Vorschlag von Edmunds et al. (2006) nach der von Krawielitzki et al. (2006) vorgeschlagenen Vorgehensweise anhand der Exponentialfunktion $MA = A_{\max}(1 - e^{-Rt})$, wobei A_{\max} die maximale bakterielle Besiedlung bei $t \sim \infty$, R die Besiedlungsrate (h^{-1}) und t die Inkubationszeit (h) darstellt.

A_{\max} wurde anhand der von Krawielitzki et al. (2006) festgestellten signifikanten Beziehung zwischen NDF- und RP-Gehalt des Originalmaterials und A_{\max} anhand folgender Gleichung berechnet:

$$A_{\max} (\text{mg/g}) = (506 + 0,48 \text{ NDF (g/kg TS)} - 0,77 \text{ RP (g/kg TS)}) / 10.$$

Die Besiedlungsrate wurde mit folgender Gleichung berechnet:

$$R (\text{h}^{-1}) = (133 + 0,09 \text{ NDF (g/kg TS)} - 0,35 \text{ RP (g/kg TS)}) / 1000.$$

Der MA-Schätzwert wurde für die Inkubationszeiten 16, 24 und 48 h von dem analysierten RP-Gehalt der Residuen subtrahiert, bevor weitere Kalkulationen zum RP-Abbau durchgeführt wurden.

Weiterhin wurde aus den geschätzten Parametern der effektive Abbau des RP (ERP) nach folgender Gleichung von McDonald (1981, modifiziert nach Wulf und Südekum, 2005) berechnet:

$$\text{ERP} = a + [bc / (c + k)] * e^{-k * \text{lag}}, (k = \text{Passagerate aus dem Pansen/h})$$

Es wurden Passageraten (k) von 2, 4, 5, 6 und 8 %/h aus dem Pansen für unterschiedlich hohe Futteraufnahmen angenommen.

3. Ergebnisse und Diskussion

Tab. 1: *In situ*-Abbauparameter des Rohproteins der Leguminösen Gras-Gemenge (a = lösliche Fraktion, b = unlösliche abbaubare Fraktion, ERP = effektiver Abbau des UDP)

	a	b	ERP2	ERP5	ERP8	UDP2	UDP5	UDP8
3. Aufwuchs 2009								
A	31	60	85,7	78,8	73,4	14,3	21,2	26,6
B	35	56	85,9	79,3	74,2	14,1	20,7	25,8
C	31	62	86,3	79,0	73,4	13,7	21,0	26,6
D	18	77	82,6	70,4	62,0	17,4	29,6	38,0
1. Aufwuchs 2010								
E	43	53	86,5	77,4	71,4	13,5	22,6	28,6
F	42	53	87,3	79,1	73,2	12,7	20,9	26,8
G	51	45	89,1	82,0	77,0	10,9	18,0	23,0
H	30	65	86,0	75,6	68,2	14,0	24,4	31,8
J	36	62	83,8	71,1	63,2	16,2	28,9	36,8
K	35	63	87,2	76,0	68,5	12,8	24,0	31,5
2. Aufwuchs 2010								
L	34	59	84,4	75,3	68,8	15,6	24,7	31,2
M	40	55	84,9	74,6	67,8	15,1	25,4	32,2
N	36	59	85,7	75,7	69,0	14,3	24,3	31,0
O	39	51	79,5	67,8	69,8	20,5	32,2	40,2
P	26	84	82,0	65,0	54,2	18,0	35,0	45,8
Q	34	58	80,1	67,0	57,9	19,9	33,0	42,1

Für Grünland werden in der DLG-Tabelle (1997) UDP5-Werte von 15 % angegeben, für Luzerne-Gras-Gemenge, unabhängig vom Vegetationsstadium, 15 bis 20 %. Die auf ihre ruminale Abbaubarkeit geprüften Leguminosen-Gras-Gemenge zeigen in ihren UDP-Gehalten größere Unterschiede, insbesondere bei der Passagerate von 8 %, wie sie für hochleistende Milchkühe anzunehmen ist. Einen vergleichsweise hohen UDP-Gehalt hat Rotschwingel in Reinsaat (J, P), gefolgt vom Gemenge mit Hornklee sowie dem Rotklee-Gras.

Tab. 2: *In situ*-Abbauparameter des Rohproteins für Körnerleguminosen (in %)

	a	b	ERP2	ERP5	ERP8	UDP2	UDP5	UDP8
Espresso	22	78	87,6	73,9	64,1	12,4	26,1	35,9
Fuego	26	74	89,0	76,8	67,9	11,0	23,2	32,1
Tangentia	19	81	89,7	77,9	69,0	10,3	22,1	31,0
Nette	22	78	90,6	80,1	72,0	9,4	19,9	28,0
Casabl.	16	84	89,0	76,5	67,2	11,0	23,5	32,8
Rocket	18	82	89,5	78,0	69,5	10,5	22,0	30,5
Sonate	14	86	86,9	73,0	63,2	13,1	27,0	36,8
Boregine	4	96	86,1	71,4	61,0	13,9	28,6	39,0
Borlu	11	89	83,0	65,0	52,6	17,0	35,0	47,4

Der UDP-Gehalt des Rohproteins sollte bei Milchkühen im Hochleistungsbe-
reich (UDP 8 %) nicht unter 30 % liegen. Die vorliegenden Ergebnisse weisen bei
UDP8 z. T. über 30 % aus und sind deshalb besonders für die ökologische Milch-
viehhaltung interessant, da hier der UDP-Gehalt der Ration nicht ohne Weiteres
durch den Einsatz von Extraktionsschroten angehoben werden kann. Für die
untersuchten Ackerbohnen, Körnerfuttererbsen und Blauen Lupinen wurden
generell höhere UDP5-Werte gefunden als in den DLG-Futterwerttabellen Wie-
derkäufer (1997) ausgewiesen. In dieser Tabelle sind für Bohnen- und Erbsensa-

men 15 % und für alle Lupinen 20 % UDP (UDP5) angegeben. Die Blaue Lupine BORLU erreicht dagegen mit 35 % UDP5 das Niveau von Soja- und Rapsextraktionsschrot. Das zeigt, dass Züchtungsforschung heimische Leguminosen für die Tierernährung attraktiver machen kann.

Zusätzlich zu den hier vorgestellten Ergebnissen erfolgte für die untersuchten Gras-Leguminosen-Gemenge ein Vergleich der nach der *in situ*-Methode ermittelten UDP-Werte mit denen aus der chemischen Fraktionierung (Shannak et al., 2000). Dabei fiel auf, dass sich im Material des ersten Aufwuchses des Jahres 2010 die UDP5-Werte nach beiden Methoden um weniger als 5 % unterschieden. In diesem Falle sind die Ergebnisse beider Methoden gleichwertig praxistauglich (Spiekers et al., 2011). In zukünftigen Untersuchungen ist zu klären, warum eine derartig hinreichende Übereinstimmung der Ergebnisse beider Methoden noch nicht generell erreicht wird.

4. Zusammenfassung

Mit Hilfe der Pansen-Beutel-Methode (*in situ*) wurde an drei trockenstehenden Kühen der intraruminale Rohproteinabbau verschiedener Futtermittel ermittelt und daraus der UDP-Gehalt für Passageraten von 2, 4, 5, 6 und 8 %/h⁻¹ errechnet. Die Leguminosen-Gras-Gemenge zeigten in ihren UDP-Gehalten größere Unterschiede, z. T. lagen die UDP8-Werte über 30 %. Für Ackerbohnen, Körnerfuttererbsen und Blaue Lupinen wurden generell höhere UDP5-Werte gefunden, als in den DLG-Futterwerttabellen angegeben.

5. Literaturangaben

- Autorenkollektiv, 2007: Vorschrift zur Durchführung der *in situ*-Pansenbeuteltechnik im Rahmen eines Ringversuches, Göttingen.
- Edmunds, B., Südekum, K.-H., Spiekers, H., Schwarz, F.J., 2012: Estimating ruminal crude protein degradation of forages using *in situ* and *in vitro* techniques. Anim. Feed. Sci. Technol. 175, 95-105.
- Krawielitzki, K., Schmidt, T., Voigt, J., Kowalczyk, J., Gabel, M., 2006: Dynamics of microbial contamination of protein during ruminal *in situ* incubation of feedstuffs. J. Anim. Feed Sci. 15, 313-328.

- McDonald, I., 1981: A revised model for the estimation of protein degradability in rumen. *J. Agric. Sci.* 96, 251.
- Ørskov, E.R., 2000: The *in situ* technique for the estimation of forage degradability in ruminants. In: D.I. Givens / E. Owen / R.F.E. Axford / H.M. Omed (Eds.): *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. CAB International, Wallingford, 175-188.
- SAS®, 2002: *Users Guide: Statistics*. Version 9.1., SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA.
- Shannak, S., Südekum, K.-H., Susenbeth, A., 2000: Estimating ruminal crude protein degradation with *in situ* and chemical fractionation procedures. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 85, 195-214.
- Wulf, M., Südekum, K.-H., 2005: Effects of chemically treated soybeans and expeller rapeseed meal on *in vivo* and *in situ* crude fat and crude protein disappearance from the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 118, 215-227.

Zum Futterwert von Ganzpflanzensilagen aus Hafer-Ackerbohnen-Gemengen für Wiederkäuer

T. Baumgärtel¹, S. Oehme², H. Kluth²

¹Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, ²Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg

1. Einleitung

Wiederkäuer decken einen Teil ihres Proteinbedarfes über das Grundfutter. Der Beitrag zur Proteinversorgung ist variabel und hängt von Art und Zusammensetzung des Grundfutters ab. Ganzpflanzensilagen (GPS) aus Getreide sind proteinarm. Es besteht aber die Möglichkeit, den Proteingehalt durch den Mischanbau mit Körnerleguminosen (z. B. Ackerbohnen, Wintererbsen) zu erhöhen. Die Datenlage zum Futterwert von Getreide-Körnerleguminosen-Gemengen ist allerdings begrenzt. Ziel der Untersuchung war es, den Energiegehalt von GPS aus variierenden Anteilen Hafer und Ackerbohnen mit Hilfe einer Verdaulichkeitsbestimmung am Hammel zu ermitteln.

2. Material und Methoden

Auf der Feldversuchsstation in Friemar wurde ein Gemenge aus Hafer (HA) und Ackerbohnen (AB) angebaut und zur GPS-Reife mittels Balkenmäher geschnitten. Der Hafer befand sich zum Schnitzeitpunkt im Stadium Ende Milch-/Beginn Teigreife und die Ackerbohnen hatten die Grünreife erreicht.

Das Schnittgut wurde anschließend separiert und mit definierten Anteilen der Gemengepartner in 120-L-Fässer siliert. Der Haferanteil im Siliergut lag auf Basis der Frischmasse (FM) bei 100 %, 67 % bzw. 33 %. Als Siliermittel kam ein Kombipräparat aus homo- und heterofermentativen Milchsäurebakterien (Kofasil®Duo) in einer Dosierung von 2 L/t zum Einsatz. Die Silierdauer betrug 90 Tage.

Im Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Versuchszentrum der Martin-Luther-Universität in Merbitz schloss sich eine Verdaulichkeitsbestimmung am Hammel nach dem von Schiemann (1981) beschriebenen Standardverfahren an. Die Silagen wurden im Direktversuch geprüft.

Die Bestimmung der Gehalte an Trockenmasse (TM) erfolgte gemäß VDLUFA (1976a). Die Analyse der Gehalte an Rohasche (VDLUFA, 1976d), Rohprotein (VDLUFA, 1993a), Rohfett (VDLUFA, 1976b), Rohfaser (VDLUFA, 1993b), Stärke (VDLUFA, 2012d), Zucker (VDLUFA, 1976c), Neutral-Detergenzien-Faser (aNDFom) (VDLUFA, 2012a), Säure-Detergenzien-Faser (ADFom) (VDLUFA, 2012b), Säure-Detergenzien-Lignin (ADL) (VDLUFA, 2012c) im Futter und Kot erfolgte ebenfalls gemäß VDLUFA-Methoden. Futterreste wurden erfasst und ebenfalls einer Rohnährstoffanalyse unterzogen.

Die Berechnung der Gehalte an Bruttoenergie (GE), Umsetzbarer Energie (ME) und Nettoenergie-Laktation (NEL) wurden nach den entsprechenden Formeln der GfE (1995) vorgenommen.

Der Gehalt an nutzbarem Rohprotein (nXP) wurde mit Hilfe der Formel VIa (GfE, 2001) berechnet. Einbezogen wurde der Anteil an Durchflussprotein bei einer Passagerate von 5%/h (UDP5), dessen Schätzung über die Rohproteinfraktionierung durch die LKS mbH in Lichtenwalde erfolgte (Kirchhof et al., 2006; Shannak et al., 2000; Licitra et al., 1996). Außerdem wurde der UDP5-Anteil für Hafer und Ackerbohnen vor der Silierung im Erntegut geschätzt.

In den Silagen wurden folgende Parameter der Gärqualität bestimmt: pH-Wert, NH₃-Anteil am Gesamt-N, Ethanol und Gärsäuren (TLL-interne Methode). Zudem wurden die Silagen einer mikrobiologischen Untersuchung unterzogen (VDLUFA, 2012e; VDLUFA, 2012f).

3. Ergebnisse und Diskussion

Zur Ernte lag der TM-Gehalt im Hafer bei 32 % und in den Ackerbohnen bei 19 %. Der Kornanteil im Hafer konnte auf über 50 % (TM-Basis) geschätzt werden. Der Hülsenanteil der Ackerbohnen lag mit durchschnittlich 8,5 Hülsen je Pflanze bei 52 % (TM-Basis).

In den Fässern wurden Verdichtungen von 541, 670 bzw. 790 kg/m³ für die Silagen mit 100, 66 bzw. 33 % Hafer erreicht. Dies entspricht etwa den Empfehlungen für die betreffenden TM-Bereiche (Spiekers et al., 2009).

Der mittels Rohproteinfraktionierung geschätzte UDP5-Anteil im Frischmaterial lag für den Hafer bei 32 % und für die Ackerbohnen bei 22 %.

In Tabelle 1 sind die TM- und Rohnährstoffgehalte der Silagen aufgezeigt. Erwartungsgemäß konnte mit zunehmendem AB-Anteil eine Abnahme des TM-Gehaltes von 33 auf 21 % der FM sowie ein deutlicher Anstieg des XP-Gehaltes von 8,4 auf 15,6 % der TM festgestellt werden. Sowohl der Stärkegehalt als auch der Gehalt an NDF_{org} reduzierte sich mit steigendem AB-Anteil. Ferner war eine Abnahme des UDP5-Anteiles von 29 auf 22 % zu beobachten.

Tab. 1: TM- [% der FM] und Rohnährstoffgehalte [% der TM] sowie UDP5-Anteile [% des XP] der Silagen

	100 % HA	67 % HA	33 % HA
Trockensubstanz (TM)	32,8	25,5	21,4
Rohasche (XA)	7,9	8,0	7,4
Rohprotein (XP)	8,4	12,1	15,6
Rohfett (XL)	2,3	2,4	2,0
Rohfaser (XF)	32,5	32,0	31,3
N-freie Extraktstoffe (XX)	48,9	45,5	43,7
Stärke (XS)	15,4	13,5	11,3
Gesamtzucker (XZ)	2,3	2,3	1,3
NDF _{om}	54,3	50,1	43,5
ADF _{om}	34,3	36,1	34,4
ADL	4,9	6,1	5,6
Durchflussprotein (UDP5)*	29	25	22

*UDP5 bestimmt mittels Rohproteinfraktionierung (LKS mbH Lichtenwalde)

Die Werte für die Enzymlösliche, Organische Substanz (ELOS) sowie für die Gasbildung sind Tabelle 2 zu entnehmen. Es zeigt sich ein Anstieg mit zunehmendem AB-Anteil in der Silage.

Tab. 2: Gehalte an ELOS und Gasbildung der Silagen

	100 % HA	67 % HA	33 % HA
ELOS[%]	48,5	54,5	59,8
Gasbildung [ml/200 mg TM]	37,6	41,4	41,9

Die Fasssilagen wiesen keine Auffälligkeiten hinsichtlich der sensorischen Qualität auf. Auch die mikrobiologischen Befunde der Silagen deuten nicht auf

Qualitätsminderungen hin. Sowohl der Besatz an Hefen als auch an Schimmelpilzen lag unterhalb der laborinternen Bestimmungsgrenze ($0,1 \cdot 10^3$ KBE/g). Der Besatz an Bakterien der Spezies *Bacillus* spp. (Keimgruppe 2) lag für die Varianten 100 % HA und 67 % HA bei $0,02 \cdot 10^6$ und für die Behandlung mit 33 % HA bei $0,04 \cdot 10^6$ KBE/g und somit ebenfalls unterhalb des Orientierungswertes für Silagen gemäß VDLUFA (2012). Auch die in Tabelle 3 dargestellten Gärparameter lagen im normalen Bereich. Lediglich die Gehalte an Essigsäure können mit > 3 % der TM als leicht erhöht eingeschätzt werden, was aber mit dem Einsatz der heterofermentativen Milchsäurebakterien und den damit verbundenen Anfall von Essigsäure als Stoffwechselprodukt erklärt werden kann. Buttersäure konnte auch in der Silage mit dem höchsten AB-Anteil nicht nachgewiesen werden. Eigene Untersuchungen mit Modellsilagen zeigen, dass ab einem AB-Anteil von 75 % mit einem steigenden Risiko für Fehlgärungen gerechnet werden muss (Daten nicht gezeigt).

Tab. 3: Gärparameter der Fasssilagen

	Einheit	100 % HA	67 % HA	33 % HA
pH-Wert		4,6	4,8	4,6
NH ₃ -N/Gesamt-N	%	7,8	7,2	4,2
Ethanol		0,53	0,76	0,71
Milchsäure	% der TM	3,05	3,95	2,87
Essig-/Propionsäure		3,21	3,69	3,77
Buttersäure		<0,05	<0,05	<0,05

Die Werte für die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe sowie die geschätzten Energiegehalte sind in Tabelle 4 dargestellt. Die Verdaulichkeit der XX-Fraktion stieg mit zunehmendem AB-Anteil von 59 auf 72 % an. Dies bewirkte gleichsam eine Erhöhung der Verdaulichkeit der Organischen Substanz (OS) um 9 %-Punkte. In Verbindung mit dem höheren XP-Gehalt konnte in der Folge mit zunehmendem AB-Anteil ein Anstieg der Gehalte am ME bzw. NEL um insgesamt 1,4 bzw. 0,9 MJ/kg TM ermittelt werden. Auch für den Gehalt an nXP wurde ein Anstieg festgestellt.

Zum Vergleich wurden die eigenen Daten den Energie- und nXP-Gehalten für Hafer in der Teigreife und Ackerbohnen in der Gelbreife aus der DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer (DLG, 1997) gegenübergestellt. Die jeweiligen Anteile wurden entsprechend verrechnet. Für die GPS mit 100 % HA konnte in der Tabelle

ein höherer Energiegehalt gefunden werden. Möglicherweise wurde das Gemenge in der eigenen Untersuchung einige Tage vor Erreichen des optimalen Schnitzeitpunktes geerntet. Zu dieser Zeit befand sich der Hafer noch nicht vollständig in der Teigreife und wies mit lediglich 15,4 % der TM einen geringeren Stärkegehalt als der Hafer (Teigreife) in der DLG-Tabelle mit 19,8 % der TM. UDP-Anteil AB 15 %, Hafer 20 %, Mit zunehmendem AB-Anteil zeigte sich – trotz des früheren Reifestadiums (Grünreife) der AB aus der eigenen Untersuchung – eine gute Übereinstimmung mit den Tabellenwerten für Energie und nXP. Zur Schätzung des Energiegehaltes von Gemenge-GPS können somit die Werte aus der DLG-Tabelle herangezogen werden. Die Anteile der Mischungspartner sowie die TM-Gehalte sollten dafür allerdings bekannt sein. Eine stichprobenartige Anteilsschätzung mittels Zählrahmen gibt eine grobe Orientierung.

Tab. 4: Rohrnährstoffverdaulichkeiten (VQ in %) sowie Energie- (MJ/kg TM) und nXP-Gehalte (g/kg TM) der Silagen (MW \pm s)

	100 % HA	67 % HA	33 % HA	P-Wert
VQ-OS	57 ^a \pm 0,8	62 ^b \pm 1,4	66 ^c \pm 1,3	<0,001
VQ-XL	79 \pm 4,1	81 \pm 2,0	77 \pm 1,6	0,146
VQ-XF	50 \pm 0,2	53 \pm 2,5	55 \pm 2,9	0,096
VQ-XX	59 ^a \pm 0,8	64 ^b \pm 1,6	72 ^c \pm 0,9	<0,001
ME	8,0 ^a \pm 0,12	8,7 ^b \pm 0,17	9,4 ^c \pm 0,17	<0,001
NEL	4,6 ^a \pm 0,08	5,1 ^b \pm 0,12	5,5 ^c \pm 0,12	<0,001
nXP	105 ^a \pm 0,9	121 ^b \pm 1,4	134 ^c \pm 1,5	<0,001
ME*	9,0	9,2	9,5	
NEL*	5,2	5,4	5,5	
nXP*	114	120	127	

*Werte ermittelt nach Angaben aus DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer (1997)

4. Fazit

Der Misanbau von Hafer mit Ackerbohnen zur GPS-Nutzung führt zu einer Anreicherung von Protein in der Silage. Der Anteil an UDP sinkt mit steigenden AB-Anteilen allerdings. Weiterhin konnte mit zunehmendem AB-Anteil bis 67 %

(FM-Basis) ein Anstieg des Energiegehaltes festgestellt werden. Aus Sicht der Gärqualität wiesen die Silagen keine Auffälligkeiten auf.

Durch den Einsatz von GPS aus Hafer-Ackerbohnen-Gemengen kann die Energie- und Proteinlieferung für Wiederkäuer gegenüber reinen Hafer-GPS erhöht werden. Eine Schätzung der Energie- und nXP-Gehalte kann auf Basis der DLG-Futterwerttabelle vorgenommen werden. Dafür sollten die Anteile der Mischungspartner bekannt sein.

5. Literaturangaben

- Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, 1997: DLG-Futterwerttabellen – Wiederkäuer. 7. Auflage, Hrsg.: Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- GfE, 1995: Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen: Zur Energiebewertung beim Wiederkäuer. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 4, 121-123.
- GfE, 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Kirchhof, S., Südekum, K.-H., Gruber, L., 2006: Schätzung des ruminalen Rohproteinabbaus von Grünlandaufwüchsen aus dem *in situ*-Abbau und der chemischen Rohproteinfraktionierung. 118. VDLUFA-Kongress, Kurzfassungen der Referate, 46.
- Licitra, G., Hernandez, T.M., Van Soest, P.J., 1996: Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 57, 347-358.
- Schiemann, R., 1981: Methodische Richtlinien zur Durchführung von Verdauungsversuchen für die Futterwertschätzung. Arch. Tierern. 31, 1-19.
- Shannak, S., Südekum, K.-H., Susenbeth, A., 2000: Estimating ruminal crude protein degradation with *in situ* and chemical fractionation procedures. Anim. Feed Sci. Technol. 85, 195-214.
- Spiekers, H., Nußbaum, H., Potthast, V., 2009: Erfolgreiche Milchviehfütterung. 5. Aufl., DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976a: Methode 3.1, Feuchtigkeit. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976b: Methode 5.1.1, Rohfett. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976c: Methode 7.1.1, Zucker, maßanalytisch. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976d: Methode 8.1, Rohasche. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1993a: Methode 4.1.1, Rohprotein, Kjeldahl-Aufschluss. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1993b: Methode 6.1.1, Bestimmung der Rohfaser. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012a: Methode 6.5.1, Neutral-Detergenzien-Faser (aNDFom). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012b: Methode 6.5.2, Säure-Detergenzien-Faser (ADFom). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012c: Methode 6.5.3, Säure-Detergenzien-Lignin (ADL). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012d: Methode 7.2.1, Stärke, polarimetrische Methode. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012e: Methode 28.1.2, *Standard operating procedure to enumerate Bacetria, Yeasts, Moulds and Dematiaceae*. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012f: Methode 28.1.3 Identifizierung von Bakterien, Hefen, Schimmel- und Schwärzepilzen als produkttypische oder verderbanzeigende Indikatorkeime. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Einsatz einer Trocken-TMR in der Fütterung von Fresserkälbern

T. Ettle, A. Obermaier

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Poing

1. Einleitung

Ein übliches Verfahren zur Aufzucht von Fresserkälbern basiert auf Rationen mit Maissilage, Heu und Kraftfutter. Vereinzelt werden die Fresserkälber jedoch auch ohne Maissilage mit einer Trocken-TMR basierend auf Heu/Stroh und Kraftfutter gemästet. Als Ursache sind steigende Preise für Maissilage anzuführen. Darüber hinaus ist die Trocken-TMR für mehrere Wochen im Voraus zu erstellen und lagerbar, woraus sich verfahrenstechnische Vorteile ableiten lassen. In der Praxis gibt es Beispielsbetriebe, in denen die Verfütterung der Trocken-TMR lediglich während der Tränkephase durchgeführt wird. Vorteil ist, dass die Tiere beim Verkauf mit etwa 200 kg Lebendgewicht bereits auf Maissilage umgestellt sind, was vom Bullenmäster auch erwartet wird. Mit vorliegendem Versuch soll überprüft werden, ob sich bei diesem Fütterungsregimen im Vergleich zu einer durchgängigen Fütterung mit maissilagebasierter TMR Unterschiede in der Futteraufnahme und den Zuwachsleistungen ergeben.

2. Material und Methoden

Der Versuch wurde mit 72 männlichen Fleckviehkälbern am Versuchsgut Karolinenfeld der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) durchgeführt. Zu Versuchsbeginn waren die Tiere im Durchschnitt $43,3 \pm 10,4$ Tage alt und $82,4 \pm 4,2$ kg schwer. Die Versuchsdauer betrug 14 Wochen. Die Kälber wurden vor dem Versuch unter Berücksichtigung von Lebendmasse und Alter gleichmäßig auf zwei Gruppen (Trocken-TMR, Versuchsgruppe und Maissilage-TMR, Kontrolle) aufgeteilt. Ein Teil der Tiere (21 je Versuchsgruppe) war getrennt nach Versuchsgruppe in 2 Tiefstreubuchten in einem Warmstall untergebracht, die übrigen Tiere in 2 Tiefstreubuchten in einem Aussenklimastall. Den Tieren der Kontrollgruppe wurde eine TMR auf Basis Maissilage, Kraftfutter und Heu *ad libitum* angeboten, die in Ihrer Zusammensetzung wöchentlich an den Bedarf

angepasst wurde (Tab. 1). Die Tiere der Gruppe Trocken-TMR erhielten über die gesamte 42-tägige Tränkeperiode hinweg eine TMR mit 56 % Kraftfutter, 33 % Heu und 11 % Melasse (i. d. Frischmasse), die hinsichtlich Nährstoff- und Energiegehalt so kalkuliert war, dass bei gleicher Futteraufnahme die Nährstoff- und Energieversorgung im Mittel der Tränkephase zwischen den Versuchsgruppen gleich sein sollte. Nach der Tränkephase wurden beide Gruppen über die Mais-silage-TMR versorgt (Tab. 2).

Tab. 1: Zusammensetzung (% der Frischmasse) der TMR während der Tränkephase (Woche 1-6)

Woche	Kontrollgruppe, Mais-TMR			Versuchsgruppe, Trocken-TMR		
	Kraftfutter % der Frischmasse	Maissilage % der Frischmasse	Heu % der Frischmasse	Kraftfutter % der Frischmasse	Melasse % der Frischmasse	Heu % der Frischmasse
1	38	29	33	56	11	33
2	40	36	24	56	11	33
3	47	36	17	56	11	33
4	47	41	13	56	11	33
5	46	45	9	56	11	33
6	42	50	8	56	11	33

Tab. 2: Zusammensetzung (% der Frischmasse) der TMR während der Versuchsphase nach dem Absetzen (Woche 7-14)

Woche	Kraftfutter % der Frischmasse	Maissilage % der Frischmasse	Heu % der Frischmasse
7	39	55	6
8	38	57	5
9	35	60	5
10	32	63	4
11	30	65	4
12	28	68	4
13	25	71	3
14	23	74	3

Die Zusammensetzung der maissilagebasierten TMR orientierte sich an dem Rationsbeispiel in der Gruber Tabelle zur Fütterung in der Rindermast für mittlere Zuwachsraten von 1300 g/Tag (Lfl, 2012). Da der Trockenmassegehalt der zur Verfügung stehenden Maissilage gemäß den Vorab-Analysen höher war als in der Gruber Tabelle, erfolgte eine entsprechende Anpassung der Ration. Die mittleren Nährstoff- und Energiegehalte der einzelnen Futtermittel und der TMR sind in Tabelle 3 dargestellt. Während der Tränkephase wurde eine Maissilage Ernte 2011 verfüttert, danach wurde auf eine Maissilage Ernte 2012 umgestellt. Die Maissilage wurde unter Zusatz eines Silierhilfsmittels (Bonsilage Mais) in Ballen siliert. Die Maissilage-TMR wurde täglich im Futtermischwagen erstellt, die Trocken-TMR wurde im Futtermischwagen auf Vorrat (400 kg Chargen) erstellt und bis zur Verfütterung zwischengelagert. Da der Rohproteingehalt des Kraftfutters für die Maissilage-TMR niedriger lag als geplant, ergibt sich auch für die Maissilage-TMR selbst ein erniedrigter Rohproteingehalt.

Tab. 3: Trockenmasse-, Nährstoff- und Energiegehalte der TMR und der Einzelkomponenten

	TM	XA	XP	XF	ME
	g/kg	g/kg TM			MJ/kg TM
Trocken-TMR, Woche 1-6	869	77	153	166	11,0
Maissilage-TMR, Woche 1-6	741	59	144	174	11,2
Maissilage-TMR, Woche 7-14	613	56	126	151	11,5
Kraftfutter für Trocken-TMR	894	84	151	90	12,2
Kraftfutter für Mais-TMR	890	92	179	96	12,3
Maissilage Ernte 2011	510	23	69	198	11,1
Maissilage Ernte 2012	448	26	70	206	11,0
Heu	855	51	160	281	9,8
Melasse	833	229	111	0	10,6

Neben der TMR wurde in den ersten 42 Versuchstagen Milchaustauschertränke (MAT mit 40 % Magermilchpulveranteil, 100 g/l Tränke, angestrebte MAT-Aufwandmenge 25 kg/Tier) am Tränkeautomaten nach Plan angeboten. Von den TMR und den Einzelkomponenten der TMR wurden regelmäßig Proben gezogen und daran die Rohnährstoffgehalte nach Weender analysiert (VDLUFA, 1976a,b, 1993, 2004). Die Energiegehalte der Einzelkomponenten wurden mit dem Programm „Zifo“ unter Nutzung der hinterlegten Verdaulichkeiten berech-

net. Die Rohnährstoffgehalte und Energiegehalte der TMR wurden aus deren Zusammensetzung und den Gehalten in den Einzelkomponenten errechnet. Die Futteraufnahme wurde täglich je Futtergruppe erfasst, die Aufnahme an MAT wurde automatisch am Tränkeautomaten erfasst. Die Lebendmasse der Tiere wurde alle 2 Wochen festgestellt und daraus die Tageszunahmen errechnet. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programmpaket SAS (Varianzanalyse, Mittelwertsvergleich).

3. Ergebnisse und Diskussion

Während der Tränkephase lag die Futter-, Energie- und Rohproteinaufnahme (Tab. 4) in beiden Gruppen auf einem Niveau, wie es auch in früheren Fresserversuchen an der Versuchsstation Karolinenfeld beobachtet wurde (Ettle und Obermaier, 2012). Auch die täglichen Zunahmen waren während dieser Versuchsphase mit früheren Versuchen vergleichbar (Tab. 5) und es zeigt sich, dass grundsätzlich mit TMR-Fütterung in der Fresseraufzucht gute Ergebnisse zu erreichen sind. Aus Versuchen mit pansenfistulierten Bullenkälbern lässt sich ableiten, dass auch bei jungen Tieren eine TMR-Fütterung in Abhängigkeit des Krafftutterniveaus zu einer Stabilisierung des Pansenmilieus führt (Van Ackeren et al., 2008). Dementsprechend berichtet auch Jilg (2003) von guten Erfahrungen beim Einsatz von Trocken-TMR in der Kälberaufzucht, wenn der Krafftuterteil in der TMR nicht zu hoch gewählt wird. Auch wenn sich beim Vergleich zur Vorlage von Einzelkomponenten nicht immer Steigerungen in der Futteraufnahme und der Zuwachsleistung darstellen lassen (LVVG Aulendorf, 2003; Löhnert et al., 2005) kann die TMR-Fütterung im Kälber- und Fresserbereich vor allem wegen der Vermeidung einer überhöhten Krafftuteraufnahme als sichere Fütterungsstrategie empfohlen werden.

In vorliegender Untersuchung zeigten sich während der Tränkephase trotz der Unterschiede in der Nährstoffaufnahme zwischen den Versuchsgruppen keine Unterschiede in den täglichen Zunahmen. Daraus lässt sich schließen, dass der Einsatz einer Trocken-TMR bei Fresserkälbern während der Tränkephase im Vergleich zu maissilagebasierten Verfahren keine Nachteile in Hinblick auf Futteraufnahme und Leistung bringt, wenn die Energie- und Nährstoffgehalte bedarfsgerecht sind. Allerdings zeigten sich in vorliegender Untersuchung auch keine deutlichen Vorteile der Trocken-TMR auf Futteraufnahme und Zuwachsleistung. Demgegenüber berichten Trautwein et al. (2007) von positiven Auswir-

kungen des Einsatzes einer Trocken-TMR auf Futteraufnahme und Wachstum von DH-Bullenkälbern. Allerdings können in dieser Untersuchung auf Grund der Versuchsanstellung die Effekte der getrennten Vorlage der Futterkomponenten und die Effekte der Art der Grobfutterkomponenten nicht zugeordnet werden.

Tab.4: Futter-, Energie- und Rohproteinaufnahme in den einzelnen Versuchsphasen

	Versuchsgruppe	
	Maissilage-TMR	Trocken-TMR
Tränkeperiode		
Futteraufnahme, kg TM/Tag	1,62	1,76
ME-Aufnahme, MJ/Tag	21,2	22,5
XP-Aufnahme, g/Tag	269	307
Nach dem Absetzen		
Futteraufnahme, kg TM/Tag	4,25	4,33
ME-Aufnahme, MJ/Tag	49,0	49,9
XP-Aufnahme, g/Tag	533	543
Gesamt		
Futteraufnahme, kg TM/Tag	3,12	3,23
ME-Aufnahme, MJ/Tag	37,1	38,2
XP-Aufnahme, g/Tag	420	442

Tab.5: Gewichtsentwicklung und tägliche Zunahmen

	Versuchsgruppe	
	Maissilage-TMR	Trocken-TMR
Lebendmasse (kg)		
Beginn	82±4	82±4
Absetzen	122±10	123±9
Ende	196±16	197±13
Tägliche Zunahmen (g)		
Tränkephase	946±196	974±187
nach Absetzen	1322±154	1318±143
gesamter Versuch	1161±154	1170±143

In vorliegender Untersuchung blieb die tägliche Futtermittelaufnahme nach dem Absetzen bis zum Versuchsende in beiden Versuchsgruppen gleichermaßen stark hinter den Erwartungen zurück. In Übereinstimmung dazu ergaben sich für die Phase nach dem Absetzen in beiden Gruppen mit Zuwachsraten von knapp über 1300 g/Tag Leistungen, die erheblich niedriger als in früheren an derselben Einrichtung durchgeführten Versuchen (Ettle et al., 2010a, b; Ettle und Obermaier, 2012) lagen. Dies ist dadurch erklärbar, dass die Rohprotein-konzentration der Mischung in diesem Bereich niedriger war als geplant und sich daraus insgesamt niedrige tägliche Rohproteinaufnahmen ergaben. Aus früheren Arbeiten (Ettle et al., 2010b) ergibt sich zwar, dass die Normen zur XP-Versorgung der GfE (GfE 1995, 1999) eher zu hoch angesetzt sind, so dass sich ein Vergleich mit diesen Zahlen erübrigt. Allerdings ordnet sich die Rohproteinversorgung in vorliegendem Versuch gut im Bereich zu eigenen Empfehlungen zur Rohproteinzufuhr für mittlere Zuwachsraten von 1000 g/Tag ein (Lfl, 2012), was sich mit den eher mittelmäßigen Zuwachsraten von etwas über 1150 g/Tag im Mittel des gesamten Versuches deckt. Dementsprechend sollten die vorliegenden Ergebnisse in weiteren Untersuchungen bei einem höheren Leistungs-niveau überprüft werden.

Die Rationen wurden auch einer ökonomischen Betrachtung unterzogen. Im Mittel der Tränkephase ergaben sich für die Maissilage-TMR Kosten von 23 €/dt Trockenmasse, für die Trocken-TMR von 25 €/dt Trockenmasse. In der Praxis müssen dementsprechend die geringfügigen Mehrkosten für die Trocken-TMR den möglichen arbeitswirtschaftlichen Vorteilen bei deren Erstellung gegenübergestellt werden.

Insgesamt ergibt sich, dass bei gegebenem Leistungsniveau der Einsatz einer Trocken-TMR auf Basis Kraftfutter und Heu während der Tränkeperiode von männlichen Fresserkälbern ohne Einbußen in der Leistung während der Tränkephase möglich ist. Der Einsatz der Trocken-TMR kann dabei arbeitswirtschaftliche Vorteile mit sich bringen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Rationskosten für die Trocken-TMR etwas höher liegen als bei einer maissilage-basierten TMR.

4. Literaturangaben

- Ettle, T., Obermaier, A., 2012: Einsatz von Leinextraktionsschrot in der Fresseraufzucht. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda. Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn [Hrsg.], 53-56.
- Ettle, T., Obermaier, A., Danier, J., Spiekers, H., 2010a: Zum Einsatz von Weizenschlempe mit Lysinergänzung in der Fresseraufzucht. VDLUFA-Schriftenreihe 66, 714-720, Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Ettle, T., Obermaier, A., Schuster, H., 2010b: Vergleich zweier Fütterungsstrategien in der Fresseraufzucht. In: Tagungsband 9. BOKU-Symposium Tierernährung, 300-305.
- GfE, 1995: Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 6 Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastrinder, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- GfE, 1999: Empfehlungen zur Proteinversorgung von Aufzuchtkälbern. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 8, 155-164.
- Jilg, T., 2003: Kälberaufzucht – Erfahrungen und aktuelle Entwicklungen. Tagungsband 2003, 7-12, 30. Viehwirtschaftliche Fachtagung zum Thema Rinderaufzucht, Milchviehfütterung, Schafhaltung, Ökonomik, 24-25 Juni 2003, BAL Gumpenstein, Irdning, Österreich.
- LfL, 2012: Gruber Tabelle zur Fütterung in der Rindermast. LfL-Information. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising [Hrsg.].
- Löhnert, H.-J., Ochrimenko, W.I., Neldner, S., Bremer, K., Lüdke, H., 2005: Mischrationen in der Kälberaufzucht. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda. Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn [Hrsg.], 1-4.
- LVVG Aulendorf, 2003: Trocken-TMR in der Kälberaufzucht. Versuchsbericht 1/2003. Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft Aulendorf [Hrsg.].
- Trautwein, J., Könnel, J., Hlawitschka, B., Dusel, G., Landfried, K., 2007: Einsatz einer Trocken-TMR in der Kälberaufzucht. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda. Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn [Hrsg.], 39-42.

- Van Ackeren C., Steingaß, H., Drochner, W., 2008: Verdauungsphysiologische Untersuchungen zum Einsatz von Totalmischrationen für Aufzuchtälber. Proceedings of the 17th Intern. Scientific Symposium on Nutrition of Domestic Animals 17, 70-80.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976a: Methode 3.1 Bestimmung der Feuchtigkeit. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln: 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976b: Methode 8.1 Bestimmung der Rohasche. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln: 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1993: Methode 6.1.1 Bestimmung der Rohfaser. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln: 3. Aufl., 3. Erg., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2004: Methode 4.1.2 Bestimmung von Rohprotein mittels Dumas-Verbrennungsmethode. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln: 3. Aufl., 5. Erg., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Phytasezusatz im Mischfutter

K.-H. Grünewald¹, J. Danier², G. Steuer³

¹Verein Futtermitteltest (VFT), Bonn, ²ZIEL – TUM, Freising-Weihenstephan,

³VFT-Koordinierungsstelle, Groß-Umstadt

1. Einleitung

Bei der Konzeption von Mischfutter wird neben der ausreichenden Versorgung der Tiere mit Energie, Nähr- und Wirkstoffen auch eine Vermeidung von Nährstoffüberschüssen angestrebt. Dies ist bedeutsam zur Verbesserung der Nährstoff-Verfügbarkeiten und Vermeidung von Nährstoff-Imbalancen im Futter. Damit sind eine Ressourcenschonung (z. B. bei begrenzten P-Reserven) und eine Minimierung der Nährstoff-Ausscheidungen zu erreichen.

Zur besseren Nutzung des in Pflanzen zum großen Teil als komplexe Phytat-Verbindung vorliegenden Phosphors wird seit einer Reihe von Jahren in Futter für Schweine und Geflügel mikrobielle Phytase als Zusatzstoff eingesetzt. In Europa sind mittlerweile eine Reihe verschiedener Phytasen zugelassen (Gemeinschaftsregister der Futtermittelzusatzstoffe, EU, 2013) und in den nächsten Jahren werden nach erfolgreicher Zulassung weitere dazu kommen.

Ältere Auswertungen belegen die Etablierung des Phytasezusatzes v. a. im Ferkelfutter bei unterschiedlicher Dosierung je nach Phytasetyp (Grünewald et al., 2005). Damit ergeben sich Fragen zur Häufigkeit und Höhe des Phytasezusatzes im Mischfutter (für unterschiedliche Einsatzbereiche) sowie zur Unterscheidung der Zusatzhöhe nach Produkt und Bestätigung des Phytasezusatzes.

2. Material und Methoden

Die Auswertung umfasste die vom VFT im Jahr 2012 beprobten Schweine- und Legehennenfutter (n = 732) aus verschiedenen Regionen Deutschlands. Die Beprobung erfolgte bei Abfertigung der Ware im Werk, bei Anlieferung der Ware beim Landwirt, in Einzelfällen auch durch den Kauf von Sackware im Handel unter Beachtung der üblichen Probenahmeregeln. Die Erfassung der Angaben zu Probenherkunft (Region), Futtertyp, Einsatzbereich und zu den Phytase-

zusätzen (Art, Höhe) erfolgte anhand der vorliegenden Warenbegleitpapiere (Sackanhänger). Ergänzend wurden für eine Stichprobe (n = 86, aus Winter 2012, Frühjahr 2013) die Phytasegehalte zum Vergleich mit den Angaben analysiert.

Die Phytaseanalyse erfolgte im Auftrag des VFT zentral bei einem Labor (ZIEL, Freising). Die Untersuchung erfolgte nach der VDLUFA-Verbandsmethode (VDLUFA, 2007). Die Verbandsmethode zur Bestimmung der Phytaseaktivität unterscheidet dabei nicht nach unterschiedlichen Phytaseherkünften, d. h. sie erfasst die Aktivitäten von nativen/natürlichen und zugesetzten, unterschiedlichen Phytasen/Handelsprodukten). Die mitunter unterschiedlichen Angaben zu den Einheiten (z. B. FTU/kg, FYT/kg, PPU/kg) zu den Aktivitäten von zugelassenen Enzymen werden dabei einheitlich in Einheiten je kg (U/kg) ausgewiesen und beruhen auf der Konvention als die Menge des Enzyms, die 1 μ mol Phosphat pro Minute (aus einer Natriumphytatlösung in einer Konzentration von $c = 0,0051$ mol/l bei 37,0 °C und einem pH von 5,50) freisetzt. Enzympräparate, die nicht dieser Konvention folgen, werden daher mit zu hohen oder zu niedrigen Aktivitäten bestimmt. Bislang folgen die bislang zugelassenen Handelspräparate dieser Konvention. Gleichermaßen wird bei der publizierten EN ISO Norm 30024:2009 die Freisetzung des Phosphors zur Bestimmung der Enzymaktivitäten herangezogen.

3. Ergebnisse des Monitorings

3.1 Häufigkeit und Höhe des Phytasezusatzes

Die Proben aus dem Warentest stammen aus allen Regionen Deutschlands, wobei der Prüfumfang in den einzelnen Regionen aufgrund unterschiedlicher Bedeutung der Tierhaltung, des Mischfuttereinsatzes, und der Probenzuteilung unterschiedlich war. Tabelle 1 zeigt die regionale Herkunft der Proben.

Abbildung 1 zeigt die relative Häufigkeit des Phytasezusatzes für verschiedene Futtertypen in Abhängigkeit von der Phytaseart (3-Phytase, 6-Phytase) auf. 90,3 % der Futter enthielten einen Phytasezusatz. Für einzelne Proben fehlten detaillierte Informationen zum Phytasezusatz (Art, Höhe) oder diese waren nicht lesbar, hier als „unklar“ benannt.

Tab. 1: Herkunft der Futterproben

	Nord-D	West-D	Ost-D	Süd-D
Ferkelfutter	29	25	51	37
Mastfutter	54	35	49	44
Sauenfutter	32	23	36	22
Ergänzungsfutter für Schweine	0	36	8	121
Legehennenfutter	21	18	44	47

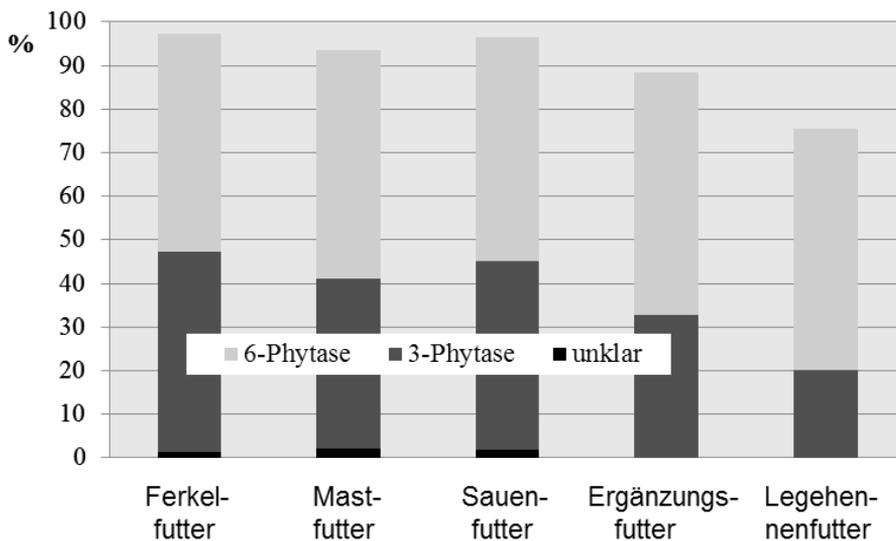


Abb. 1: Anteil der Futter mit div. Phytasen nach Futtertyp, in %

Eine ältere Auswertung (Grünwald et al., 2005) zeigte mit Ausnahme von Legehennenenergänzer (< 20 %) je nach Futtertyp bei 50-80 % der Schweine- und Legehennenfutter einen Phytasezusatz auf. Seitdem haben sich der Phytasezusatz ausgeweitet und die Unterschiede zwischen den Futtertypen vermindert. Lediglich im Ergänzer für Schweine und im Legehennenfutter wird nicht ganz so häufig Phytase zugesetzt (88 % bzw. 75 %) gegenüber mehr als 95 % beim Alleinfutter für Schweine. Bei Betrachtung der regionalen Zuordnung und der Art der Phytasen zeigt sich, dass in Süd-Deutschland insgesamt eine etwas geringere Häufigkeit des Zusatzes von 3-Phytase vorliegt.

3.2 Phytasegehalt

Die Wirkungsoptima verschiedener Phytasen unterscheiden sich bzgl. Temperatur und pH-Wert zwar, es wird aber bei der Analyse für alle Phytasen auf die o. g. Konvention zur Enzymaktivität hin geprüft. Die zurzeit in Europa zugelassenen Phytasen verschiedener Hersteller sind mit unterschiedlichen Mindestdosierungen zugelassen (EU, 2013). Dabei werden im Rahmen der Zulassung auch unterschiedliche Empfehlungen zur Zusatzhöhe bei gleichen und verschiedenen Tierkategorien gemacht.

In Tabelle 2 werden die Spannweite und der Mittelwert der einzelnen Phytasezusätze bei den verschiedenen Futtertypen, getrennt für 3- und 6-Phytasen, aufgezeigt. Im Ergänzungsfutter sind entsprechend der vorgesehenen Konzeption (mit unterschiedlichem Mischungsanteil, mit diversen anderen Futtermitteln) höhere Zusätze vorhanden, die mit denen der Alleinfutter nicht vergleichbar sind. Aufgrund der unterschiedlich verwendeten Getreidearten und weiterer Komponenten, für die keine entsprechenden Informationen vorliegen, sowie die Einbeziehung weiter verarbeiteter Futtermittel, wird hier auf eine Berechnung des Gehaltes in der fertigen Mischung (Ergänzer + Getreide + x) verzichtet.

Der Zusatz von 6-Phytase war im Mittel höher als der von 3-Phytase, bei allerdings sehr großer Spannweite. Im Gegensatz zur Auswertung von Grünwald et al., 2005 scheint der Unterschied geringer (s. Tab. 2). Die aktuell größere Spannweite ist durch die höhere Zahl zugelassener Phytasen, mit unterschiedlichen Wirksamkeiten, bedingt.

Tab. 2: Höhe des Phytasezusatzes (U/kg)

		Ferkel- futter	Mast- futter	Sauen- futter	Ergänzerf. Schweine	Legehennen- futter
3-Phytasen	Min.	409	150	410	500	333
	Max.	750	1.500	676	6.666	900
	Mittel	504	487	511	2.000	485
6-Phytasen	Min.	250	250	200	500	300
	Max.	1.503	1.500	1.800	16.100	1.500
	Mittel	758	724	700	2.646	554

Eine starke Aufgliederung der ausgewerteten Futter nach Region und Futterttyp ist aufgrund der geringen Probenzahl nicht sinnvoll. Eine Sichtung der Daten nach Untergliederung der Ferkel-, Sauen und Mastfutter nach Gewichtsbereich bzw. Leistungsstadium zeigt keine weitere Differenzierung bzw. keine gerichteten Unterschiede der mittleren Höhe des Zusatzes. Das heißt, Futter für die Endmast bzw. die Laktation sind nicht grundsätzlich mit niedrigerem Phytasezusatz als solche für die Anfangsmast bzw. die Trächtigkeit konzipiert.

3.3 Ergebnisse Deklarationseinhaltung

Die Überprüfung der Phytasegehalte zur Einschätzung der tatsächlich erreichten Gehalte und der Deklarationstreue erfolgte bei 86 Mischfuttern. Die Zusätze lagen zwischen 0 (9x ohne Zusatz) und 16 100 U/kg. Die Befunde lagen zwischen 42 und 14 700 U/kg, wobei eine Quantifizierung unter 100 U/kg mit einer sehr hohen Streuung behaftet ist, Aktivitäten über 200 U/kg können zuverlässiger bestimmt werden. In Abbildung 2 sind die Deklarations- und Befundwerte gegenübergestellt.

Zur Beurteilung werden die amtliche Toleranz (hier unterschreitend 10 %, überschreitend 30 %) und Analysenspielräume (ASR) des VDLUFA (Schönherr et al., 2012) mit hier 45 % (für Mischfutter gültig) berücksichtigt.

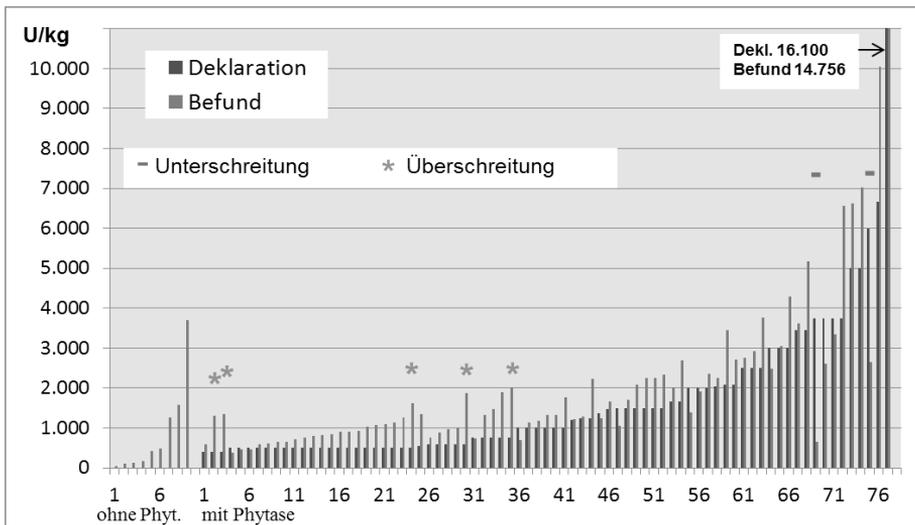


Abb. 2: Phytasegehalte (Deklaration und Befund)

Auch ohne angegebenen Zusatz wird ein Wert von 3 900 U gemessen. Dieser Wert ist allerdings ohne Zusatz kaum vorstellbar. Bei Zusatz liegen die Befunde meist leicht über den Angaben. Für zwei Futter kann der deklarierte Zusatz nicht bestätigt werden. Fünf Futter weisen deutlich höhere Gehalte als zugesetzt auf. Dies kann durch native Phytase bedingt sein und wäre dann futtermittelrechtlich nicht relevant.

4. Offene Fragen / Forschungsbedarf

Eine Unterscheidung von nativer und mikrobieller Phytase bei der Analyse wäre hilfreich, um die Überprüfung des deklarierten Zusatzes im Mischfutter zu ermöglichen. Zur Einschätzung der Wirksamkeit des Phytase-Zusatzes ist neben dem Gehalt (Deklaration / Befund) auch die Phytase-Herkunft und natürlich P-Gehalt und Bindungsform im Futtermittel zu beachten. Daher wäre zu prüfen, ob zukünftig ein optimierter Phytase-Zusatz je nach nativem Gehalt und Handelsprodukt denkbar ist. Dazu wäre eine Klärung der Unterschiede in der Wirksamkeit nativer und verschiedener mikrobieller Phytasen notwendig. Wegen der fast grundsätzlichen Phytaseergänzung scheint die Praktikabilität einer solchen Vorgehensweise derzeit allerdings fraglich.

5. Zusammenfassung und Fazit

Von den aus dem VFT-Warentest im Jahr 2012 vorliegenden Unterlagen zu Futterproben wurden 732 Futter bezüglich Futtertyp, Herkunft und Phytasezusatz ausgewertet. Der Zusatz von Phytase im Futter für Schweine und Legehennen hat sich etabliert, nur ein geringer Teil der Futter (z. B. Biofutter) enthält diesen Zusatz nicht. Die Häufigkeit des Zusatzes unterscheidet sich zwischen den Regionen und den Futtertypen nur noch wenig. Die Höhe des Zusatzes unterscheidet sich im Mittel je nach Phytase-Herkunft (3- bzw. 6-Phytase), bei deutlicher Variation zwischen den einzelnen Futtermitteln.

Bei den im Rahmen einer Stichprobe überprüften Futter (n = 86) wurden die deklarierten Zusätze durch die analytischen Gehalte überwiegend bestätigt (97% der Futter i. O.), nur zweimal unterschritten.

6. Literaturangaben

- EU, 2013: Regulation (EC) No 1831/2003. European Union Register of Feed Additives, Edition 170. Annex I – 03.09.2013, http://ec.europa.eu/food/food/animalnutrition/feedadditives/commregister_feed_a.
- EU, 2010: Verordnung (EG) Nr. 939/2010 der Kommission vom 20. Oktober 2010. Amtsblatt der EU, L 229, vom 21.10.2010, 4-7.
- Grünewald, K.-H., Staudacher, W., Steuer, G, 2005: Verbreitung unterschiedlicher mikrobieller Phytasen bei der Konzeption von Mischfutter. In: 117. VDLUFA-Kongress, 2005, Kreislaufwirtschaft in der Landwirtschaft – quo vadis, Kurzfassungen, 34.
- Schönherr, J., Danier, J., Thalmann, A., 2012: Überarbeitung der Analysenspierräume. Krafffutter – Feed Magazine, 95(11-12), 12-19.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2007: Methode 27.1.2, Phytaseaktivität in Futtermitteln und Vormischungen. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch) Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 7. Erg., 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Danksagung

Die Prüfung von Mischfutter durch den Verein Futtermitteltest e. V. wird dankenswerterweise insbesondere durch Zuschüsse des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) gefördert.

Untersuchungen zur bedarfsgerechten Versorgung von Masthybridebern

L. Hagemann¹, A. Berk², K. Büsing³, H. Claus⁴, A. Hardinghaus⁵, K. Krüger⁶, W. Matthes⁷, S. Müller⁸, C. Otten², M. Rademacher⁶, G. Riewenherm⁹, M. Weber¹⁰, A. Zeyner¹¹

¹Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Teltow-Ruhlsdorf, ²Friedrich-Löffler-Institut, Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit, Institut für Tierernährung, Braunschweig, ³Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostock, Professur für Ernährungsphysiologie und Tierernährung, Rostock, ⁴Hauptgenossenschaft Nord AG, Kiel, ⁵Deutsche Vilomix Tierernährung GmbH, Neuenkirchen-Vörden, ⁶Evonik Degussa International AG, Hanau-Wolfgang, ⁷Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Tierproduktion, Dummerstorf, ⁸Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Außenstelle Bad Salzungen, ⁹Deutsche Tiernahrung Cremer GmbH & Co. KG, Düsseldorf, ¹⁰Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Zentrum für Technik und Tierhaltung Iden, ¹¹Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Professur für Tierernährung, Halle

1. Einleitung

Mit dem Verbot der betäubungslosen Kastration ab 2019 in Deutschland ist zu erwarten, dass männliche Ferkel vorwiegend unkastriert gemästet werden. Um den spezifischen Fütterungsanforderungen männlicher Masthybriden zu entsprechen, sind Kenntnisse zu deren Bedarf an Energie und Nährstoffen, insbesondere an essentiellen Aminosäuren (EAS), notwendig. Im Rahmen eines systematisch strukturierten Projektes* erarbeiten zehn Partner aus Wissenschaft, angewandter Forschung und Wirtschaft Grundlagen zur Ableitung von Versorgungsempfehlungen für Jungeber in der Mast; nachstehend wird aus dem laufenden Projekt berichtet.

2. Projektstruktur

Im Verbund werden vier Teilprojekte bearbeitet.

Teilprojekt 1 – „Untersuchungen zum Proteinansatzvermögen und zur Kör-

perzusammensetzung von Mastebnern“ – bereitet mit der Durchführung von N-Bilanzversuchen zur Ermittlung des Proteinansatzvermögens die Ableitung von Versorgungsempfehlungen für die Exakt-Fütterungsversuche vor. Weiterhin liefern Ganzkörperanalysen von definierten Schlachtkörpern Basisdaten zur Kalkulation des Gewebeansatzes der Masthybrideber (Protein, Fett, Mineralstoffe).

Teilprojekt 2 – „Durchführung von Exakt-Fütterungsversuchen mit verschiedenen Fütterungsstufen und differenzierter genetischer Herkunft der Probanden“ – beinhaltet die Dokumentation der Mast- und Schlachtleistung definierter Masthybriden unter standardisierten Prüfbedingungen bei unterschiedlichen Versorgungsstufen mit essentiellen Aminosäuren. Zusätzlich erfolgt die Erfassung sensorischer Geruchsabweichungen und der Konzentrationen geruchsrelevanter Verbindungen im Fettgewebe. Anhand der Prüfergebnisse werden die Versorgungsempfehlungen für die nachfolgenden Praxisversuche festgelegt.

In Teilprojekt 5 – „Durchführung von Gruppenfütterungsversuchen mit Kontroll- und Versuchsgruppe“ – wird die Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit der Jungbermast nach aktuell festgelegten Versorgungsempfehlungen bei definierter genetischer Herkunft unter Praxisbedingungen untersucht.

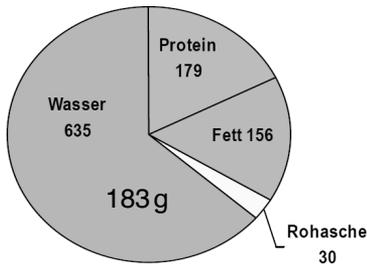
Im Rahmen von Teilprojekt 4 – „Untersuchungen zur praecaecalen Verdaulichkeit“ – wird anhand von Verdauungsversuchen (*in vivo*) für die in den Exaktversuchen geprüften Mischfuttermittel die praecaecale Rohnährstoff- bzw. Aminosäurenverdaulichkeit bestimmt.

3. Ergebnisauswahl

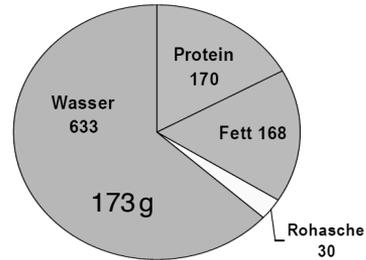
Teilprojekt 1 – Aus der Zusammensetzung des Tierkörpers und der Höhe des Proteinansatzes können Versorgungsempfehlungen abgeleitet werden. In N-Bilanzversuchen zu Projektbeginn weisen Masthybrideber eine verbesserte N-Retention bzw. einen höheren Proteinansatz bei Zulage von 10 bzw. 20 % EAS im Vormastbereich auf. Die Versuchsmethodik, einschließlich Futter-, Kot- und Harnanalytik, ist in den hier genannten Veröffentlichungen eingehend beschrieben (Otten et al., 2012; Otten et al., 2013). Die Ausstattung der Versuchsfutter mit essentiellen Aminosäuren auf drei Versorgungsstufen (Teilprojekt 2) erfolgte in Orientierung an diesen Ergebnissen. Die Ganzkörperanalysen

zeigten die Zusammensetzung der Leerkörper in Abhängigkeit von der genetischen Herkunft der Probanden sowie den Proteinansatz je kg Leerkörperzuwachs (s. Abb. 1).

Pi1 x F1 EBER (g/kg)



Du x F1 EBER (g/kg)



Proteinansatz von Masthybridebern je kg Leerkörperzuwachs

Abb. 1: Zusammensetzung der Leerkörper nach genetischer Herkunft (Pi-Pietrain/Du-Duroc) der Probanden

Es besteht kein signifikanter Einfluss der Versorgungsstufe (EAS-Fütterungsvariante) auf die Körperzusammensetzung der Masteber im Versuch.

Teilprojekt 2 – Durch zeitgleiche Exaktfütterungsversuche in drei Leistungsprüfstationen/Schwein (Dornburg/TH, Ruhlsdorf/BB, Iden/ST) werden die Effekte verschiedener Zulagestufen an EAS unter Gruppenhaltungsbedingungen mit typischen Masthybridgenotypen (Voll- bzw. Halbgeschwister aus gezielter Anpaarung; Väter- Pi1, Pi2 und Du) überprüft.

Die Alleinfutter (s. Tab. 1) werden je Mastphase bei einem Hersteller an einem Tag unter Verwendung gleicher Rohstoffchargen produziert und auf die LPA verteilt.

Die Dokumentation der Basisparameter für die Mast- und Schlachtleistung erfolgt einzeltierbezogen gemäß den bundeseinheitlichen ALZ-Richtlinien der Stationsprüfung (ZDS, 2007). Anhand definierter Proben aus Auflagefett am Schlachtkörper werden sensorische Geruchsabweichungen bewertet sowie zusätzlich die Konzentration geruchsrelevanter Verbindungen (hier Androstenon u. Skatol) im Fettgewebe gemessen (s. Tab. 2).

Tab. 1: Futtercharakteristika je Variante

Futtervarianten (pelletiert, ad lib.)	25-70 kg Lebendmasse (13,4MJME/kg b. 88% TS)	70-125 kg Lebendmasse (13,0MJME/kg b. 88% TS)
DLG-Empfehlung ¹⁾ △ 100 %	1,01 % pcv Lysin +ABC	0,78 % pcv Lysin +A
115 %	1,18 % pcv Lysin +ABCD	0,91 % pcv Lysin +ABC
130 %	1,34 % pcv Lysin +ABCD	1,04 % pcv Lysin +ABC

¹⁾nach Empfehlung für Herkünfte mit sehr hohem Proteinansatz bzw. die Jungebermast; Futterkomponenten: Weizen, Gerste, Soja- u. Rapsextraktionsschrot, Sojaöl, Pflanzenfettsäuren (EM), Min.-Vitamin-Vormischung; pcv – praecaecal verdaulich; Zulagenfreier EAS: A–Lysin-HCL; B–DL-Methionin; C–L-Threonin; D–L-Tryptophan

Tab. 2: Mast-/Schlachteleistungsparameter sowie Androstenon-/ Skatolgehalt**

Genetische Herkunft des Vaters	Pietrain (nges. = 320 ♂)			Duroc (nges. = 106 ♂)		
	100 %	115 %	130 %	100 %	115 %	130 %
Versorgungsstufen (EAS)						
Tageszunahme, g/Tag	961	966	958	1133 ^a	1189 ^b	1123 ^b
Futterverbrauch, kg/Tag	2,24	2,22	2,22	2,48 ^a	2,36 ^{ab}	2,32 ^b
Futtermittelverbrauch, kg/kg Zuwachs	2,32	2,30	2,32	2,08	2,08	2,07
Muskelfleischanteil _{MFB} , %	59,7	60,0	60,0	57,7	58,6	58,4
Androstenon im Nackenfett, ng/g	950	970	833	1183	1513	1370
Skatol im Nackenfett, ng/g	182	129	127	140	155	107

**Zusammenfassung aus drei Prüfstationen; LSQ-Means; a, b – verschiedene Hochbuchstaben zeigen signifikante Merkmalsdifferenzen ($p \leq 0,05$); MFB Muskelfleischanteil nach Bonner Formel

4. Erstes Fazit nach aktuellem Projektstatus

Eine gesteigerte Aminosäureausstattung isoenergetisch konzipierter Alleinfutter beeinflusst

- (1) bei Masthybridebern mit der Vaterrasse PIETRAIN die geprüften Merkmale der Mast- und Schlachtleistung nicht signifikant;
- (2) bei Masthybridebern mit der Vaterrasse DUROC die Merkmale der Mastleistung in unerwünschter Richtung, d. h. zu hohe Zulagen an EAS reduzieren – insbesondere im Anfangsmastbereich – die tägliche Futteraufnahme und damit auch die Zunahmeleistung;
- (3) unabhängig von der Vaterrasse den Gehalt definierter Fettgewebeproben an geruchsaktiven Substanzen nicht.

5. Literaturangaben

DLG, 2010: Erfolgreiche Mastschweinefütterung. DLG-KOMPAKT, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

GfE, 2006: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr.10. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

Otten, C., Berk, A., Müller, S., 2012: Erste Ergebnisse von N-Bilanzversuchen zur bedarfsgerechten Versorgung von Mastebnern. Tagungsband „Forum angewandte Forschung“ 14./15.03.2012, Fulda.

Otten, C., Berk, A., Hagemann, L., Müller, S., Weber, M., Dänicke, S., 2013: Effect of varying supply of amino acids on nitrogen retention and growth performance of boars of different sire lines. Arch Tierz 56 (2013), 75, 1 17 June 2013 | doi: 10.7482/0003-9438-56-075.

ZDS, 2007: Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein vom 04.09.2007. http://www.zds-bonn.de/lpa_rassencodes.html.

*Das Verbundprojekt (3/2011 bis 10/2013) wird mit Mitteln des BMELV unter den Geschäftszeichen 313-06.01-28-1-38.026-10 bis 313-06.01-28-1-38.031-10 gefördert.

Ergotalkaloide in Thüringer Getreide bei unterschiedlichem Mutterkornbesatz

E. Herzog, R.-P. Bähr, C. Fischer, F. Schöne

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Einleitung

Mutterkorn ist ein Risikofaktor für die Gesundheit von Mensch und Nutztier, gegebenenfalls auch für die Tierleistung. Belastungen von Getreideprodukten durch Mutterkorn können auch nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft und Technik nicht völlig ausgeschlossen werden. Als Mutterkorn werden die Sklerotien des Mutterkornpilzes *Claviceps purpurea*, der auf Roggen und anderen Süßgräsern als Parasit wächst, bezeichnet. Nach der Richtlinie 2002/32/EG über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung beträgt der Höchstgehalt von Mutterkornsklerotien (*Claviceps purpurea*) in ungemahlenem Getreide 1 g/kg bezogen auf 88 % Trockenmasse (EU, 2002). Der Gehalt der Sklerotien an Mutterkornalkaloiden variiert aber sehr stark, und so erlaubt der Besatz an Mutterkorn nur begrenzt Aussagen über die Toxizität einer Getreidepartie. Mit der im Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) erarbeiteten und in den Jahren 2011 und 2012 in der TLL etablierten Methode zur Bestimmung der Mutterkornalkaloide ist nun die Möglichkeit gegeben, Daten zum Mutterkornbesatz mit Analysenwerten zu Ergotalkaloiden zu unterlegen.

Im Rahmen der Besonderen Ernteermittlung der Thüringer Getreide- und Rapsqualität (BEE) werden jährlich 60 unzerkleinerte Roggenkorn- und 60 unzerkleinerte Triticalekorn-Proben auf sichtbaren Mutterkornbesatz mikroskopisch untersucht. Aus diesem Pool waren Proben ohne Besatz und mit Besatz auf Ergotalkaloide zu analysieren, die Proben mit Besatz mit der Unterteilung in niedrigen, mittleren und hohen Mutterkornanteil.

2. Material und Methode

In den Jahren 2011 und 2012 kamen aus der BEE 59 Proben mit nachgewiesenem Mutterkorngehalt (30 mal Roggen; 29 mal Triticale) und 4 Proben ohne sichtbaren Mutterkornbesatz zur Untersuchung. Die Analyse der Ergotalkaloide

erfolgte mittels Flüssigkeitschromatographie/Massenspektroskopie (LC-MS/MS QTRAP 4000 von ABSCIEX). In Entsprechung des Kontrollprogrammes Futtermittel (BMELV, 2012) wurden in diesen Proben die Ergotalkaloide Ergometrin, Ergosin, Ergotamin, Ergocornin, Ergocryptin (alpha und beta) und Ergocristin, jeweils in Summierung der Analysenwerte der Derivate der D-Lysergsäure (Endung „-in“) und der D-Isolysergsäure (Endung „-inin“) bestimmt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die ausgewählten Roggenproben besaßen in beiden Jahren im Mittel ähnliche Gehalte an Mutterkorn, wogegen für Triticale 2012 gegenüber 2011 der dreifache Gehalt gefunden wurde (Tab. 1). In die Untersuchung gingen Proben mit Mutterkorngehalten von 0,1 g/kg T (gering kontaminiert) bis 5,7 g/kg T (hoch kontaminiert) ein. Die Analyse von zwei Roggen- und zwei Triticaleproben ohne sichtbare Sklerotien ergab Gesamtalkaloidgehalte unterhalb der Nachweisgrenze von $< 10 \mu\text{g/kg T}$. In den für Mutterkorn positiven Proben zeigte für beide Jahre der Gesamtalkaloidgehalt Triticale höher alkaloidbelastet als Roggen.

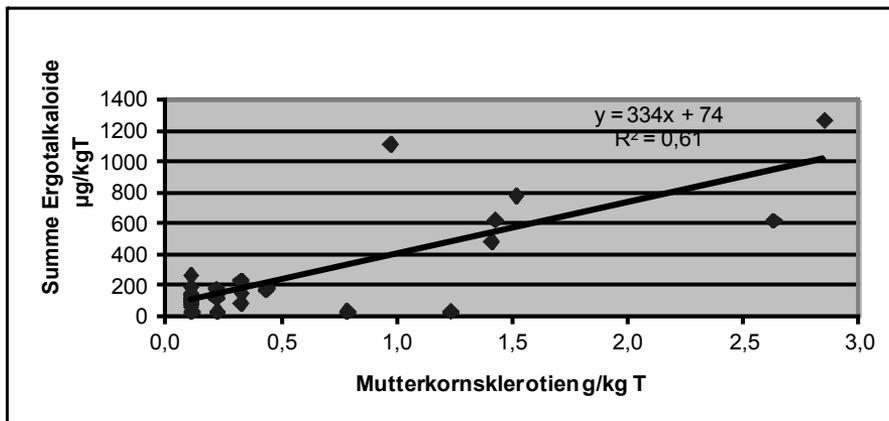


Abb. 1: Alkaloidgehalt und Mutterkornbesatz in Roggen (30 Proben – Besondere Erntemittlung Thüringen 2011/12)

Die Beziehung zwischen dem Anteil an Mutterkornsklerotien und dem Gehalt an Alkaloiden ist für beide Getreidearten mit einem Bestimmtheitsmaß von $> 0,6$ hochsignifikant (Abb. 1 und 2). Der höchste Gesamtalkaloidgehalt in Roggen wurde mit $1272 \mu\text{g/kg T}$ in der Probe mit dem höchsten Mutterkornbesatz nach-

Tab. 1: Ergotalkaloide in Roggen und Triticale bei nachgewiesenem Mutterkornbefall aus der BEE 2011 und 2012 in $\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse (T), Werte unter der Bestimmungsgrenze (BG) von umgerechnet 11 $\mu\text{g}/\text{kgT}$ gehen interpoliert mit 5,4 $\mu\text{g}/\text{kgT}$ in die Berechnung von Mittelwert (MW) und Standardabweichung (s) ein

		Roggen	Triticale	Roggen	Triticale
		2011	2011	2012	2012
Probenanzahl	n	15	12	15	17
	MW	0,53	0,35	0,61	1,24
Mutterkorn/ kgT	$\pm s$	$\pm 0,51$	$\pm 0,33$	$\pm 0,93$	$\pm 1,55$
	Min.	0,11	0,11	0,11	0,11
	Max.	1,51	1,30	2,84	5,71
Ergometrin, -in	MW	9	24	39	86
	s	7	25	69	160
	Min.	<BG	<BG	<BG	<BG
	Max.	28	84	275	672
Ergosin, -in	MW	63	98	37	137
	s	188	123	27	181
	Min.	<BG	<BG	17	<BG
	Max.	740	402	111	674
Ergotamin, -in	MW	41	100	69	221
	s	63	92	88	341
	Min.	<BG	<BG	17	<BG.
	Max.	243,3	299,6	336	1331
Ergocornin, -in	MW	25	143	42	139
	s	37	232	45	179
	Min.	<BG	<BG	15	<BG
	Max.	126	832	162	521
Ergocryptin, -in	MW	20	72	27	97
	s	21	112	22	115
	Min.	<BG	<BG	13	<BG
	Max.	65	408	78	429
Ergocristin, -in	MW	82	216	75	330
	s	102	272	104	674
	Min.	<BG	<BG	10	12
	Max.	391	777	408	2837
Summe der Alkaloide	MW	240	653	288	1010
	s	316	591	322	1517
	Min.	33 ¹⁾	111	79	81
	Max.	1115	1883	1272	6399

¹⁾entsprechen 6mal der interpolierten Werte von 5,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$, Min. –Minimum¹⁾, Max.–Maximum

gewiesen. Auch der höchste analysierte Gesamtalkaloidgehalt in einer Triticaleprobe von 6399 $\mu\text{g}/\text{kg T}$ war mit dem höchsten Mutterkorngehalt von 5,71 $\text{g}/\text{kg T}$ verbunden. Verglichen mit dem Höchstgehalt von 1,0 g/kg für Mutterkorn (*Claviceps purpurea*) in Futtermitteln, die ungemahlene Getreide enthalten (EU, 2002), liegen 47 der untersuchten Proben darunter und 12 Proben darüber.

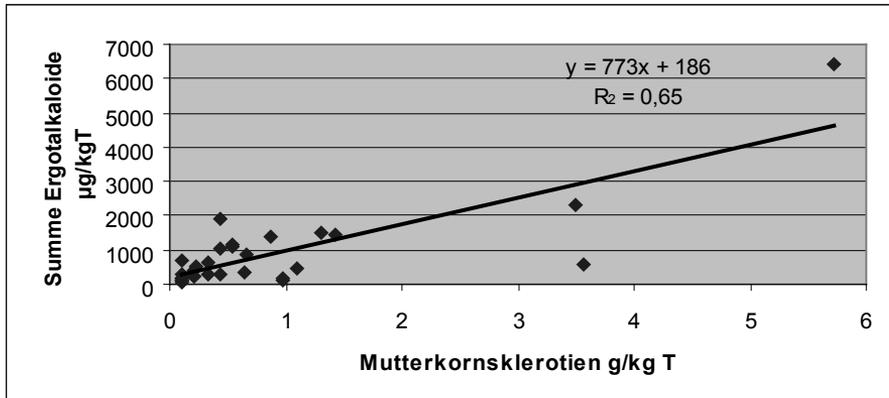


Abb. 2: Alkaloidgehalt und Mutterkornbesatz in Triticale (29 Proben – Besondere Ernteterminnung Thüringen 2011/12)

4. Fazit

Die Ergebnisse bestätigen die hohe Varianz des Mutterkornalkaloidgehaltes in den Sklerotien und zeigen, dass mit der Festlegung eines Höchstgehaltes für Mutterkorn tatsächlich ein großer Teil der mit Ergotalkaloiden belasteten Proben erfasst wird. Die höhere Alkaloidbelastung bei gleichem Mutterkornanteil von Triticale verglichen mit Roggen ist weiter zu untersuchen. Eine Ergänzung des gesetzlichen Höchstgehaltes von 0,1 % Mutterkorn in Futtermitteln durch Alkaloidhöchstgehalte wird empfohlen.

5. Literaturangaben

BMELV, 2012: Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Kontrollprogramm Futtermittel für die Jahre 2012 bis 2016, in der Fassung vom 05.12.2012.

EU, 2002: Europäisches Parlament und Europäischer Rat Richtlinie 2002/32/EG vom 7.Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung, in der Fassung vom 07.5.2002, zuletzt geändert am 25.7.2008.

Die Untersuchung erfolgte im Rahmen des vom Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Natur und Umwelt (TMLFUN) geförderten Projektes Nr. 9201 „Analytische Methodenentwicklung und Qualitätssicherung“.

Beweidung von Fotovoltaikanlagen mit Schafen

M. Jurkschat¹, L. Schadow²

¹Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung des Landes Brandenburg, Groß Kreutz, ²Institut für Biochemie und Biologie, Universität Potsdam

1. Einleitung

Laut Energiestrategie 2020 des Landes Brandenburg soll der Anteil der Erneuerbaren Energien bis 2020 auf 20 Prozent am Primärenergieverbrauch ausgebaut werden. Hier ist konzeptionell auch die Energiegewinnung von Freilandphotovoltaikanlagen eingebunden. Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit der Solarmodule ist die Verhinderung von Beschattung durch den Pflanzenaufwuchs (Abb. 1).



Abb. 1: Die Pflegemaßnahmen müssen dafür sorgen, dass die Unterkante der Solarpaneele nicht überwachsen wird

Für das Kurzhalten des Aufwuchses kommen die Mahd und die Schafbeweidung in Frage.

Ziel des vorliegenden Projektes war es zu klären:

- unter welchen technischen Voraussetzungen die Schafbeweidung anwendbar ist,
- wie das Weideverfahren mit Schafen auf Fotovoltaikanlagen gestaltet werden kann,
- welche Faktoren aus Sicht des Schafhalters die Wirtschaftlichkeit, und damit die Attraktivität der Anlagenbeweidung, beeinflussen.

2. Material und Methode

Mit 16 Anlagenbetreibern und 13 Schäfern wurden Interviews zu Erfahrungen und Meinungen in Bezug auf die Beweidung von Photovoltaikanlagen durchgeführt. Einige Anlagenbetreiber bewirtschafteten mehrere Fotovoltaikfreilandanlagen.

Die Fragen bezogen sich auf folgende Schwerpunkte:

- Einleitende Fragen, Erfahrungshintergründe
- Allgemeine Informationen zur Fläche und den Solaranlagen
- Pflege der Fläche, Beweidungsregime
- Auswirkungen der Beweidung auf die Flächen

Die Interviews wurden telefonisch, am Geschäftssitz oder vor Ort an den Solaranlagen durchgeführt. Grundlage für die Gesprächsführung waren standardisierte Fragebögen mit offenen Fragestellungen. Die Gespräche sind auf Tonträgern mitgeschnitten worden. Anschließend erfolgte die Protokollierung der Audiodateien (Transkription). Danach wurden die Aussagen kategorisiert und quantifiziert.

Im Falle der vor Ort geführten Interviews sind technische Details zur Solaranlage bzw. zum Beweidungsregime fotografisch dokumentiert worden.

Die Größe der Fläche der Solaranlagen zeigte eine große Spannweite. Die meisten Anlagen waren der Kategorie ≤ 5 ha zuzuordnen. Die größte Anlage wies 77 ha auf (Abb. 2).

Die Solarparks wurden sowohl auf Konversionsflächen als auch auf landwirtschaftlicher Nutzfläche errichtet (Abb. 2).

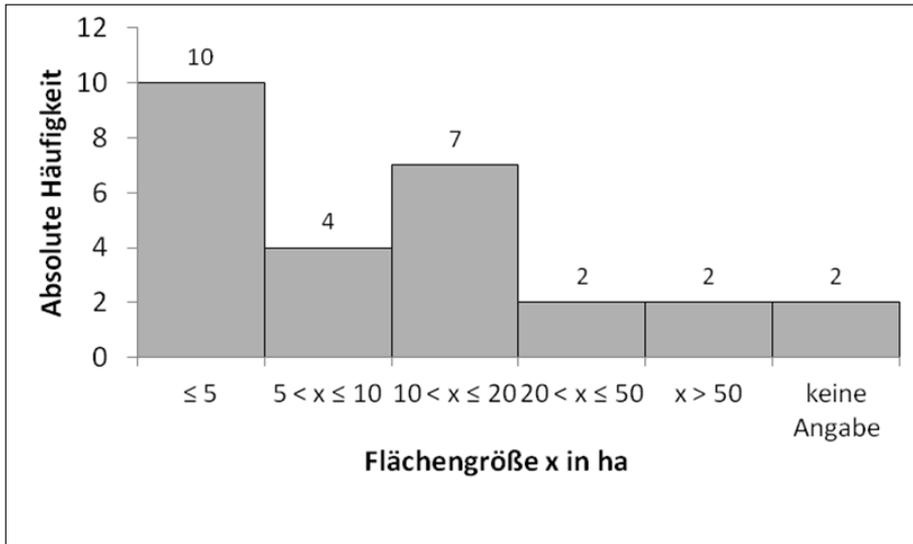


Abb. 2: Zuordnung der Solarparks zu Flächengrößenkategorien der von den Interviewpartnern beschriebenen Solarparks (n=27).

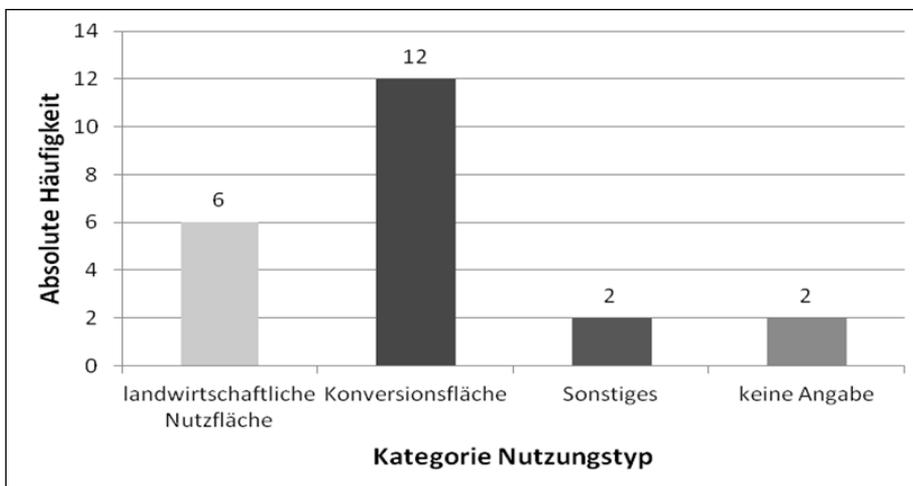


Abb. 3: Vorherige Nutzung der Solarparkstandorte (ausschließlich der beweideten Solarparks, n=22)

3. Ergebnisse

Insgesamt befürworteten alle Betreiber, die schon Erfahrungen mit der Schafbeweidung gesammelt haben (seien es gute oder schlechte), eine Schafbeweidung auf Photovoltaik-Freiflächen. Die hierfür genannten Gründe sind jedoch unterschiedlich (Abb. 4). An erster Stelle für eine Schafbeweidung stand deren ökologisches Image. Hervorzuheben sind weiterhin wirtschaftliche Vorteile (Kostensparnis) und die Einfachheit des Verfahrens (geringer organisatorischer Aufwand für den Anlagenbetreiber).

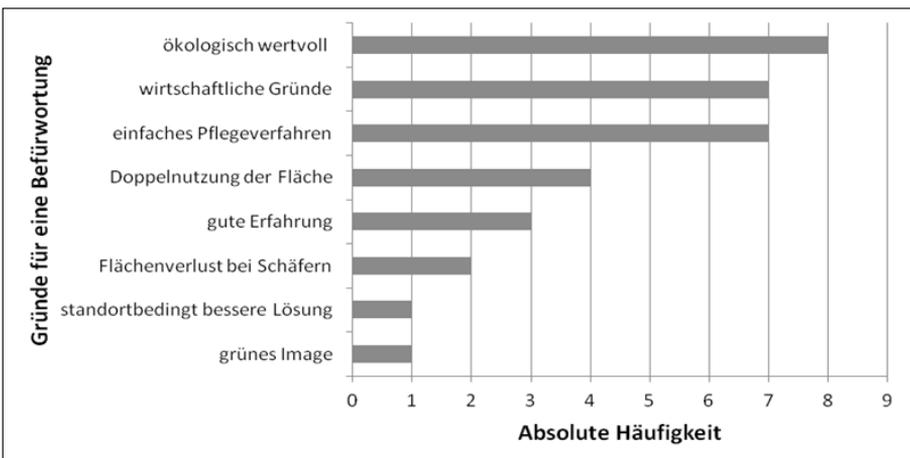


Abb. 4: Gründe einer Befürwortung der Schafbeweidung bei den Betreibern

3.1 Technische Voraussetzungen

Grundsätzlich ist die Schafbeweidung in nahezu allen Freilandsolaranlagen möglich. Anstrebenswert ist eine Mindesthöhe der Solarpaneelunterkante von mindestens 80 cm. Bei dieser Höhe können die häufig vorkommenden Merino- bzw. Fleischschafrasen bequem unter den Solarmodulen weiden. Allerdings ist die Sicherheit der Solarpaneele eher von der Bauart bzw. der Stabilität der Aufhängung abhängig als von der Höhe der unteren Kante. Kristalline Solarpaneele sind in einem stabilen Rahmen eingefasst und relativ unempfindlich gegenüber etwaigen mechanischen Beschädigungen durch die Schafe. Dünnschichtmodule dagegen werden häufig lediglich über Klammern gehalten. Hier kann es zu Schädigungen kommen, wenn die Module zu tief aufgehängt wer-

den. In einem Fall aus der untersuchten Stichprobe kam es in solch einer Anlage zu Schäden. Infolge eines regen Fußgängerverkehrs (Spaziergänger mit Hunden in Großstadtnähe) wurden die Schafe häufig aufgeschreckt und stießen an die Solarpaneele (Abb. 5).



Abb. 5: Lediglich durch Klammern fixierte und in geringer Höhe aufgehängte Dünnschichtmodule kamen in einem Fall zu Schaden

Bei stabiler Aufhängung dagegen können auch Solarparks mit niedrig angebrachten Solarpaneelen bedenkenlos mit Schafen beweidet werden (Abb. 6).



Abb. 6: Dünnschichtmodule mit stabiler Aufhängung sind ohne Probleme zu beweidet

Zu einem Problem können frei hängende Kabelverbindungen werden (Abb. 7). Unmittelbar an den Wechselrichtern sind technisch bedingt solche Situationen vorzufinden. Hier besteht die Gefahr, dass die Tiere die Kabel befressen oder im

Falle einer Beunruhigung hängen bleiben und Schäden an der Anlage verursachen.



Abb. 7: An frei hängenden Kabeln können die Schafe hängen bleiben, Bereiche mit technisch bedingt frei hängenden Kabeln (z. B. Bereiche um die Gleichrichter) müssen ausgekoppelt werden

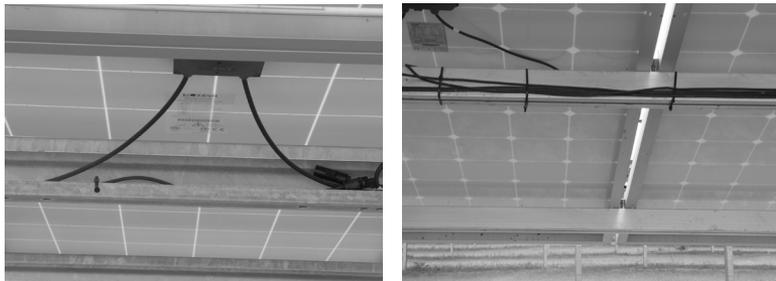


Abb. 8: In den Trägerprofilen verlegte oder mittels Kabelbindern fixierte Kabel können durch die Schafe nicht beschädigt werden.

3.2 Gestaltung des Beweidungsverfahrens

Die befragten Schäfer wandten sowohl das Hüten als auch verschiedene Koppelverfahren an (Abb. 9). Die Beweidung muss erreichen, dass der Aufwuchs die Höhe der Unterkante der Paneele nicht überschreitet. Beweidungsbeginn, Besatzdichte und Beweidungsfrequenz sind dem Standort entsprechend bzw. der Aufwuchsentensität anzupassen. Bereiche, die unzureichend verbissen werden, sind nötigenfalls nachzumähen. Über- und Unterbesatz an Schafen im

Verhältnis zur Aufwuchsmenge bedingen einen unterschiedlichen Umfang für Nachmahdarbeiten.

Günstig stellt sich die Mitbewirtschaftung von Anlagen durch große Herden in der Nähe der Weideflächen des Schäfers dar (Abb. 9). Der Schafhalter ist dann in der Lage, kurzfristig und ohne großen Transportaufwand die Besatzdichte in der Fotovoltaikanlage der saisonbedingten Aufwuchsintensität anzupassen. Nachmahdarbeiten beschränken sich dann nötigenfalls auf Bereiche mit Pflanzen, welche von den Schafen grundsätzlich nicht gefressen werden.

<u>Variante A</u>	<u>Variante B</u>
Herdengröße <u>übersteigt</u> notwendige Tierzahl zur Bewältigung des Aufwuchses (zeitweilig Futtermangel)	Herdengröße <u>unterschreitet</u> notwendige Tierzahl zur Bewältigung des Aufwuchses (zeitweilig Futterüberschuss)
Organisierung von Ausgleichsflächen	Teilflächen bleiben unbeweidet
geringer Aufwand für Nachmahd	Teilflächenmahd bzw. Nachmahd sind einzukalkulieren

Abb. 9: Mögliche Situationen in der Praxis bezüglich Flächengröße bzw. Aufwuchsmenge in der Freilandfotovoltaikanlage und der Beweidungskapazität

3.3 Kosten und Konkurrenzfähigkeit des Pflegeverfahrens „Schafbeweidung“

In Tabelle 1 ist eine Übersicht enthalten zu den aus den Interviews entnommenen Angaben bezüglich der Kosten für die angewandten mechanischen Pflegeverfahren und zu den gezahlten Pflegesätzen für die Schafbeweidung. Die Kosten der mechanischen Pflegemaßnahmen hängen ab von deren Häufigkeit, der Aufwuchsmenge, dem Geländere relief und naturschutzfachlichen Vorgaben (z. B. Verpflichtung zur Entfernung des Mähgutes). Die Sätze waren auf guten Ackerstandorten deutlich höher im Vergleich zu Fotovoltaikfreilandanlagen auf Konversionsflächen.

Tab. 1: Angaben aus den Interviews zu Kosten mechanischen Pflegeverfahren und zur Entlohnung der Pflege mittels Schafbeweidung

Pflegeverfahren	Kosten (€/ha)	
	Min	Max.
mechanisch*	360,-	1369,-
Beweidung**	194,-	1800,-

*lt. Auskunft der Anlagenbetreiber ohne Beweidung **lt. Auskunft der Schafhalter

Die Höhe des Pflegesatzes für die Beweidung hängt von folgenden Faktoren ab:

- Entfernung Betriebssitz zur Fotovoltaikanlage (Fahrtaufwand)
- Entfernung zum nächsten Wasseranschluss (Aufwand für die Tränkwasserversorgung der Herde)
- Ertrag und Futterwert des Aufwuchses am Standort (bei geringen Erträgen und schlechter Futterqualität Leistungseinbußen der Schafe berücksichtigen)
- naturschutzfachlichen Auflagen (z. B. Gebot des späten Auftriebs aufgrund des Vorhandenseins von Bodenbrütern).

4. Fazit

- Die Beweidung ist vorteilhaft für die Anlagenbetreiber. Sie ist i. d. R. kostengünstiger und erhöht das ökologische Image.
- Die Beweidung erfordert bauliche Voraussetzungen (stabile Aufhängung der Solarpaneele, keine freihängenden Kabel).
- Der notwendige Mindestsatz für die Solarparkbeweidung ist einerseits von den Standorteigenschaften des Solarparks (z. B. Ertragsfähigkeit des Bodens) und andererseits von betrieblichen Gegebenheiten der Schäferei (z. B. Entfernung Betriebssitz zur Fotovoltaikanlage abhängig). Dies gilt es bei der Entscheidung für eine Beweidung von Seiten des Schafhalters zu berücksichtigen.

5. Literaturangaben

Schalow, L., 2013: Schafbeweidung in Solarparks in Deutschland. Masterarbeit, Institut für Ökologie, Evolution und Naturschutz, Universität Potsdam.

Bakteriologische Erregerüberwachung am Beispiel eines Brandenburgischen Milchviehbestandes

I. Krehl¹, K. Münch²

¹Lehr- und Versuchsanstalt für Tierzucht und Tierhaltung e. V., Groß Kreutz,

²Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung des Landes Brandenburg

1. Einleitung

In Milchviehherden ist die Mastitis die bedeutendste Eutererkrankung. Durch ihr Vorkommen (klinisch, subklinisch), ihre Verbreitung (euter- oder umweltassoziiert) und ihren Behandlungsaufwand stellt sie einen wirtschaftlich wichtigen Faktor für den Milcherzeuger dar. Prägte bis vor wenigen Jahrzehnten noch die euterassoziierten Mastitiserreger, wie *Staphylococcus aureus* (Sta), das Mastitisgeschehen, so dominieren heutzutage die Gruppe der umweltassoziierten Mastitiserreger wie äeskulin positive Streptokokken (*Streptococcus uberis* (Str. *uberis*) und coliforme Keime (*E.Coli*) das Bild. Insbesondere die Gruppe der Koagulasenegativen Staphylokokken (KNS) werden häufig diagnostiziert (Anacker, 2009; Tischler und Tschischkale, 2008; Schafberg, 2006). KNS sind opportunistische Zitzenhautbesiedler und rufen dann Infektionen hervor, wenn die Abwehr der Haut durch Verletzungen geschwächt ist (Heikens et al., 2005). Um einen Überblick über die Erregerhäufigkeit im Bestand zu erhalten, ist die Dokumentation der Befundergebnisse und deren Auswertung von zentraler Bedeutung. Es wird das Ziel verfolgt, Erreger über einen längeren Zeitraum zahlenmäßig zu beobachten und gezielt zu laktationsspezifischen Zeitpunkten Managementempfehlungen abzuleiten.

2. Material und Methode

Die Untersuchungsergebnisse stammen aus dem Milchviehbestand der Lehr- und Versuchsanstalt für Tierzucht und Tierhaltung e. V. (LVAT) in Groß Kreutz und umfassen die Jahre 2000 bis März 2010. Im Mittel wurde ein Tierbestand von ca. 180 Kühen der Rasse Deutsche Holstein gehalten. Die Tiere waren in einem Außenklimastall mit Liegeboxen-Laufstall und mit unterschiedlicher Liegeboxengestaltung ohne Einstreumaterial aufgestallt. Die Fütterung erfolgte

über eine totale Mischration. Bis zum Jahr 2007 wurden alle Tiere ausschließlich am automatischen Melksystem des Typs Lely-Astronaut (2 Einzelboxen) gemolken. Danach erfolgte eine Erweiterung des Melksystems um ein konventionelles Melksystem, dem Fischgrätenmelkstand (2 x 7 Melkplätze). Ab diesem Zeitpunkt wurden ca. 90 Tiere am automatischen Melksystem und weitere 90 Tiere zweimal täglich im konventionellen Fischgrätenmelkstand gemolken.

Seit dem Jahr 2000 werden routinemäßig Viertelanfängsgemelksproben zu Beginn der Trockensteherphase und unmittelbar nach der Kalbung auf Erregerbesiedlung untersucht. Die entnommenen Proben werden im Labor des Landeskontrollverbandes Waldsiefersdorf auf ihre bakteriologische Beschaffenheit untersucht. Überwiegend werden die Proben auf klassische Mastitiserreger (antibiotikaempfindlich) untersucht. Die Befundergebnisse der bakteriologischen Untersuchungen fließen in einen Datenfundus ein, der neben den regelmäßigen Untersuchungen auch Befundergebnisse von euterkranken Tieren sowie Ergebnisse aus versuchsbedingten Anstellungen enthält. Der Datenfundus umfasst mehr als 4200 Datensätze mit 16 000 Viertelanfängsgemelken, die von Kühen mit unterschiedlicher Anzahl an Laktationen stammen.

Die statistische Verrechnung der erfassten Daten erfolgte mit dem Programmpaket SAS 9.2. Die Prüfung der Häufigkeitsverteilung erfolgte mit dem Chi-Quadrat-Test. Statistisch gesicherte Unterschiede sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben gekennzeichnet. Gruppen mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht voneinander. Als Signifikanzschwelle wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ unterstellt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Im Durchschnitt der untersuchten Jahre (2000–2010) waren 82,5 % der Befundergebnisse bakteriologisch negativ und weitere 17,5 % bakteriologisch positiv. Die Entwicklung der wichtigsten kuh- und umweltassoziierten Erreger und Erregergruppen veranschaulicht Tabelle 1. Bis auf wenige Ausnahmen in den einzelnen Untersuchungsjahren nimmt die Gruppe der KNS mit 5,5 % im Durchschnitt den größten Anteil bakteriologisch positiver Befundergebnisse ein.

Im Verlauf der Untersuchungsjahre kann festgestellt werden, dass eine Abnahme der kuhassoziierten Erreger (Sta, SC-) vonstatten gegangen ist, was

auf eine gute Hygiene im Melkbereich hinweist. Eine Übertragung von Kuh zu Kuh ist weitestgehend eingedämmt.

Tab. 1: Entwicklung der Befundergebnisse im Zweijahresrythmus von 2000–2010 in Prozent[%]

Jahr der Untersuchung (Anzahl Befunde)	Befund positiv	kuh-assoziert		umwelt-assoziert		
		Major pathogen		Minor pathogen	Major pathogen	
		Sta	SC-	KNS	E.coli	SC+
2000 (n=903)	17,9	3,6	1,9	8,9	1,5	0,8
2002 (n=2701)	18,8	2,7	6,8	4,1	1,1	1,9
2004 (n=1078)	14,9	2,1	1,2	2,8	2,9	4,5
2006 (n=816)	22,1	1,3	1,9	5,5	4,5	7,7
2008 (n=842)	14,1	0,6	2,2	6,3	2,1	2,4
2010 (n=211)	19,4	0,9	0,9	10,0	0,9	5,7
Mittelwert (n = 14 693)	17,5	2,6	3,1	5,5	1,5	3,2

Staphylokokkus aureus (Sta), Streptokokken äsculin-negativ (SC-) hauptsächlich Streptococcus dysgalactiae, Koagulasenegative Staphylokokken (KNS), Escherichia coli (E. coli), Streptokokken äsculin-positiv (SC+) hauptsächlich Streptococcus uberis.

Die Ermittlung der Zunahme der umweltassozierten Erreger (KNS, E.coli, SC+) weist auf Infektionen aus der Umwelt hin und beinhaltet eine kritische Prüfung der Haltungsbedingungen aus hygienischer Sicht.

Die Untersuchung infizierter Euterviertel, bezogen auf die jeweiligen Laktationen (Tab. 2), zeigt auf, dass die Viertelanfangsgemelke von Erstkalbinnen mit 45,4 % am stärksten mit KNS kontaminiert sind. Mit diesen Angaben liegt der Anteil unter den Angaben von Anacker (2009), der in der 1. Laktationswoche 74,4 % ermittelte. Mit zunehmender Laktationsnummer sinkt der Anteil KNS.

Kühe der 2. Laktation wiesen 23,8 % auf. Bei Kühen mit mehr als drei Laktationen liegt der KNS Anteil im Durchschnitt bei 20,0 % und damit deutlich niedriger als in der 1. Laktation. Statistisch unterscheidet sich der Anteil KNS der 1. Laktation von allen anderen signifikant. Zwischen der 2. Laktation und der >3. Laktation sind keine Unterschiede nachweisbar.

Tab. 2: Anteil KNS, SC-, SC+, Staje Laktationsnummer

Laktation (Anzahl)	KNS %		SC- %		SC+ %		Sta %	
1 (n=1150)	45,4	a	16,7	a	10,4	a	14,4	a
2 (n=622)	23,8	b	18,2	ab	21,5	b	18,9	b
3 (n=453)	14,6	c	21,9	b	27,1	c	12,3	a
>3 (n=345)	20,0	b	13,3	a	28,1	c	15,3	ab
Mittelwert	31,3		17,5		18,4		15,3	

Nach KNS nimmt mit 18,4 % die Gruppe aesculin-positive Streptokokken (SC+) Position zwei des Erregerspektrums ein. Mit steigender Laktationsperiode ist ein kontinuierlicher Anstieg des Erregers von der 1. Laktation (10,4 %) bis zur >3. Laktation (28,1 %) zu verzeichnen. Allein von der 1. zur 2. Laktation verdoppelt sich der Anteil. An dritter Stelle des Erregerspektrums steht mit 17,5 % die Gruppe der aesculin-negative Streptokokken (SC-). Infektionen mit SC- und SC+ nehmen mit steigender Laktation zu. Während bei SC- der durchschnittliche Anteil von der 1. Laktation bis zur 3. Laktation steigt und danach absinkt, steigt der Anteil für SC+ kontinuierlich von der 1. Laktation bis zur >3. Laktation. Statistisch unterscheidet sich der SC-Anteil nur zwischen der 1. und 3. Laktation. Für alle übrigen Laktationen konnte kein Unterschied statistisch gesichert werden. Der Anteil SC+ zwischen den Laktationen zeigt bis auf 3 und >3 signifikante Unterschiede. Für den Erreger Sta liegen signifikante Unterschiede zwischen Laktation 1 und 2 sowie 2 und 3 statistisch gesichert vor.

4. Schlussfolgerung

Im Verlauf der Untersuchungsjahre ist eine Abnahme der kuhassoziierten Erreger und eine Zunahme der umweltassoziierten Erreger festzustellen. Die am häufigsten nachgewiesenen Mikroorganismen im Milchviehbestand der LVAT waren mit 45,39 % bei Erstkalbinnen koagulase-negative Staphylokokken, die

zu den umweltassoziierten Erregern gehören. Um diesen Anteil zu mindern sind Hygiene und Managementabläufe im Abkalbebereich, in der Jungrinderaufzucht und in der Kälberhaltung zu prüfen. Die Identifizierung der einzelnen KNS-Arten ermöglicht eine gezielte Behandlung mit verfügbaren Medikamenten und erhöht in Folge die Heilungschancen.

Im Verlauf der Laktationsperiode wurde ein Anstieg aesculin-positiver Streptokokken (SC+) und aesculin-negativer Streptokokken (SC-) verzeichnet, was auf Infektionen aus der Umwelt und von Kuh zu Kuh hinweist. Die Haltungsbedingungen und die Abläufe während des Melkprozesses sind auf Einhaltung der Hygiene zu prüfen

5. Literaturangaben

Anacker, G., 2009: Empfehlungen zur Verbesserung der Eutergesundheit bei Färsen und Kühen, Zusammenfassende Darstellung mehrjähriger Untersuchungen. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz.

Heikens, E., Fleer, A., Paauw, A., Florijn, A., Fluit, A.C., 2005: Comparison of genotypic and phenotypic methods for species-level identification of clinical isolates of coagulase-negative staphylococci. *J. Clin. Microbiol.* 43, 2286-2290.

Schafberg, R., Anacker, G., 2007: Bakteriologische Untersuchung von Milchproben im Rahmen der Eutergesundheitsforschung. Abschlussbericht Uni Halle und TLL Jena.

Tischer, M., Tschischkal, R., 2008: Schleichende Zellzahlerhöhung durch Galt und Mykoplasmen, ein Praxisfall. *Milchpraxis*, 1/2008, 4-8.

Rückstände von quaternären Ammoniumverbindungen in Futter- und Lebensmitteln unter der besonderen Berücksichtigung der Grenzwertproblematik

H. Meiser¹, H. Knapp², S. Eiß², M. Ruhland¹, C. Schlicht¹, M. Felsner¹

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, ¹Oberschleißheim, ²Erlangen

1. Einleitung

Quaternäre Ammoniumverbindungen (QAV) in Form von Didecyldimethylammoniumchlorid (DDAC-C10) und der C8- bis C18-substituierten Benzalkoniumchloride (BAC) besitzen biozide Eigenschaften und werden deshalb in der Lebens- und Futtermittelproduktion als Wirkstoffe in Desinfektionsmitteln eingesetzt. Sie können folglich auch als Rückstände in Lebens- und Futtermitteln je nach Art und Menge der aufgenommenen Substanzen zu einem gesundheitlichen Risiko für Tier und Mensch werden (Wildbrett, 1996). Futtermittel werden deshalb im Rahmen der amtlichen Futtermittelüberwachung auf Rückstände von QAV überprüft.

Die Wirkstoffe DDAC-C10 und BAC sind Pflanzenschutzmittelwirkstoffe, für die in der Verordnung EU 396/2005 keine speziellen Rückstandshöchstgehalte festgelegt sind. Für sie gilt daher der allgemeine Höchstgehalt von 0,01 mg/kg Lebens- bzw. Futtermittel. Da dieser Höchstgehalt bei Anwendung entsprechender DDAC-C10- oder BAC-haltiger Präparate häufig überschritten wurde (Knapp et al., 2011), ist auf Grund von Risikobewertungen des BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung, 2012) vom ständigen Ausschuss für die Lebensmittelkette und Tiergesundheit der EU (StALuT) im Jahr 2012 ein zeitlich befristeter Toleranzwert für beide Verbindungen von je 0,5 mg/kg vorgeschlagen worden. Daraufhin wurden in Bayern am Bayerischen Landesamt für Gesundheit- und Lebensmittelsicherheit (LGL) Sonderuntersuchungen an Lebens- und Futtermitteln tierischer und pflanzlicher Herkunft vorgenommen, um anhand der vorliegenden Gehalte die derzeitige Rückstandssituation auch im Hinblick auf die für die Zukunft festzusetzenden Grenzwerte besser einschätzen zu können.

2. Material und Methode

Im Zeitraum vom 01.07.2012 bis 30.06.2013 wurden am LGL in Bayern 123 Futtermittelproben für Lebensmittel liefernde Tiere auf Rückstände von BAC und DDAC-C10 hin analysiert. Für die Auswertung wurden die untersuchten Proben unterteilt in die drei Klassen: pflanzliche, trocken-tierische (TS > 75 %) und feucht-tierische (TS < 75 %) Futtermittel. Die festgestellten Gehalte in den untersuchten Futtermitteln wurden den Gehalten in 44 Lebensmittelproben gegenübergestellt, die im 1. Halbjahr 2013 am LGL eingingen und den Lebensmittelkategorien Milch, Milcheis handwerklicher Herstellung und aufgeschlagene Sahne aus der Gastronomie angehörten. Die ermittelten Gehalte sind in den Tabellen 2 und 3 unter dem Punkt „3. Ergebnisse“ zusammengefasst.

Das Untersuchungsspektrum beinhaltet jeweils folgende QAV: DDAC-C10, C8-/C10-/C12-/C14-/C16-/C18-BAC. Pflanzliche Lebens- und Futtermittel wurden nach der vom CVUA-Stuttgart veröffentlichten QuEChERS-Methode aufgearbeitet (Hepperle, 2013), tierische durch Extraktion mit MeOH/H₂O nach Knapp et al. (2011). Die Detektion erfolgte jeweils mittels LC-MS/MS. Die den Daten zugrunde liegenden Nachweis- und Bestimmungsgrenzen des LGL für die verschiedenen Verfahren sind in Tabelle 1 nachfolgend wiedergegeben.

Tab. 1: Analytische Kenndaten der LC-MS/MS-Verfahren

Alle Werte in mg/kg (ppm)	DDAC-C10 LOD*/LOQ**	BAC LOD*/LOQ**
Futtermittel pflanzlichen Ursprungs	0,005/0,01	0,005/0,01
Futtermittel tierischen Ursprungs, trocken	0,01/0,02	0,0025/0,01
Lebens-/Futtermittel tierischen Ursprungs, feucht	0,05/0,15	0,01/0,03

*LOD: Nachweisgrenze (NG), **LOQ: Bestimmungsgrenze (BG)

3. Ergebnisse

Tab. 2: Untersuchungsergebnisse DDAC-C10

Anzahl Proben	Gehalt ≤ LOQ	Gehalt > LOQ bis 0,5 ppm	Gehalt > 0,5 ppm
FM pflanzlichen Ursprungs	56	4	1
FM tierischen Ursprungs, trocken	21	22	1
FM tierischen Ursprungs, feucht	18	0	0
LM, Konsummilch	21	0	0
LM, Eis/Sahne handwerkliche Herstellung	19	2	2

Tab. 3: Untersuchungsergebnisse BAC (Summe)

Anzahl Proben	Gehalt ≤ 0,01 ppm	Gehalt > 0,01 bis 0,5 ppm	Gehalt > 0,5 ppm
FM pflanzlichen Ursprungs	59	1	1
FM tierischen Ursprungs, trocken	27	16	1
FM tierischen Ursprungs, feucht	16	2	0
LM, Konsummilch	19	2	0
LM, Eis/Sahne handwerkliche Herstellung	19	4	0

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Pflanzliche Futtermittel waren nur in Einzelfällen kontaminiert (vgl. Tab. 2 und 3). Rückstände von QAV konnten vor allem bei Futtermitteln tierischen Ursprungs mit niedrigem Wassergehalt festgestellt werden. Es handelte sich dabei überwiegend um Milchtrockenprodukte, bei denen ein Aufkonzentrierungseffekt durch die Herstellung für die erhöhten Gehalte gegenüber den Ausgangsprodukten wie z. B. Milch verantwortlich sein dürfte. Keine grundsätzlichen Unterschiede in der Belastungssituation stellte das LGL dagegen fest zwischen Milch, die als Futtermittel z. B. in Form eines Milchaustauschers verwendet wurde und Milch, die als Lebensmittel im Handel war. Siehe dazu die entsprechenden Werte in Tabellen 2 und 3.

Hohe QAV-Gehalte in Lebensmitteln wurden nicht in den Ausgangs- (siehe Milch, Tab. 2 und 3), sondern in den weiterverarbeiteten Produkten (z. B. Milcheis, Sahne; Tab. 2 und 3) gefunden. Dies lässt auf einen Eintrag oder / und eine Aufkonzentrierung durch die Verarbeitung schließen. In Milcheis und Sahne überwiegen dabei Rückstände von DDAC-C10. Bei Futtermitteln ergibt sich ein uneinheitliches Bild mit etwas häufigeren Kontaminationen durch Benzalkoniumchloride, aber auch durch DDAC-C10 und durch beide Wirkstoffe gleichzeitig.

Bezüglich der Grenzwertproblematik lässt sich festhalten, dass in Futtermitteln und Lebensmitteln nur vereinzelt höhere Gehalte festgestellt wurden, so dass aus unserer Sicht die Einhaltung des StALuT-Toleranzwertes für DDAC-C10 bzw. die Summe der BAC von je 0,5 mg/kg technisch möglich sein sollte. Bei Anwendung des allgemeinen Grenzwertes von 0,01 mg/kg (VO 396/2005) wären dagegen bei Futtermitteln aus Milchtrockenprodukten Überschreitungen häufig die Folge. Auf Grund der additiven Wirkung der beiden Wirkstoffe, die in Futtermitteln häufiger gleichzeitig festgestellt wurden als in Lebensmitteln, erscheint unter der Berücksichtigung der Gesamtfutterration und der ADI- und ARfD-Werte (Bundesinstitut für Risikobewertung, 2012) ein Summengrenzwert für DDAC-C10 und BAC in Futtermitteln als sinnvoll.

5. Literaturangaben

- Bundesinstitut für Risikobewertung, 2012a: Gesundheitliche Bewertung der Rückstände von Didecyldimethylammoniumchlorid (DDAC) in Lebensmitteln. Stellungnahme Nr. 027/2012. Online verfügbar unter <http://www.bfr.bund.de/cm/343/gesundheitsliche-bewertung-der-rueckstaende-von-didecyldimethylammoniumchlorid-ddac-in-lebensmitteln.pdf>.
- Bundesinstitut für Risikobewertung, 2012b: Gesundheitliche Bewertung der Rückstände von Benzalkoniumchlorid in Lebensmitteln. Stellungnahme Nr. 032/2012. Online verfügbar unter: <http://www.bfr.bund.de/cm/343/gesundheitsliche-bewertung-der-rueckstaende-von-benzalkoniumchlorid-in-lebensmitteln.pdf>.
- Hepperle, J., Schüle, E., Kolberg, D., Scherbaum, E., 2013: Determination of quaternary ammonium compound residues in fruits and vegetables by QuEChERS following LC-MS/MS analysis. Free eJournal 01, CVUA Stuttgart, Online verfügbar unter: http://dl.dropboxusercontent.com/u/8384843/eBooks/cvuas_ejournal_201301.pdf.
- Knapp, H., Fecher, P., Werkmeister, K., 2011: Desinfektionsmittelrückstände in Lebensmitteln. Lebensmittelchemie 65, 8-9.
- Wildbrett, G. (Hrsg.), 1996: Reinigung und Desinfektion in der Lebensmittelindustrie. Behr's Verlag, Hamburg.

Einsatz hoher Anteile von Pressschnitzelsilage in der Milchkuhfütterung

C. Potthast¹, T. Jilg²

¹Südzucker AG Mannheim Ochsenfurt, Ochsenfurt, ²Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW), Aulendorf

1. Einleitung und Problemstellung

Pressschnitzel sind ein Einzelfuttermittel aus der Zuckerrübenverarbeitung und bestehen aus gereinigten, geschnitzelten und weitgehend entzuckerten Zuckerrüben. Sie werden überwiegend als Pressschnitzelsilage in der Wiederkäuerfütterung eingesetzt. Pressschnitzel – und auch Trockenschnitzel, das vergleichbare getrocknete Produkt – enthalten mit etwa 7,5 MJ NEL je kg Trockenmasse (TM) viel Energie. Auch der Anteil an neutraler Detergenzienfaser (NDF) ist mit 405 g/kg TM hoch (Potthast et al., 2011). Die Zusammensetzung von frischen und silierten Pressschnitzeln ist vergleichbar, lediglich der in frischen Pressschnitzeln enthaltene Zucker wird bei der Silierung nahezu vollständig zu Milchsäure umgesetzt.

Press- und Trockenschnitzel sind weiterhin durch mit 19,5 bis 26,2 % in der TM hohe Pektinegehalte gekennzeichnet (Phatak et al., 1988; Volek et al., 2004). Pektine werden im Pansen im Vergleich zu anderen leicht fermentierbaren Kohlenhydratquellen langsamer und gleichmäßig abgebaut (Kamphues und Dayen, 1983), was zu einer Stabilisierung des pH-Wertes im Pansen beitragen kann.

Mit diesen Eigenschaften sind Pressschnitzel ein für Hochleistungsmilchkühe geeignetes Futtermittel, mit dem auch bei hoher täglicher Milchleistung eine wiederkäuergerechtere Fütterung zu gewährleisten ist.

Für Milchkühe gelten Einsatzempfehlungen für Pressschnitzel in einer Größenordnung von etwa 0,75 kg TM/100 kg Körpermasse bzw. einem Rationsanteil bis 20 % in der TM. Diese Einsatzempfehlungen wurden durch Versuche an Hochleistungskühen bestätigt (Engelhard und Kluth, 2008). Während Engelhard und Kluth (2008) Pressschnitzelsilage mit einer TM von 23,1 % einsetzten, werden in den letzten Jahren vermehrt Pressschnitzel mit TM-Gehalte von 28 % und

darüber verkauft. Damit nähert sich der TM-Gehalt immer mehr dem von Maissilagen an, was den Austausch in der Ration erleichtert. So gehen Praxisbetriebe teilweise dazu über, die gesamte Maissilage durch Pressschnitzel zu ersetzen. Entsprechend sollte im vorliegenden Versuch geprüft werden, welche Effekte der vollständige Austausch von Maissilage gegen Pressschnitzelsilage in Rationen für hochleistende Milchkühe auf die Futtermittelaufnahme und Milchleistungsparameter hat.

2. Tiere, Material und Methoden

Am 30. November 2011 wurden am LAZBW Aulendorf ca. 25 Tonnen Pressschnitzel in einen Siloschlauch einsiliert. Die Befüllung des Schlauches erfolgte über ein Schneckensystem direkt vom LKW. Über das Schneckensystem wurden 3,3 Liter KOFA NP (ADDCON) je Tonne als Konservierungsmittel zur Verbesserung der aeroben Stabilität zu dosiert.

Im Fütterungsversuch im Zeitraum April bis Juni 2012 wurden 30 Fleckviehkühe nach Leistung, Laktationsnummer und Laktationstag der Kontrollgruppe (MAIS) bzw. der Versuchsgruppe (PSS) zugeteilt. Die durchschnittliche Laktationsnummer der Tiere betrug 3,3 Laktationen. Die Milchleistung wurde täglich im Melkstand ermittelt; die Milchinhaltsstoffe wurden wöchentlich ermittelt. Die Futtermittelaufnahme der Versuchsgruppen wurde täglich mit RIC-Wiegetrögen der Fa. INSENTEC erfasst.

Der Versuch fand gemäß dem in Tabelle 1 dargestellten Schema im „cross-over“-Design statt, mit jeweils 7 Tagen Adaptations- und 21 Tagen Messphase.

Tab. 1: Schema Versuchsablauf

Ration	Gruppe	Anzahl n	Phase	Zeitraum
MAIS	A	16	1	30.4.-21.5.11
PSS	B	14	1	
MAIS	B	14	2	27.5.-17.6.2011
PSS	A	16	2	

Tabelle 2 stellt die Rationszusammensetzung der beiden im Versuch verfütterten Rationen dar.

Tab. 2: Rationszusammensetzung in kg Frischmasse (FM) je Tier und Tag und in % der TM

Gruppe	MAIS		PSS	
	% in TM	kg FM/d	% in TM	kg FM/d
Futtermittel				
Grassilage	27,9	18	27,9	18
Maissilage	29,8	17	-	
Pressschnitzelsilage	-		30,0	20
Biertreber, siliert	4,5	4,0	4,5	4,0
Stroh	3,4	0,8	3,4	0,8
Getreidemix*	18,4	4,5	18,4	4,5
Rapsextr.schrot	14,8	3,5	14,7	3,5
Mineralfutter	0,9	0,2	0,9	0,2
CaCO ₃	0,3	0,1	0,3	0,1
Summe ³	100	47,6	100	51,1

*35% Wintergerste, 35% Körnermais, 30% Winterweizen

Alle Futtermittel wurden nasschemisch (VDLUFA, 1976a-h) untersucht. Die Berechnung der Energiegehalte erfolgte aus den verdaulichen Rohnährstoffen (DLG, 1997), bei Mais- und Grassilagen nach Schätzformeln der GfE (2008). Die Nährstoff- und Energiegehalte der Gesamtrationen wurden aus den Rationskomponenten und deren Anteilen errechnet.

Die statistische Verrechnung erfolgte mit der Prozedur Mixed des SAS Statistikpakets, Version 9.2. Damit wurden die Effekte der Futterrationen, der Versuchsphasen auf die Leistungsparameter sowie die Wechselwirkungen zwischen Versuchsrationen und Versuchsphasen geschätzt.

3. Ergebnisse

Die TM-Gehalte von Mais- und Pressschnitzelsilage betragen 38,3 % bzw. 32,8 %, die Energiegehalte 7,3 bzw. 7,4 MJ NEL/kg TM. Rechnerisch ergab sich damit für die Pressschnitzeltiere eine tägliche TM-Aufnahme von 6,6 kg Pressschnitzeln.

Tab. 3: Ausgewählte Parameter der Versuchsrationen je kg TM

Gruppe	MAIS	PSS
NEL, MJ	7,3	7,2
nXP, g	166	165
NDF om, g	349	413
Stärke + Zucker	241	157

Die berechneten Energie- und nXP-Gehalte der Versuchsrationen waren vergleichbar, die Pressschnitzelration enthielt jedoch einen deutlich höheren Anteil an NDF und geringere Gehalte an Stärke + Zucker.

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse zur TM-Aufnahme und zu den Milchleistungsparametern zusammengestellt.

Tab. 4: TM-Aufnahme und Milchleistung

Gruppe		MAIS	PSS
TM-Aufnahme	kg/Tag	25,0 ^a	23,6 ^b
Milchmenge	kg/Tag	35,7	35,1
Milchfett	%	3,82	3,81
Milcheiweiß	%	3,44	3,45
ECM	kg/Tag	35,0	34,3
Fettmenge	g/Tag	1353	1325
Eiweißmenge	g/Tag	1223	1204

ECM = energiekorrigierte Milchmenge; ^{ab} signifikante Unterschiede $p < 0,001$

Mit Ausnahme der TM-Aufnahme, die bei den Pressschnitzelkühen signifikant geringer war, unterschieden sich die Leistungsdaten nicht. Trotz signifikant geringerer Futteraufnahme der Pressschnitzelgruppe traten bei den Leistungsdaten keine Unterschiede zwischen den Gruppen auf. Sowohl der Energieaufwand je kg Milch (ECM) als auch die ECM-Leistung je kg TM-Aufnahme (Tab. 5) sind in der Pressschnitzelsilagegruppe gegenüber den mit Maissilage gefütterten Kühen verbessert.

Tab.5: Energie- und Futteraufwand

Gruppe	MAIS	PSS
MJ NEL je kg Milch (ECM)	5,2	4,9
kg Milch (ECM) je kg TM	1,40	1,45

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse decken sich mit denen von Engelhard und Kluth (2008) sowie Koch et al. (2013), die beim teilweisen bzw. dem vollständigen Austausch von Maissilage und Kraffutter durch Pressschnitzel einen signifikanten Rückgang der Trockenmasseaufnahme ohne deutliche Einflüsse auf die Leistung fanden. Sowohl im hier dargestellten Versuch als auch bei Koch et al. (2013) waren die NDF-Gehalte der Pressschnitzelration (41,3 bzw. 38,8 % in TM) deutlich höher als in der jeweiligen Maisration (34,9 bzw. 33,8 % in TM) und damit auch im oberen Bereich der Beratungsempfehlungen, die für einen mittleren Leistungsbe- reich bis 35 kg täglicher Milchleistung max. 38 % in der TM empfehlen (DLG, 2001). Da hohe NDF-Anteile die Futteraufnahme senken (Arleovich et al. 2008), ist somit der Rückgang bei den mit Pressschnitzeln gefütterten Tieren erklärbar.

Nach Voelkener und Allen (2003) fermentiert die NDF in Trockenschnitzeln im Pansen umfangreicher und schneller als die aus Maissilage. Das bestätigen auch Boguhn et al. (2010), die eine stärkere in vitro-Fermentation der NDF im RUSITEC für Pressschnitzel-TMR gegenüber Mais-TMR nachweisen konnten. Die Stärke und Zuckergehalte im vorliegenden Versuch und auch bei Koch et al. (2013) waren bei der Pressschnitzelgruppe deutlich geringer als die der Mais- gruppe. Dass dennoch in beiden Gruppen jeweils vergleichbare Leistungen erzielt werden konnten, kann darauf hinweisen, dass eine geringe Versorgung mit leicht fermentierbaren Kohlenhydraten durch die schnellere und intensivere Fermentierung der NDF teilweise kompensiert werden konnte.

Bei Engelhard und Kluth (2008) waren Harn-pH-Wert und Netto-Säure-Basen- Ausscheidung der Pressschnitzelkühe gegenüber den Maissilagetieren signifi- kant erhöht. Sie postulierten eine anscheinend verbesserte Strukturwirkung der Pressschnitzelration im Zusammenhang mit dem dadurch verringerten Azi- doserisiko als ursächlich für den ebenfalls verbesserten Energie- und Futterauf- wand.

Damit lässt sich schlussfolgern, dass Pressschnitzelanteile bis etwa 30 % der Rations-TM bzw. mehr als 6 kg TM/Tag und ein vollständiger Ersatz der Maissilage in der Fütterung von hochleistenden Milchkühen trotz verringerter TM-Aufnahme ohne Einflüsse auf die Leistungsparameter möglich sind. Die Effizienz der Futterenergie für die Milchbildung ist in diesem Versuch bei der Pressschnitzelfütterung verbessert.

5. Literaturangaben

- Arelovich, H.M., Abney, C.S., Vizcarra, J.A., Galyean, M.L., 2008: Effects of dietary neutral detergent fiber in intakes of dry matter and net energy by dairy and beef cattle: analysis of published data. *The Professional Animal Scientist*, 24, 375-383.
- Boguhn, J., Kluth, H., Bulang, M., Engelhard, T., Rodehutschord, M., 2010: Effects of pressed beet pulp silage inclusion in maize-based rations on performance of high-yielding dairy cows and parameters of rumen fermentation. *Animal*, 4, 30-39.
- DLG 1997: DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. 7. Erweiterte und überarbeitete Auflage. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V., Frankfurt/Main.
- DLG 2001: Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V., Frankfurt/Main.
- Engelhard T., Kluth H., 2008: Fütterung von Rationen mit hohen Anteilen an Pressschnitzelsilage. Tagungsband zum Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung 9./10.4.2008, 88-91.
- GfE 2008: Neue Gleichungen zur Schätzung der Umsetzbaren Energie für Wiederkäuer von Gras- und Maisprodukten. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 17, 191-197.
- Kamphues, J., Dayen, M., 1983: Pressschnitzel – Bedeutung und Wert in der Tierernährung. Übers. *Tierernähr.* 11, 155-202.
- Koch, C., Potthast, C., Romberg, F.-J., Steingaß, H., Dusel, G., Südekum, K.-H., 2013: Austausch von Maissilage und Krafftutter durch Pressschnitzelsilage in der Milchviehfütterung. Tagungsband zum Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung 9./10.4.2013, 27-30.
- Phatak, L., Chang, K.C., Brown, G., 1988: Isolation and characterization of pectin in sugar beet pulp. *J. Food Sci.* 53, 830-833.

- Potthast, C., Brinker, S., Maier, K., 2011: Futtermittel aus der Zuckerrübenverarbeitung – neue Daten zu Inhaltsstoffen aus einer bundesweiten Erhebung. *Sugar Industry* 136(10), 663-669.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976a: Methode 3.1, Feuchtigkeit. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976b: Methode 4.1.1 Rohprotein, Kjeldahl-Aufschluss. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976c: Methode 5.1.1 Rohfett. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976d: Methode 6.1.1 Rohfaser, Weender-Verfahren. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976e: Methode 6.5.1 Neutral-Detergenzien-Faser (aNDFom). In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976f: Methode 7.1.1 Zucker, maßanalytisch. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976g: Methode 7.2.1 Stärke, polarimetrische Methode. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976h: Methode 8.1 Rohasche. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Voelkner, J.A, Allen, M.S., 2003: Pelleted beet pulp substituted for highmoisture corn: 2. Effects on digestion and ruminal digestion kinetics in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86, 3553-3561.
- Volek, Z., Skrvanova, V., Marounek, M., 2004: Comparison of diets for growing rabbits containing potato pulp, sugar beet pulp and wheat bran: effect on performance and digestion parameters. *Arch. Geflügelkunde* 68, 259-264.

Untersuchungen zur Milchleistung der Rasse „Rotes Steppenrind“ in der Altai Region, Russland

N. Rudischina

Altaier Staatliche Agraruniversität PF 656049, Barnaul, Russland

1. Einleitung

Die Altai Region befindet sich im Südosten Westsibiriens und gehört zu den Agrarregionen Russlands. Zur Verbesserung der Milchleistung wurde ab 1960 das Rote Steppenrind mit dem Angler Rind gekreuzt, ab 1980 mit dem Roten Dänischen Milchrind und teilweise mit dem Red Holstein Rind. Es entstand der Typ "Kulundinskij" des Roten Steppenrindes. Die gute Anpassungsfähigkeit an das extrem kontinentale Klima der Steppengebiete der Altai Region zeichnet diese Milchrindrasse aus (Rudischina et al., 2007). Der Rindbestand dieser Rasse in der Altai Region beträgt 24 000 Kühe, davon sind 1000 Zuchtkühe. Durchschnittlich gibt eine Kuh in 305 Laktationstagen 4153 kg Milch, mit einem Fettanteil von 4,19 % und einem Eiweißgehalt von 3,09 %. Die niedrigen Werte bei der Milchleistung sind auf die schlechte Fütterung und die veraltete Technologie zur Milchproduktion und bei der Kälberaufzucht auf die Nutzung veralteter Zuchtmethoden zurückzuführen.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, den Einfluss des Genotypen DNK-Marker (Gen-Kappa-Casein) auf die Rasse zu ermitteln und die Auswirkung auf die Milchleistung und den Eiweißgehalt zu prüfen.

2. Material und Methoden

Es wurden die Milchkühe des Roten Steppenrindes (n = 1012) untersucht, die von 2009 bis 2012 auf dem Zuchtbetrieb "Stepnoj" des Deutschen Rajons der Altai Region in einem Versuch standen. Im Labor des sibirischen wissenschaftlichen Instituts der Tierproduktion (Novosibirsk, Krasnoobsk) wurden die DNK Polymorphismen-Marker (Gen-Kappa-Casein) mittels PCR, der Polymerase Kettenreaktion (Polymerase Chain Reaction) durchgeführt und ermittelt.

3. Ergebnisse

In der Tabelle 1 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Milchleistung und des Fett- und Eiweißgehaltes dargestellt.

Die durchschnittliche Milchleistung der Herde beträgt 4674 kg Milch mit einem Fettgehalt von 4,27 % und einem Eiweißgehalt von 3,15 %. Die höchste Milchleistung (5122 kg) und Eiweißgehalt (3,16 %) erreichten die Kühe in der 2. Laktation. Der höchste Fettgehalt (4,31 %) wurde in der Milch aus der 1. Laktation ermittelt.

Tab.1: Mittelwert (\bar{x}) und Standardabweichung(σ) der Milchleistung, Fett- und Eiweißgehaltes in 305 Laktationstagen (n = 1012)

Merkmal	1 Lakt.		2 Lakt.		≥ 3 Lakt.		Pro Herde	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Milchleistung, kg	4454	849	5122	807	4656	974	4674	943
Fettgehalt, %	4,31	0,14	4,28	0,147	4,24	0,12	4,27	0,13
Eiweißgehalt, %	3,15	0,043	3,16	0,042	3,15	0,04	3,15	0,04

Die Unterschiede in der Milchleistung zwischen den Laktationsperioden kann man auf die Herkunft der Bullen zurückführen. Es ist erwiesen, dass die Vererbung durch die Väter-Bullen einen größeren Einfluss auf die Produktivität der Nachkommenschaft ausmacht, als durch die Mütter-Kühe (Rudischina et al., 2007).

Die untersuchten Kühe wiesen einen höheren Eiweißgehalt in der Milch als 2,90 % auf (Tab. 2). Bei den Zuchtkühen wurde der Bullensamen mit hohem genetischem Potenzial der Eiweißleistung, abhängig von ihrer mütterlichen Abstammung, eingesetzt. Dadurch wurde eine Erhöhung der Zahl der Kühe mit einem höheren Eiweißgehalt in der Milch aufgezeichnet.

Von 2009 bis 2012 ist die Anzahl der Kühe in der Herde mit einem Eiweißgehalt von 2,90-2,99 % auf 72 % gesunken. Die Gruppe mit einem Eiweißgehalt von 3,00-3,19 % ist auf 34 % gestiegen. Nach der Bonitierung in 2012 wurden nur

16 % oder 167 Milchkühe mit einem Eiweißgehalt von 3,20-3,29 % ermittelt. Die Gruppe mit einem Eiweißgehalt von 3,30-3,49 % lag bei 19,8 % oder 207 Milchkühen und nur fünf Kühe erreichten einen Eiweißgehalt von 3,5 % und mehr.

Tab.2: Eigenschaft der Milchkühe hinsichtlich des Eiweißgehaltes in 305 Laktationstagen

Eiweißgehalt	2009		2010		2011		2012	
	N	%	N	%	N	%	N	%
2,9-2,99	921	90,5	465	43,6	455	48,8	198	18,9
3,00-3,09	85	8,3	428	40,1	412	44,2	186	17,8
3,10-3,19	11	1,0	161	15,1	63	6,8	267	25,5
3,20-3,29	1	0,2	13	1,2	2	0,2	167	16,0
3,30-3,39							207	19,8
3,40-3,49							17	1,6
≥ 3,50							5	0,4
Kuhanzahl	1018	100	1067	100	932	100	1047	100

Die Untersuchungen zeigen, dass die Milchkühe (n = 99) zu 52 % den Genotyp AB, zu 37 % den Genotyp AA und nur zu 11 % den Genotyp BB aufweisen. Untersuchungen zum Polymorphismus zeigen, dass der Genotyp Kappa-Kasein BB, sich positiv auf den Eiweißgehalt in der Milch auswirkt (Gorjacheva et al., 2010), (Kaljasina, 2012).

4. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die untersuchten Milchkühe des Roten Stepperrindes sowohl eine gute Milchleistung als auch gute Eiweißgehalte erzielten. Der Genotyp Kappa-Kasein BB hat eine besondere Bedeutung. Aus diesem Grund ist es notwendig den Zuchtbullen des Genotyps Kappa-Kasein BB in das Zuchtprogramm aufzunehmen. Zur Verbesserung der Milchleistung und des Eiweißgehaltes wurde seit dem Jahr 2010 ein Zuchtprogramm mit den Roten Schwedischen Milchrindern gestartet.

5. Literaturangaben

- Gorjacheva, T., Goncharenko, G., 2010: Genetische Varianten von Kappa-Kasein und Prolaktin in Bezug auf die Milchproduktion der Kühe der schwarz-weißen Rasse. Landwirtschaftliche Biologie. Serie. Biologie der Tiere 4, 51-54.
- Kaljasina, T., 2012: Die Verwendung von Gentechnik für die Charakterisierung des Allel Pool von Schwarz-Weißen-Rindern. Zusammenfassung der Dissertation der Kandidaten der Biologischen Wissenschaft. 19, Moskau.
- Rudischina, N., Sumanova, U., Stizij, T., 2007: Charakterisierung des Typs "Kulundinskij" des Roten Steppenrindes nach Milchleistung. Vestnik Altaier Staatlicher Agraruniversität 3,(29) 42-44.
- Statistische Sammlung, 2013: Die Ergebnisse der Zuchtarbeit in Zuchtbetrieben und Regionen des Altai in 2012. 96, Barnaul.

β-Carotin- und Vitamin E-Gehalte in Maisprodukten

G. Hagl¹, M. Moosmeyer², H. Spiekers², W. Windisch¹, I. Immig³, F.J. Schwarz¹

¹Lehrstuhl für Tierernährung, Freising-Weihenstephan, ²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Poing-Grub, ³DSM Nutritional Products Ltd, Analytical Research Center, Basel

1. Einleitung

Im Jahr 2012 wurden in Deutschland insgesamt 2 564 200 ha Mais angebaut (DMK, 2013); verglichen mit der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche entspricht dies ca. 15 % (Statistisches Bundesamt, 2012). Blickt man in das Jahr 2001 zurück, wo noch knapp 1 520 000 ha Mais angebaut wurden, entspricht dies einer Steigerung von 70 % (DMK, 2013). Auch wenn die stark erhöhten Anbauflächen wesentlich auf die energetische Nutzung von Mais in Biogasanlagen zurückzuführen sind, hat die Bedeutung von Mais als Futterpflanze in der Tierproduktion ebenfalls weiter zugenommen. Maisganzpflanzensilage, CCM, LKS, Maiskörner, siliert oder getrocknet sind wichtige Bestandteile in nahezu allen Rationen für landwirtschaftliche Nutztiere. Für ihren richtigen Einsatz ist die Kenntnis der Nährstoffgehalte von entscheidender Bedeutung. Für β-Carotin und Vitamin E (α-Tocopherol) sind jedoch kaum neuere Analysenwerte verfügbar. Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Schließung dieser Lücke leisten.

2. Material und Methoden

2.1 Probenherkunft und Probenahme

Das Probenkollektiv wurde von 10 Betrieben aus den Regierungsbezirken Ober- und Niederbayern zur Verfügung gestellt. Insgesamt handelte es sich um 9 Maisganzpflanzensilagen sowie um jeweils eine Probe von Corn-Cob-Mix, Maiskornsilage und getrockneter Maiskörner. Alle Proben mit einer Ausnahme (Maissilage, Erntejahr 2011) stammten aus dem Erntejahr 2012. Die Maissorten waren im Wesentlichen den frühen bis mittleren Reifegruppen (S 220-250) zuzuordnen. Der Erntezeitpunkt lag sehr einheitlich im Bereich von Mitte bis Ende September (Ausnahme: Erntejahr 2011, 31.08.). Alle Silagen wurden in

Fahrsilos bereitet; die getrockneten Maiskörner lagerten im Metallsilo. Die pflanzenbaulichen und weiteren Maßnahmen entsprachen guter landwirtschaftlicher Praxis. Silierzusätze wurden nicht benützt.

Eine erste Probenahme erfolgte in den Monaten November/Dezember 2012 und eine zweite nach etwa 100 Tagen im März 2013. Allerdings verringerte sich die Probenzahl bei den Maissilagen auf insgesamt 6 Proben. Die Probenahme erfolgte an fünf unterschiedlichen Stellen der Anschnittfläche im Fahrsilo nach vorausgegangener Futterentnahme in Mengen von etwa 2-3 kg. Die Proben wurden vor der weiteren Analytik sofort tiefgefroren (-18 °C). Die getrockneten Maiskörner wurden unmittelbar dem Lagerbehälter entnommen.

2.2 Analytik

Alle Silagen wurden gefriergetrocknet und anschließend vermahlen (1 mm bzw. 0,5 mm zur Stärkebestimmung). Bis zur weiteren Analytik wurden die Proben luftdicht verpackt und wiederum bei -18 °C gelagert. Die Trockenmasse(TM) bestimmung des Ausgangsmaterials erfolgte bei allen Silagen nach der Gefrier-trocknung. Von allen Proben wurden die Rohnährstoffe Rohasche (VDLUFA, 1976), Rohprotein (VDLUFA, 1993a), Rohfett (VDLUFA, 1988), Rohfaser (VDLUFA, 1993b) die Stärke (polarimetrisch, VDLUFA, 1976a) und die NDFom-Gehalte (VDLUFA, 1976b) analysiert. β -Carotin und Vitamin E (α -Tocopherol) wurden mit HPLC (Schierle et al., 1995; Höller et al., 2003) gemessen.

3. Ergebnisse und Diskussion

Zur näheren Charakterisierung des Probenmaterials sind in den Tabellen 1 und 2 die mittleren Trockenmasse- und Nährstoffgehalte der verschiedenen Maisprodukte aufgeführt. Dabei sind bei der Maissilage die Ergebnisse der 1. und 2. Beprobung getrennt dargestellt. Insgesamt sind die Maissilagen durch eher hohe TM-Gehalte und sehr hohe Stärkegehalte bei gleichzeitig mittleren bis geringen Gehalten an Gerüstsubstanzen (NDFom) gekennzeichnet. Ein unmittelbarer Vergleich der Maissilagen aus denselben Fahrsilos der 1. und 2. Beprobung (n = 6) zeigt, dass sich die TM- und Nährstoffgehalte nur sehr gering unterscheiden. Die Messwerte von CCM, Maiskornsilage und Maiskörner entsprechen weitgehend praxisüblichen Werten bei insgesamt wiederum hohen Stärkegehalten.

Tab. 1: Mittlere Trockenmasse- und Nährstoffgehalte der Maissilagen

	1. Beprobung (n=9)	2. Beprobung (n=6)
Trockenmasse (%)	37,0±2,8	37,8±2,4
Angaben (% i.d. TM)		
Rohasche	3,2±0,3	3,2±0,3
Rohprotein	6,5±0,7	6,7±0,5
Rohfett	3,6±0,8	3,2±0,6
Rohfaser	21,5±1,9	21,5±1,8
NDFom	36,6±1,5	37,8±2,9
Stärke	37,1±3,8	39,8±4,0

Tab. 2: Trockenmasse- und Nährstoffgehalte von CCM, Maiskornsilage und Maiskörner (Mittelwert der 1. und 2. Beprobung, n=2)

	CCM	Maiskornsilage	getr. Maiskörner
Trockenmasse (%)	61,7	66,7	91,2
Angaben (% i.d. TM)			
Rohasche	1,4	1,7	1,4
Rohprotein	8,7	9,3	8,6
Rohfett	4,4	5,7	4,6
Rohfaser	3,6	4,2	3,4
NDFom	8,5	9,5	11,0
Stärke	75,3	70,5	76,8

Tabelle 3 enthält die Ergebnisse der β -Carotin- und Vitamin E-Gehalte der verschiedenen Maisprodukte. Die mittleren β -Carotingehalte der Maissilagen sind mit etwa 8 mg pro kg TM außerordentlich niedrig. Dabei weicht nur eine Probe (Erntejahr 2011) sowohl bei der 1. als auch bei der 2. Beprobung sehr positiv mit Werten von etwa 25 mg pro kg TM von den weiteren Proben ab, die alle < 10 mg β -Carotin pro kg TM aufweisen. Für CCM, Maiskornsilage und getrocknete Maiskörner wird ein β -Carotingehalt von nur etwa 1 mg (0,7-1,7 mg) pro kg TM analysiert. Ein Vergleich der Messwerte zur 1. und 2. Beprobung zeigt, dass durch die weitere Lagerungszeit von etwa 3-4 Monaten nochmals Verluste von etwa 10-15% auftreten.

Die Versuchsergebnisse zeigen zunächst, dass zwischen Maisganzpflanzensilagen und Kolben- bzw. Kornprodukten deutliche Unterschiede in den β -Carotingehalten auftreten. Damit haben vor allem der Anteil und die Abreife der Maisrestpflanze große Bedeutung für den β -Carotingehalt der Maissilage. Die wenigen Angaben zu β -Carotingehalten in Futterwerttabellen weisen im Allgemeinen einen Wert von etwa 20 mg pro kg Maissilage-TM auf (Jeroch et al., 1993; Albers et al., 2001; LfL, 2012). Ältere experimentelle Untersuchungen (Schwarz, 1997) ergaben jedoch auch sehr niedrige Messwerte von etwa 3-4 mg pro kg Maissilage-TM. Entsprechend der vorliegenden Ergebnisse dürfte daher bei energiereichen Maissilagen der β -Carotingehalt eher in einem Bereich von etwa 8-10 mg pro kg TM einzuordnen sein.

Tab. 3: Mittlere β -Carotin- und Vitamin E-Gehalte der verschiedenen Maisprodukte

	β -Carotin (mg/kg TM)	Vitamin E (mg/kg TM)
Maissilage		
1. Beprobung	8,0 \pm 6,5 (2,7-25,5)	12,1 \pm 6,1 (8,4-29,0)
2. Beprobung	7,2 \pm 7,6 (1,5-23,5)	11,4 \pm 7,0 (7,6-27,0)
CCM		
1. Beprobung	0,8	2,5
2. Beprobung	0,7	2,1
Maiskornsilage		
1. Beprobung	0,9	2,7
2. Beprobung	0,8	2,2
Maiskörner, getr.		
1. Beprobung	1,7	10,7
2. Beprobung	1,4	10,2

Die mittleren Vitamin E-Gehalte der Maissilagen liegen bei etwa 12 mg pro kg TM. Ähnlich wie bei β -Carotin fällt eine Probe (Erntejahr 2011) mit hohen Messwerten von etwa 28 mg pro kg TM auf, während alle weiteren Proben nur gering

von etwa 8-12 mg pro kg TM schwanken. Die getrockneten Maiskörner weisen einen vergleichbaren Vitamin E-Gehalt zu den Maissilagen auf. Demgegenüber haben aber die silierten Körnerprodukte CCM und Maiskornsilage außerordentlich niedrige Vitamin E-Gehalte von nur 2-3 mg pro kg TM. In allen Silagen verringert sich der Vitamin E-Gehalt über die Beprobungszeit um etwa 12-15%.

Insgesamt weichen die vorliegenden Messwerte der Vitamin E-Gehalte in den Maissilagen und im Maiskorn gegenüber den Angaben in verschiedenen Tabellen (Albers et al., 2001; LfL, 2012) mit Werten von etwa 10-15 mg pro kg TM eher gering ab. Schwarz (1997) analysierte in Maissilagen einen mittleren Wert von 19 mg pro kg TM. Damit wird der Schwankungsbereich für Vitamin E-Gehalte in Maissilage und Maiskörnern aufgezeigt, wie er auch in einer neueren Darstellung zum Futterwert von Maisprodukten angegeben ist (Schwarz, 2013).

4. Zusammenfassung

Insgesamt 9 Maissilagen sowie je eine CCM-, Maiskornsilage- und Maiskornprobe wurden an 2 unterschiedlichen Terminen hinsichtlich ihrer Nährstoff- sowie β -Carotin- und Vitamin E-Gehalte überprüft. Die mittleren β -Carotiningehalte der Maissilagen lagen bei 7-8 mg pro kg TM, die von CCM, Maiskornsilage und getrockneter Maiskörner bei etwa 1 mg pro kg TM. Die Vitamin E-Gehalte betragen im Mittel 11-12 mg pro kg TM in den Maissilagen, etwa 10 mg pro kg TM in den Maiskörnern und nur 2-3 mg in den CCM- und Maiskornsilagen.

5. Literaturangaben

- Albers, N., Heimbeck, W., Keller, T., 2001: Vitamine in der Tierernährung. Agri-media GmbH, Bergen.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.), 2012: Gruber Tabellen zur Fütterung von Milchkühen. 35. Aufl. Freising-Weihenstephan.
- Deutsches Maiskomitee (DMK) (Hrsg.), 2013: Geschäftsbericht. Bonn.
- Höller, U., Wolter, D., Spitzer, V., 2003: Microwave-assisted rapid determination of vitamins A and E in beverages. J. Agric. Food Chem. 51, 1539-1542.
- Jeroch, H., Flachowsky, G., Weißbach, F., 1993: Futtermittelkunde. Gustav Fischer Verlag, Jena.

- Schierle, J., 1995: Example 8: Geometrical isomers of β , β -carotene – A rapid routine method for quantitative determination. In: Carotenoids, 1A: Isolation and analysis. Birkhäuser Verlag, 265-272.
- Schwarz, F.J., 1997: Mineralstoff- und Vitamingehalte von Maissilagen. 11. Maiskolloquium, Halle.
- Schwarz, F.J., 2013: Futterwert von Maisprodukten. In: Handbuch Mais – Grundlagen, Anbau, Verwertung, Ökonomie. Lütke-Entrup, N., Schwarz, F.J., Heilmann, H., (Hrsg.), DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 279-301.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976a: Methode 6.5.1, Neutral-Detergentien-Faser (aNDFom). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976b: Methode 7.2.1, Stärke, polarimetrische Methode. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976: Methode 8.1, Bestimmung von Rohasche. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1988: Methode 5.1.1, Bestimmung von Rohfett. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3. Aufl., 2. Erg. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1993a: Methode 4.1.1, Bestimmung von Rohprotein. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3. Aufl., 3. Erg. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1993b: Methode 6.1.1, Bestimmung der Rohfaser. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3. Aufl., 3. Erg. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Untersuchung zum Einfluss von Raps-, Lein- und Hanfkuchen auf Legeleistungsmerkmale der Henne, Eizusammensetzung und Fettsäuremuster im Eidotter

I. Halle¹, F. Schöne²

¹Institut für Tierernährung (FLI), Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit, Braunschweig, ²Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena

1. Einleitung

Ölsaatenmehle, -extrakte und -kuchen sind wichtige Protein- und Energiequellen in der Tierfütterung. Rapsöl wird als Lebensmittel und Futtermittel verwendet, hat aber die größte Bedeutung als Ausgangsstoff für die Biodieselproduktion. Deshalb steigt die Menge an Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen, die als Futtermittel zur Verfügung stehen. Aufgrund der antinutritiv wirkenden Inhaltsstoffe (Glucosinolate; Sinapin) und der Unfähigkeit einiger Hennenlinien, die braunschalige Eier legen, zur Metabolisierung von Trimethylamin, kann es zu Geschmacksveränderungen bei den Eiern („fishy taint“ Eier) kommen (Butler und Fenwick, 1984). Deshalb liegt die Empfehlung der Höchstmenge von Rapsextraktionsschrot bei 10 % und Rapskuchen bei 5 % im Futter für Hennen, die weißschalige Eier legen (Jeroch und Dänicke, 2012). Der Anbau von Lein- und Hanfsaat ist in Deutschland von geringerer Bedeutung. Lein- und Leinöl werden in Deutschland als Lebensmittel verwendet. In der Legehennenfütterung wird als Höchstmenge im Futter ein Anteil von nur 3 % Leinextraktionsschrot bzw. Leinkuchen empfohlen (Jeroch und Dänicke, 2012). Zurückzuführen ist das auf den antinutritiv wirkende Inhaltsstoff Linamarin, ein cyanogenes Glycosid, aus dem bei der enzymatischen Spaltung der giftige Cyanwasserstoff HCN (Blausäure) entsteht (Richter et al., 1998). In den Ländern der EU ist nur der Anbau von Hanfsaatsorten erlaubt, deren Gehalt an Tetrahydrocannabinol (THC) unter 0,2 % liegt (EC, No. 2860/2000). Das Ziel der jetzigen Untersuchung bestand darin die Saat von Raps, Lein und Hanf, gewachsen in derselben Region (Thüringen) und verarbeitet auf derselben Presse, an Legehennen im Langzeitversuch zu prüfen.

2. Material und Methoden

In der Untersuchung wurden 216 Hennen (LB) in 9 Gruppen a 24 Hennen aufgeteilt. Die 9 Versuchsgruppen ergaben sich aus der Staffelung (50/100/150 g/kg Futter) der drei Fettkuchen. Die Haltung der Hennen erfolgte einzeln in Käfigen. Der Versuch begann, als die Hennen 22 Wochen alt waren und wurde über 13 Legemonate (364 Tage) durchgeführt. Die gelegten Eier wurden täglich pro Henne ermittelt, der Futterverzehr wurde pro Legemonat und Henne erfasst und über zweimal 4 Tage pro Legemonat wurde das Eigewicht ermittelt. Im 6. Legemonat wurden die Eizusammensetzung und das Fettsäuremuster im Eidotter ermittelt.

Die Futtermischung (Weizen/Mais/Soja) enthielt 160 g Rohprotein, 11,4 MJ ME und 9 g Lysin pro kg. Die Nährstoffgehalte der Fettkuchen sind in Tabelle 1 zu sehen.

Tab. 1: Zusammensetzung der Fettkuchen

Nährstoffe, g/kg	Rapskuchen	Leinkuchen	Hanfkuchen
Trockensubstanz	895	897	912
Rohprotein	295	322	281
Rohfett	158	130	110
NDF	209	194	447
ADF	163	130	304
Lignin	69	50	117
ME, MJ/kg	12,08	10,78	9,21
Fettsäuremuster, % von FAME			
Ölsäure	59,6	22,1	11,4
Linolsäure	23,5	17,1	55,8
Linolensäure	10,6	51,5	24,7

Unter Verwendung des Programmpaketes SAS (Version 9.2., 2002/2008) wurde für die Varianzanalyse (zweifach) der Merkmale die Prozedur ANOVA benutzt und die Mittelwertvergleiche mit dem Student-Newman-Keuls-Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P < 0,05$ durchgeführt.

3. Ergebnisse

Die Futteraufnahme der Hennen wurde sowohl von dem Fettkuchen als auch dem Anteil an Fettkuchen beeinflusst (Tab. 2). Der mittlere, tägliche Futterverzehr aller Rapskuchenhennen war mit 106 g gesichert niedriger, im Vergleich zu den Gruppen mit Hanfkuchen (108 g) und Leinkuchen (110 g). Die Legeintensität der Hennen während der 13 Legemonate war mit 91-94 % hoch. Die niedrigste Legeleistung von 91 % wurde für die Gruppe mit 15% Leinkuchen ermittelt und damit auch für diese Gruppe der höchste Futteraufwand (1,98 kg/kg). Die Futterverwertung im Mittel der drei Gruppen lag für Rapskuchen bei 1,88 kg/kg, für Leinkuchen bei 1,94 kg/kg und für Hanfkuchen bei 1,88 kg/kg. Das Eigewicht wurde statistisch gesichert von dem Fettkuchen und dem kombinierten Effekt Fettkuchen x Anteil an Kuchen beeinflusst. Die Fütterung von Rapskuchen reduzierte gesichert das Eigewicht (60,5 g/Ei) im Vergleich zur Fütterung von Leinkuchen (61,7 g/Ei) oder Hanfkuchen (61,6 g/Ei).

Tab. 2: Leistungsmerkmale der Hennen (Means, ANOVA, P-Wert)

Gruppen Kuchen, %	Futter, g/d/Henne	Legeleistung, %	Ei, g/Ei	Futterverwertung, kg/kg
Raps-5	107	93	61	1,88
10	106	94	60	1,90
15	105	93	60	1,86
Lein-5	109	92	61	1,92
10	110	92	62	1,91
15	110	91	61	1,98
Hanf-5	108	94	61	1,90
10	110	94	62	1,89
15	107	92	62	1,85
Fettkuchen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Anteil-Kuchen	0,01	0,07	0,3	0,8
Kuchen x Anteil	0,05	0,4	<0,01	<0,01

Mit steigendem Anteil (5 zu 15 %) an allen drei Fettkuchen im Futter verringerte sich der Anteil an Eidotter im Ei (Tab. 3).

Die Analyse des Fettsäuremusters im Eidotter (Tab. 3) ergab bei einem ansteigenden Anteil an allen drei Fettkuchen im Futter eine Reduzierung des prozentualen Gehaltes an den gesättigten Fettsäuren und im Falle von Hanfkuchen auch der einfach ungesättigten Ölsäure (C18:1 n-9). Die höchsten prozentualen Gehalte an Linolsäure (C18:2 n-6) wurden im Dotterfett der Hennen mit 15 % Hanfkuchen und an Linolensäure (C18:3 n-3) mit 15 % Leinkuchen im Futter ermittelt.

Die Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass ein Anteil bis 10 % Raps-, Lein- oder Hanfkuchen im Futter, die Leistungen von Legehennen nicht negativ beeinflusst und die Fettkuchen eine Möglichkeit bieten, das Eidotter mit mehrfach ungesättigten Fettsäuren anzureichern.

Tab. 3: Eizusammensetzung, Fettsäuremuster im Eidotter (Means, ANOVA, P-Wert)

Gruppe Kuchen, %	Eidotter, %	Eiklar, %	Linolsäure %	Linolen- säure, %
Raps-5	28	60	18	1,1
10	27	60	21	1,6
15	26	61	22	2,0
Lein-5	28	60	20	2,4
10	27	62	23	4,4
15	26	61	22	5,1
Hanf-5	29	60	19	1,6
10	28	60	23	2,6
15	27	61	25	3,0
Fettkuchen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Anteil-Kuchen	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Kuch x Anteil	0,2	0,2	<0,01	<0,01

4. Zusammenfassung

Das Ziel der Untersuchung bestand darin den Einfluss von Raps-, Lein- und Hanfkuchen auf Legeleistungsmerkmale der Henne, Eizusammensetzung und Fettsäuremuster im Eidotter zu ermitteln. Dazu wurden im Versuch über 13 Legemonate 216 Legehennen in 9 Gruppen eingeteilt (5, 10, 15 % Raps-, Lein,

Hanf Kuchen). Im sechsten Legemonat wurden die Zusammensetzung der Eier und das Fettsäuremuster im Eidotter ermittelt.

Der tägliche Futtermittelverzehr der Hennen der Rapskuchengruppen war mit 106 g gesichert niedriger, im Vergleich zu den Gruppen mit Hanfkuchen (108 g) und den Gruppen mit Leinkuchen (110 g). Die Fütterung von Rapskuchen reduzierte gesichert das Eigewicht (60,5 g/Ei) im Vergleich zur Fütterung von Leinkuchen (61,7 g/Ei) oder Hanfkuchen (61,6 g/Ei). Die mittlere Legeintensität der Hennen lag in den 13 Monaten zwischen 91-93 %. Die dabei niedrigere Legeleistung der Gruppen mit Leinkuchen (91 %) führte zu einem gesichert schlechteren Futteraufwand (1,94 kg/kg) im Vergleich zu den anderen Gruppen (1,88 kg/kg).

Die Analyse des Fettsäuremusters im Eidotter ergab bei einem ansteigenden Anteil an allen drei Fettkuchen im Futter eine Reduzierung des prozentualen Gehaltes an den gesättigten Fettsäuren und bei Hanfkuchen auch der einfach ungesättigten Ölsäure. Die höchsten prozentualen Gehalte an Linolsäure wurden im Dotterfett der Hennen mit 15% Hanfkuchen und an Linolensäure mit 15% Leinkuchen im Futter ermittelt.

5. Literaturangaben

- Butler, E.J., Fenwick, G.R., 1984: Trimethylamine and fishy taint in eggs. *World's Poultry Sci. J.* 40, 38-51.
- European Commission, 2000: Commission Regulation (EC) No 2860/2000 of 27 December 2000 amending Regulation (EC) No 2316/1999 laying down detailed rules for the application of Council Regulation (EC) No 1251/1999 establishing a support system for producers of certain arable crops, to include flax and hemp grown for fibre, specifying the rules on set-aside areas and amending the base areas for Greece and Portugal. *O. J. Europ. Communities L.* 332: 43, 28 December 2000, 13pp.
- Jeroch, H., Dänicke, S., 2012: Faustzahlen zur Geflügelfütterung. *Geflügeljahrbuch 2012*, Ulmer Verlag.
- Richter, G., Lüdke, H., Ochrimenko, W., Leiterer, M., Huller, M., Schenkel, H., 1998: Investigations about the use of linseed cake in laying hens. *Arch. Geflügelk.* 62, 264-272.
- SAS Institute Inc., 2002-2008, Cary, NC, USA, SAS 9.2.

Untersuchung zum Einfluss von Rapsextraktionschrot auf das Wachstum von Broilern

I. Halle

Institut für Tierernährung (FLI), Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit, Braunschweig

1. Einleitung

Rapsextraktionsschrot (RES) und Rapskuchen sind wichtige Protein- und Energiequellen in der Tierfütterung und können zu einem teilweisen Ersatz des exportierten Sojaschrotes auch in der Geflügelfütterung führen. Momentan wird für RES als Richtwert eine Höchstmenge von 15 % im Alleinfutter für wachsendes Hühnergeflügel angegeben. Um diese Empfehlungen zu überprüfen, entsprechend der ständig verbesserten Qualität der jetzigen RES (niedrige Glucosinolatgehalte), wurde eine Untersuchung an wachsenden Broilern und einem gestaffelten Einsatz von Rapsextraktionsschrot im Futter durchgeführt.

2. Material und Methoden

In dem Broilermastversuch wurden 768 männliche Broilerküken der Herkunft Ross 308 in 8 Gruppen mit jeweils 8 Abteilen a 12 Tieren aufgeteilt. Die Versuchsdauer betrug 35 Tage. Die 8 Versuchsgruppen ergaben sich aus der Staffelung des Gehaltes an RES (0/5/10/15 %) sowie einer altersabhängigen Staffelung (1./14. Tag) des RES (0/5 %, 0/10 %, 5/10 %, 5/15 %) im Futter. Der Glucosinolatgehalt im RES lag bei 5,41 $\mu\text{mol/g}$. Die Futtermischung (Mais/Weizen/Soja) enthielt 210 g Rohprotein, 12,8 MJ ME, 12,5 g Lysin und 5,2 g Methionin pro kg. Nach dem Versuchsabschluss wurde aus jedem Abteil ein Broiler geschlachtet und die Massen an wertvollen Fleischteilen und Organen ermittelt. Parallel zum Wachstumsversuch wurde ein N-Bilanzversuch an Broilern des gleichen Schlupfes im Alter von 3 Wochen durchgeführt.

Unter Verwendung des Programmpaketes SAS (Version 9.2., 2002/2008) wurde für die Varianzanalyse der Merkmale die Prozedur ANOVA benutzt und die Mittelwertvergleiche mit dem Student-Newman-Keuls-Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P < 0,05$ durchgeführt.

3. Ergebnisse

Die tägliche Futtermittelaufnahme der Broiler war schon in den ersten 2 Lebenswochen abhängig vom Gehalt an RES in der Futtermischung (Tab. 1). Die statistisch gesichert ($P < 0,05$) höchste Futtermittelaufnahme am Beginn und im Mittel der gesamten Wachstumsperiode wiesen die Broiler der Kontrolle und der Gruppe mit 5 % RES im Futter ab dem ersten Lebenstag auf. Die Erhöhung der Konzentration an RES im Futter auf 10 % oder 15 % und Fütterung ab dem ersten Lebenstag verschlechterte gesichert, schrittweise die Futtermittelaufnahme. Resultierend aus der unterschiedlichen Futtermittelaufnahme waren die täglichen Lebendmassezunahmen und die Mastendmassen der Broiler statistisch gesichert unterschiedlich. Der Futtermittelverbrauch war in den beiden Gruppen mit 10 % und 15 % RES im Futter niedriger, im Vergleich zur Kontrolle und der Gruppe mit 5 % RES resultierend aus der geringeren Futtermittelaufnahme.

Bei den Gruppen 5-8 wurde die Konzentration an RES im Futter im Alter von 14 Tagen von 0 % auf 10 %, 5 % auf 10 % bzw. 5 % auf 15 % erhöht. Dabei zeigte sich, dass eine Konzentration von 0 oder 5 % RES im Futter in den ersten 2 Lebenswochen keinen negativen Einfluss auf die tägliche Futtermittelaufnahme hatte, vergleichbar mit den Ergebnissen der Kontrolle 1 und der Gruppe 2 im selben Lebensabschnitt. Erst die Erhöhung des Anteils an RES auf 15 % im Futter in der Gruppe 8 ab dem 15. Lebenstag reduzierte die Futtermittelaufnahme in den folgenden 3 Mastwochen, was sich aber nicht statistisch gesichert im Vergleich zu den Gruppen 1, 2, 5, 6 und 7 bemerkbar machte. Auch in der Lebendmassezunahme und der Mastendmasse der Broiler war das Ergebnis der Gruppe 8 (5/15 % RES) vergleichbar mit dem der Gruppe 3 (10/10 % RES) und gesichert besser als das der Gruppe 4 (15/15 % RES). Der Futtermittelverbrauch im Mittel des Versuches war zwischen den Gruppen 1, 2, 5, 6, 7 und 8 gleich und nur bei den Gruppen 3 und 4 niedriger. Parallel zu den Ergebnissen des Wachstums der Broiler zeigten sich die Ausschachtungsergebnisse (Tab. 1). Insbesondere wurde der Ertrag an Brustfleisch reduziert in den Gruppen 3 und 4, mit einer Konzentration von 10 % bzw. 15 % RES im Futter bei einer Fütterung ab dem ersten Lebenstag. Erfolgte die Fütterung von mehr als 5 % RES ab dem 14. Lebenstag, waren die Auswirkungen wesentlich geringer im Vergleich zur Kontrolle und der Gruppe mit 5 % RES im Futter.

Tab. 1: Wachstum und Ausschachtung der Broiler (Mittelwert, SD, P < 0,05)

Gruppe RES, % 1.-14./ 15.-35. d	Futter g/Tier/d	Lebend- masse, g/Tier	Futter- aufwand, kg/kg	Schlacht- körper, % an LM	Brust- fleisch, g/Tier
1 Kontrolle	76 a	2089 a	1,31 ab	68,7 abc	328 ab
2 5/5	78 a	2062 ab	1,35 a	69,4 a	330 ab
3 10/10	63 b	1810 d	1,25 bc	66,4 c	278 cd
4 15/15	53 c	1592 e	1,23 c	66,9 bc	253 d
5 0/5	77 a	2039 ab	1,34 a	69,0 ab	336 a
6 0/10	75 a	2011 ab	1,33 a	67,4 abc	310 abc
7 5/10	73 a	1954 bc	1,33 a	67,0 bc	284 bcd
8 5/15	72 a	1881 cd	1,36 a	67,6 abc	293 abcd

a, b, c, d, e, –signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bei einem Merkmal

Tab. 2: Ergebnisse N-Bilanz-Versuch (n = 18 Broiler/Gruppe) (Mittelwert, SD, P ≤ 0,05)

Gruppe, RES, %	Lebendmasse- Zunahme, g/Tier	N-Bilanz = N-Aufnahme - N-Ausscheidung
Kontrolle	297 a	8,02 ab
5	293 a	8,19 a
10	261 b	7,14 c
15	247 b	7,56 bc

a, b, c –signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bei einem Merkmal

Während der Hauptperiode im Stoffwechselversuch war die Lebendmassezunahme der Broiler der Kontrollgruppe und der 5 % RES-Gruppe statistisch gesichert höher im Vergleich zu den Gruppen mit 10 und 15 % RES im Futter (Tab. 2). Parallel dazu wiesen die Kontrolle und die 5 % RES-Gruppe eine teilweise statistisch gesichert höhere N-Bilanz, somit einen höheren Protein- und damit Fleischansatz auf.

Die Ergebnisse aus den Untersuchungen an Mastbroilern mit Rapsextraktionschrot, dessen Glucosinolatgehalt bei 5,41 $\mu\text{mol/g}$ lag, lassen die Schlussfolgerungen zu, dass eine Konzentration von 5 % RES im Broilerfutter vom ersten Lebenstag bis zum Mastende (35. Lebenstag) das Wachstum der Tiere nicht

negativ beeinflusst. Der Einsatz von höheren Konzentrationen an RES bis 10 % sollte erst ab dem 14. Lebenstag erfolgen, um die negativen Auswirkungen auf die Futtermittelaufnahme und damit das Wachstum der Tiere zu verringern. Eine Konzentration von 15 % RES im Broilerfutter ab dem ersten Lebenstag, sowie einem Fütterungsbeginn ab dem 14. Tag hatte negative Auswirkungen auf die Futtermittelaufnahme und damit das Wachstum der Tiere.

Durch Schwankungen im Glucosinolatgehalt in RES verschiedener Herkunft, resultierend aus der Rapssaat und aus der Verarbeitung in verschiedenen Ölmühlen, mit daraus eventuell resultierender unterschiedlicher Verfügbarkeit der Aminosäuren im Protein, kann aus diesen Versuchen keine generelle Empfehlung zum Einsatz von RES im Broilerfutter gegeben werden.

4. Zusammenfassung

Das Ziel der Untersuchung bestand darin den Einfluss eines gestaffelten Einsatzes von Rapsextraktionsschrot im Futter auf das Wachstum von Broilern zu überprüfen. Dazu wurden im Versuch 768 männliche Broilerküken der Herkunft Ross 308 in 8 Gruppen mit jeweils 8 Abteilen à 12 Tieren aufgeteilt. Die Versuchsdauer betrug 35 Tage. Die 8 Versuchsgruppen ergaben sich aus der Staffelung des Gehaltes an RES (0/5/10/15 %) sowie einer altersabhängigen Staffelung (1./14. Tag) des RES (0/5 %; 0/10 %, 5/10 %, 5/15 %) im Futter (RES-Glucosinolatgehalt bei 5,41 $\mu\text{mol/g}$). Nach dem Versuchsabschluss wurde aus jedem Abteil ein Broiler geschlachtet und die Massen an wertvollen Fleischteilen und Organen ermittelt. Parallel zum Wachstumsversuch wurde ein N-Bilanzversuch an Broilern im Alter von 3 Wochen durchgeführt. Die Futtermittelaufnahme der Gruppen mit 10 % und 15 % RES im Futter und Fütterung ab dem ersten Lebenstag war gesichert niedriger im Vergleich zu den anderen Gruppen. Resultierend daraus waren die Lebendmassezunahme, die Mastendmasse und der Ertrag an Brustfleisch der Broiler der beiden Gruppen gesichert niedriger. Die Wachstumsergebnisse der Gruppe mit einer gestaffelten Erhöhung von RES im Futter von 5 % auf 15 % waren vergleichbar mit den Ergebnissen der Gruppe mit 10 % RES ab dem ersten Tag. Der Futtermittelverbrauch war bei den Gruppen mit 10 % und 15 % RES Fütterung ab dem ersten Tag gesichert niedriger im Vergleich zu den anderen Gruppen. Der höchste N-Ansatz wurde für die Broiler der Kontrolle und der 5 % RES Gruppe ermittelt.

5. Literaturangaben

Jeroch, H., Dänicke, S., 2012: Faustzahlen zur Geflügelfütterung. Geflügeljahrbuch 2012, Ulmer Verlag.

SAS Institute Inc., 2002-2008, Cary, NC, USA, SAS 9.2.

Die Wirkung der Zulage einer Mischung aus ätherischen Ölen auf die Leistung von Milchkühen

S. Dunkel¹, B. Zweifel², H. Schaeffer³, K. Trauboth¹, M. Strube⁴

¹Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, ²AGOLIN SA, Bière, Schweiz, ³BASU Mineralfutter GmbH, Bad Sulza, ⁴Landwirtschaftsgenossenschaft e. G. Förtha, Marksuhl

1. Einleitung

Pflanzen produzieren eine Vielzahl von unterschiedlichen Metaboliten wie z. B. ätherische Öle. Diese zeigen antimikrobielle Aktivitäten gegen eine Vielzahl von Mikroorganismen wie Bakterien, Protozoen, Pilzen und Viren. Aktuell gibt es zahlreiche Forschungsvorhaben zur Nutzung der Eigenschaften von ätherischen Ölen, um die mikrobielle Fermentation im Pansen zu beeinflussen, damit die Nährstoffe besser verdaut werden. Die meisten Studien zeigen, dass bei hohen Dosen die Ammoniakkonzentration und Methanproduktion im Pansen reduziert wird, aber in vielen Fällen war dies mit einem Rückgang der Gesamtmenge an flüchtigen Fettsäuren verbunden. Andere Versuchsergebnisse zeigen bei Einsatz von Pflanzenextrakten eine Konzentrationserhöhung von Propionat und Butyrat in der Pansenflüssigkeit. Zudem wurden in den meisten Studien bisher keine positiven Auswirkungen auf die Nährstoffverwertung und tierischen Leistungen beobachtet.

Ätherischen Öle werden, oft in Zusammenhang mit ihrem Einsatz als phyto gene Zusatzstoffe, verschiedene Eigenschaften zugeschrieben. Dazu zählen eine appetitanregende Wirkung durch Verbesserung von Geruch und Geschmack des Futters, die mit einer gesteigerten Futteraufnahme einhergeht, als auch eine Verbesserung der Verdaulichkeit des Futters und damit eine gesteigerte Verwertung von Nährstoffen, vor allem durch Stimulierung der Sekretion von Verdauungsenzymen.

Ziel der Untersuchungen war die Prüfung einer Mischung aus ätherischen Ölen als Rationszusatz über das Mineralstoffgemisch (AGOLIN Ruminant, Hersteller: AGOLIN SA, Bière, Schweiz) hinsichtlich des Einflusses auf Milchleistung und Milch Inhaltsstoffe, Futteraufnahme und Gesundheit von Milchkühen.

2. Material und Methoden

Der Versuch fand unter Produktionsbedingungen von März bis September 2012 statt. Die Milchkühe für die Versuchs- und Kontrollgruppe im Fütterungsversuch wurden aus der Milchviehherde (Rasse Deutsche Holsteins) zusammengestellt. Die mittlere Laktationsleistung aller Kühe des Betriebes lag im Jahr 2012 bei 9792 kg mit 4,02 % Fett und 3,54 % Eiweiß (TVL-Jahresbericht 2012). Angelehnt an die Gruppeneinteilung der Milchkühe in dem Produktionsbetrieb entsprach die Versuchsgruppe der Gruppe 2 und die Kontrollgruppe der Gruppe 3. Die Milchkühe wurden aus der Transitgruppe zwischen dem 20. und 35. Laktationstag der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe zugeordnet. Kriterium der Gruppenzuordnung war die Milchleistung und die Laktationsnummer. Der Eintritt des Tieres in die jeweilige Gruppe galt als Versuchsbeginn. Zur Auswertung wurden nur Tiere herangezogen, welche mindestens 50 Versuchstage in der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe standen. Es konnten insgesamt 159 Milchkühe der Rasse Deutsche Holsteins in den Versuch einbezogen werden (Versuchsgruppe 80 Kühe; Kontrollgruppe 79 Kühe). Die Haltung der Milchkühe während der Untersuchung erfolgte in Liegeboxenlaufställen mit Gummimatten im Liegebereich, Vollspaltenboden und Fressgittern. Wasser stand den Tieren *ad libitum* zur Verfügung.

Während der Versuchsdurchführung konnte die Futtermittelaufnahme gruppenweise und täglich erfasst werden. Dabei wurde die Vorlage über den Futtermischwagen elektronisch und die Restfuttermenge manuell durch den Versuchstechniker dokumentiert.

Die Totalen Mischrationen (TMR), die in beiden Gruppen auf gleichen Anteilen aus Gras- und Maissilage, Heu und Kraftfutter und einer Mineralstoffmischung basierte (Tab. 1), wurden zweimal täglich zur freien Aufnahme über den Futtermischwagen vorgelegt. Die basalen Mischrationen (TMR) der Versuchs- und Kontrollgruppe waren auf eine Milchleistung von 42 kg/Tier und Tag ausgelegt, nach den Vorgaben der DLG (2001) bzw. GfE (2001) erstellt sowie isokalorisch und isonitrogen zusammengesetzt. Die Zuführung der Mischung aus ätherischen Ölen erfolgte über das Mineralfutter. Die Mischungswirkstoffe aus ätherischen Ölen (u. a. Eugenol, Geranylacetat, Korianderöl) sind mikroverkapselt und liegen in natürlicher und naturidentischer Form vor. Bei einer Mineralstoffgabe von 170 g/Tier und Tag nahmen die Kühe der Versuchsgruppe 1 g der speziellen Mischung aus ätherischen Ölen auf.

Tab. 1: Zusammensetzung und Nährstoffgehalte der Totalen Mischrationen (kg FM/Tier und Tag), für eine Milchkuh mit 650 kg Lebendmasse, 42 kg Milch mit 3,4 % Eiweiß und 4,3 % Fett

Futtermittel	Versuchsgruppe	Kontrollgruppe
<u>Grundfutter</u>		
Maissilage	22,0	22,0
Grassilage	14,7	14,7
Heu	0,9	0,9
<u>Krafftutter</u>		
Gerste/Weizen ¹	2,2	2,2
Deukalac 243	2,3	2,3
Deuka MK204-M	2,0	2,0
Melasse	1,0	1,0
Biertreber	5,7	5,7
Rapsextraktionsschrot	0,9	0,9
Sojaextraktionsschrot	0,7	0,7
Glycerin	0,3	0,3
(Melasseschnitzel ¹)	(0,8)	(0,8)
(Mischfutter 15/3 ¹)	(1,8)	(1,8)
Mineralstoffgemisch	0,17	0,17
Sonstiges ²	0,33	0,33
<u>Nährstoffgehalte</u>		
TM %	43	43
MJ NEL/kg TM	7,0	7,0
XF g/kg TM	163	163
XL g/kg TM	36	36
XZ+XS g/kg TM	211	211
nxP g/kg TM	155	155
RNB gN/kg TM	+0,6	+0,6

¹Getreide musste für kurze Zeit durch Melasseschnitzel und Mischfutter 15/3 ersetzt werden, ²Futterfett, Kohlensäurer Futterkalk, Natriumbikarbonat, Viehsalz

Die Milchleistung wurde täglich im Melkstand ermittelt. Die Bestimmung der Milchinhaltstoffe erfolgte zweimal im Monat. Außerdem fand im Versuchsverlauf die Körperkonditionseinstufung sowie die Messung der Rückenfettdicke statt.

Zur Charakterisierung der Stoffwechselsituation wurden regelmäßig Blutuntersuchungen durchgeführt. Die Blutentnahme erfolgte bei den Tieren durch die Punktion der *V. epigastrica cranialis superficialis* („Eutervene“). Die Bestimmung der Stoffwechselfparameter erfolgte im Blutplasma.

In die Auswertung der Fruchtbarkeitskennzahlen wurden nur Tiere einbezogen deren erste und letzte Besamung innerhalb der Versuchs- bzw. der Kontrollgruppe stattfand.

Zur mathematisch statistischen Auswertung der Milchleistung, der Milchinhaltstoffe (Fett, Eiweiß, Laktose, Fett- Eiweißquotient und Laktose) und der Futteraufnahme kam ein linear gemischtes Modell (Testtagsmodell nach Ali und Schaeffer, 1987) zum Einsatz. Die Schätzung der Parameter erfolgte mit dem Statistik Programm SAS (Statistical Analysis Program, Version 9.3).

3. Ergebnisse

In Tabelle 2 und in Abbildung 1 sind die Ergebnisse der Gruppentrockenmasseaufnahme und die Milchleistungsparameter dargestellt.

Die Milchleistung lag im Durchschnitt der Versuchsgruppe bei 36,9 kg und damit im Vergleich zur Kontrollgruppe um 0,8 kg höher. Auch bei der energie- und eiweißkorrigierten Milch konnte diese Tendenz für die Versuchsgruppe ebenfalls aufgezeigt werden. Diese Unterschiede sind jedoch statistisch nicht abzuschließen. Beim Milchfett-, Milcheiweiß- und Laktosegehalt konnten ebenfalls keine signifikanten Einflüsse der Futterration festgestellt werden.

Die im Versuchszeitraum aufgenommene Futtermenge in der Versuchs- als auch in der Kontrollration lag mit ca. 26 kg TM/Tier und Tag auf einem hohen Niveau. Von der Futterration mit Zusatz einer Mischung aus ätherischen Ölen wurde im Gruppenmittel mit 26,5 kg TM signifikant mehr gefressen als von der Kontrollration (Tab. 2, Abb. 1). Durch die Zulage der speziellen Mischung aus ätherischen Ölen verbesserte sich der Geruch der Futtervorlage während des

Versuchszeitraumes, was durch den Versuchstechniker mehrmals bestätigt wurde. Diese appetitanregende Wirkung könnte zur höheren Futteraufnahme beigetragen haben.

Tab.2: Mittlere Trockenmasseaufnahme und Milchleistungsparameter (LSmeans; \pm s)

Parameter	Kontroll- gruppe N=79	Versuchsgruppe N=80	P-Wert
Trockenmasseaufnahme, kg/ Gruppe und Tag	25,9 \pm 0,01	26,5 \pm 0,01	0,0001
Milchmenge, kg/Tag	36,1 \pm 0,51	36,9 \pm 0,41	0,2747
ECM, kg/Tag	39,6 \pm 0,54	40,8 \pm 0,55	0,1598
Milchfettgehalt, %	3,6 \pm 0,02	3,5 \pm 0,02	0,1985
Milcheiweißgehalt, %	3,34 \pm 0,02	3,34 \pm 0,02	0,9939
Laktose, %	4,8 \pm 0,01	4,8 \pm 0,01	0,5719

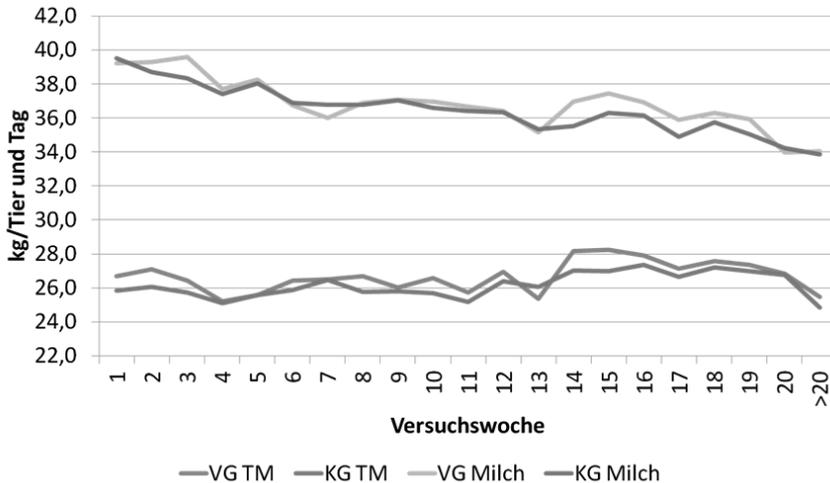


Abb. 1: Trockenmasseaufnahme (TM) und Milchleistung im Versuchsverlauf (VG = Versuchsgruppe; KG = Kontrollgruppe)

Der Vergleich zwischen den beiden Fütterungsgruppen zeigte im Merkmal Rückenfettdicke (RFD) Unterschiede *post partum*, wobei im Laktationsverlauf

die Differenz zwischen der Versuchs- und Kontrollgruppe deutlicher ausgeprägt ist (Abb. 2). In der Phase ab dem 57. Laktationstag sind die Unterschiede statistisch gesichert. Eine Ursache für die Abweichungen begründet sich aus der Differenz der unterschiedlichen Futteraufnahme in den Gruppen (Tab. 3). Da die Versuchsgruppe mehr Trockenmasse aufgenommen hat, ist auch die Aufnahme an Energie- und Nährstoffen höher als in der Kontrollgruppe. Dadurch ist die Versuchsgruppe im Zeitraum der Früh-laktation in der Lage, die benötigte Energie für die Milchproduktion über die Futteraufnahme und nicht über einen erhöhten Körpersubstanzabbau zu leisten. Die Tiere in der Versuchsgruppe konnten sich dadurch möglicherweise besser an die negative Energiebilanz adaptieren.

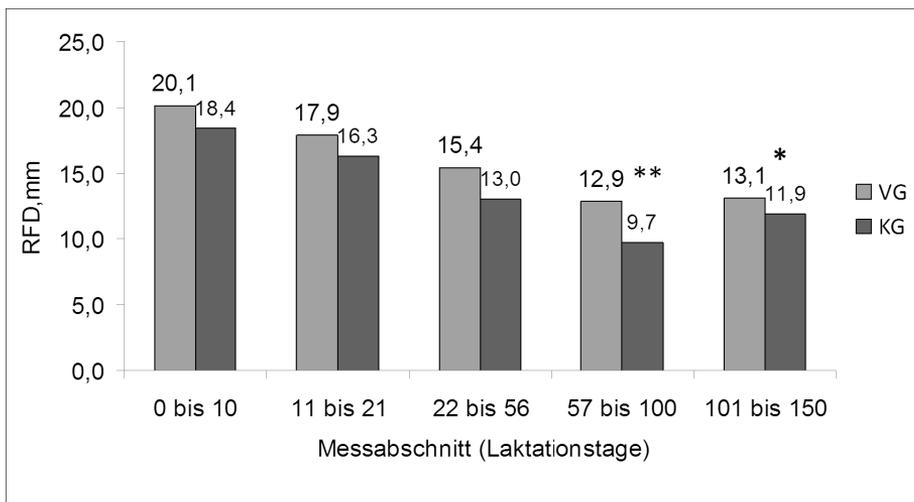


Abb. 2: Mittlere Veränderungen der Rückenfettdicke der Milchkühe im Versuchszeitraum

Tab. 3: Reproduktionskennzahlen (Gruppenmittelwert)

Kennzahl	Versuchsgruppe n=62	Kontrollgruppe n=56
Besamungsindex	1,7	1,8
Trächtigkeitsindex	aus 83,3	48,1
Erstbesamung, %		
Trächtigkeitsindex gesamt, %	73,2	58,1

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse zu den Fruchtbarkeitsparametern dargestellt. Es ist erkennbar, dass der Besamungsindex zwischen den Gruppen annähernd gleich war. In der Versuchsgruppe wurden 83,3 % der besamten Tiere aus der ersten Besamung tragend. Dies entspricht einem Anteil von 35,2 % mehr tragender Tiere aus der Erstbesamung. Auch beim Trächtigkeitsindex bezogen auf alle besamten Tiere im Versuchszeitraum zeigte sich dieser Effekt. In der Versuchsgruppe waren bei Versuchsende 15,1 % mehr Tiere tragend.

Wenn Milchkühe sich an die negative Energiebilanz nicht adaptieren können, gibt es unterschiedliche Anzeigeindikatoren bei den Stoffwechselfparametern. Um den Energiehaushalt zu kennzeichnen, können u. a. die freien Fettsäuren (FFS) oder die Ketonkörperkonzentrationen (BHB) im Blutserum herangezogen werden. Die Analyse der FFS und der BHB ermöglicht die Bewertung einer gesteigerten Lipolyse. Die FFS werden aus dem Körperfett freigesetzt und sind während bzw. nach der Kalbung relativ rasch im Blut erhöht. Die Ergebnisse der FFS-Konzentration zeigen, dass die Tiere der Versuchsgruppe weniger FFS im Blut freisetzen als die Kontrollgruppe (VG: 0,33 mmol/l; KG: 0,38 mmol/l; oberer Grenzwert Tiergesundheitsdienst Thüringen: 0,34 mmol/l). Die Tiere der Kontrollgruppe liegen im peripartalen Zeitraum (1. bis 30. Laktationstag) über dem Referenzwert von 0,62 mmol/l nach Kraft und Dürr (2005). Im ersten Laktationsmonat ist somit in der Kontrollgruppe eine gesteigerte Lipolyse nachweisbar. Dieses Ergebnis wird auch durch die erhöhte Ketonkörperkonzentration in der Kontrollgruppe (854 μ mol/l) bestätigt (Versuchsgruppe: 699 μ mol/l).

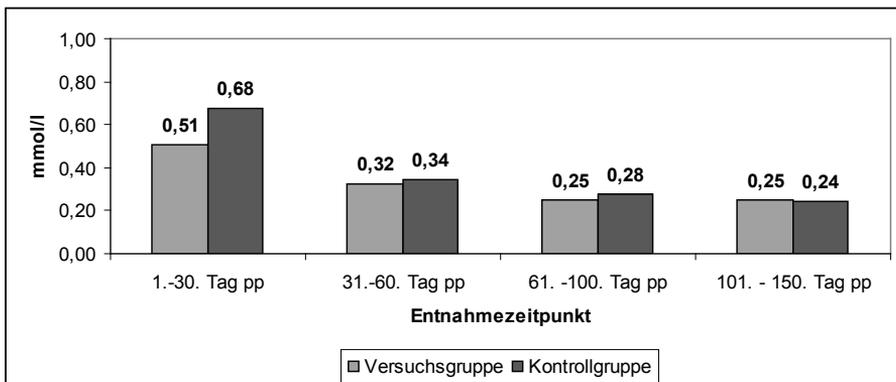


Abb. 3: Konzentration an freien Fettsäuren im Blutplasma

4. Zusammenfassung

In der Untersuchung an HF-Milchkühen wurde der Einfluss einer speziellen Mischung von ätherischen Ölen (AGOLIN Ruminant) auf die Milchmengenleistung, Milchhaltsstoffe (Fett, Eiweiß, Laktose), Futteraufnahme, Stoffwechsel und Körperkondition geprüft. Unter den Bedingungen des Praxisversuches konnte kein statistisch gesicherter Einfluss auf die Milchmengenleistung und den Milchhaltsstoffen festgestellt werden. Es zeigte sich, dass die Zusammensetzung der Mischung aus ätherischen Ölen im Produkt AGOLIN Ruminant einen positiven Einfluss auf die Futteraufnahme und die Rückenfettdicke hat. Da die gesteigerte Futteraufnahme nur als Gruppenmittelwert ermittelt werden konnte, sind weitergehende Untersuchungen zur tierindividuellen Futteraufnahme notwendig, um definierte Aussagen zur tatsächlichen Beeinflussung der Futteraufnahme durch diese spezielle Mischung an ätherischen Ölen treffen zu können.

Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass die Tiere in der Versuchsgruppe energetisch und nährstoffseitig bedarfsgerechter versorgt waren und demzufolge sich auch besser an die negative Energiebilanz adaptieren konnten oder die negative Energiebilanz nicht so deutlich ausgeprägt war. Diese Anpassungswirkung der Milchkuh könnte zu besseren Fruchtbarkeitsergebnissen führen und einen Beitrag zur Erhöhung der Lebensleistung und Nutzungsdauer von Milchkühen leisten.

5. Literaturangaben

- Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Kamel, C., 2006: Plant extracts affect *in vitro* rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.* 89, 761-771.
- Calsamiglia, S., Busquet, M., Cardozo, P.W., Castillejos, L., Ferret, A., 2007: Invited Review: Essential Oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.* 90, 2580-72595.
- Jorritsma, R., Wensing, T., Kruip, T.A., Vos, P.L., Noordhuizen, J.P., 2003: Metabolic changes in early lactation and impaired reproductive performance in dairy cows. *Vet Res.* 34(1), 11-26.
- Kraft, W., Dürr, U., 2005: *Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin.* 6. Auflage. Schattauer Verlag, Stuttgart, New York.

- Mielenz, N., Spielke, J., Krejcova, H., Schüler, L., 2006: Statistical analysis of test day milk yields using random regressions models for the comparison of feeding groups during the lactation period. *J. Animal Nutrition*. 60(5), 342-357.
- Reist, M., Erdinn, D., von Euw, D., Tschumperlin, K., Leuenberger, H., Chillard, Y., Hammon, H.M., Morel, C., Philipona, C., Zbinden, Y., Kuenzi, N., Blum, J.W., 2002: Estimation of energy balance at the individual and herd level using blood and milk traits in high-yielding dairy cows. *J Dairy Sci*. 85(12), 3314-27.

Perfluoralkylsäuren (PFAAs) in der Nahrungskette: Boden – Futtermittel – Tier – Verarbeitungsprodukt

J. Kowalczyk, H. Schafft, M. Lahrssen-Wiederholt
Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin

1. Einleitung

Perfluoralkylsäuren (PFAAs) sind industriell hergestellte Substanzen, die aufgrund ihrer vollständig mit Fluoratomen besetzten Kohlenstoffkette sowie der funktionellen Gruppe (z. B. Carboxylat, Sulfonat) am Ende der Kette besondere technische Eigenschaften aufweisen. Aufgrund ihrer hohen thermischen Stabilität sowie wasser-, fett- und schmutzabweisenden Eigenschaften werden PFAAs in einer Vielzahl von industriellen Prozessen (z. B. Fluorpolymerherstellung, Galvanik, Luftfahrt) und verbrauchernahen Produkten (Textilien, Papier, Imprägniersprays etc.) verwendet (Buck et al., 2011).

Infolge ihres weiten Anwendungsspektrums haben sich die Verbindungen ubiquitär in der Umwelt verbreitet. Aufgrund ihrer Persistenz und Bioakkumulation konnten geringe Konzentrationen an PFAAs bereits in verschiedensten Wildtieren (Giesy und Kannan, 2001) aber auch im Menschen (Fromme et al., 2009) nachgewiesen werden.

Die toxikologisch am besten untersuchten Verbindungen sind die Perfluorocantansulfonsäure (PFOS) und die Perfluorocantansäure (PFOA), die auch als Leit-substanzen bezeichnet werden. Für beide Verbindungen ist bekannt, dass sie sich bevorzugt in der Leber anreichern und über eine sehr lange Halbwertszeit im menschlichen und tierischen Organismus verfügen. Beide Verbindungen sind als lebertoxisch, immunotoxisch, krebserregend und reproduktionstoxisch eingestuft. Im Jahre 2009 wurde PFOS als POP (persistent organic pollutant) in die Stockholmer Konvention aufgenommen (UNEP 2009). Für PFOA gibt es seit dem Jahr 2006 das 2010/2015 PFOA Stewardship Program, in dem sich die US EPA sowie die bedeutendsten Hersteller von Fluorpolymeren dazu verpflichteten, PFOA und seine strukturverwandten Verbindungen in den industriellen Prozessen und Produkten bis zum Jahr 2015 vollständig ausgetauscht zu haben (US EPA, 2013). Die Industrie geht davon aus, dass Verbindungen, die eine kürzere Kettenlänge aufweisen als PFOS und PFOA schneller wieder aus dem

Organismus ausgeschieden werden und somit toxikologisch weniger bedenklich sind. Eine neue Strategie der Industrie ist deshalb, die für die Fluorpolymerherstellung verwendeten Ausgangsverbindungen mit acht C-Atomen durch Verbindungen mit sechs oder vier C-Atomen zu ersetzen (Olsen et al., 2009). Problematisch daran ist, dass zur Toxikologie und zum Akkumulationspotential der kurzkettigen Verbindungen bisher wenig bekannt ist.

Die Literaturlauswertungen zeigen, dass sich PFAAs in den einzelnen Kompartimenten der Nahrungskette anreichern (Stahl et al., 2009; Zhao et al., 2012; Kowalczyk et al., 2013) und der Mensch PFAAs insbesondere über tierische Lebensmittel aufnimmt (Vestergren und Cousin, 2009). Eine zusammenhängende Betrachtung des Transfers von PFAAs entlang der Nahrungskette fand bisher nicht statt. Das BfR hat daher versucht den Transfer ausgewählter PFAAs (Tab. 1) entlang der Lebensmittel-Wertschöpfungskette Boden, Futtermittel, Nutztier sowie Lebensmittel tierischen Ursprungs abzubilden und zu quantifizieren. Modellhaft wurden dafür Futtermittel auf PFAA-kontaminierten Böden angebaut, diese zu Mischfutter verarbeitet, an Mastschweine verfüttert und das auf diese Weise produzierte Schweinefleisch weiterverarbeitet zu Wurst- und Fleischwaren.

Tab.1: Die entlang der Nahrungskette detektierten Perfluoralkylsäuren (PFAAs)

C-Atome	Perfluoralkylsulfonsäure	Perfluoralkylcarbonsäure
4	Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	
6	Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	Perfluorhexansäure (PFHxA)
7	Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	Perfluorheptansäure (PFHpA)
8	Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	Perfluoroctansäure (PFOA)

Grauhinterlegt: definiert als langkettige Verbindungen; Fett markiert: Leitsubstanz

2. Material und Methoden

Für die Abbildung des PFAA-Transfers entlang der Nahrungskette wurde ein Betrieb identifiziert, dessen landwirtschaftliche Nutzflächen durch den Austrag

PFAA-haltiger sogenannter Bodenverbesserer mit PFAA kontaminiert wurden. Auf zwei ausgewählten Ackerflächen wurden mehrere Bodeneinzelproben zu je einer Poolprobe zusammengeführt und in einem landwirtschaftlichen Labor in Niedersachsen auf dessen PFAA-Gehalt untersucht. Anschließend wurden von den PFAA-kontaminierten Flächen die Futterkomponenten Gerstenkörner und Heu gewonnen und diese am BfR in ein pelletiertes Schweinemischfutter eingemischt (Tab. 2).

Tab. 2: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe der Mastschweineration

Futterkomponente	Anteil in der Ration (%)	
Gerste (PFAA-kontaminiert/PFAA-frei)	59,4	
Sojaextraktionsschrot (44 % XP)	19,8	
Heu (PFAA-kontaminiert/PFAA-frei)	16,8	
Rapsöl	1,0	
Mineralfutter*	3,0	
Inhaltsstoffe (% TM)	Kontrollfutter	PFAA-Futter
Trockensubstanz (%)	89,5	90,2
Rohasche	6,8	6,0
Rohprotein	17,8	18,2
Rohfaser	9,7	10,1
Stärke	35,2	36,3
Zucker	6,3	5,8
Rohfett	3,8	3,7
MJ ME/kg TM	12,7	12,9

*Inhaltsstoffe: 3,5 % Lysin, 1,5 % Threonin, 1,5 % Methionin, 75,0 % Rohasche, 16,5 % Calcium, 4,0 % Phosphor, 7,0 % Natrium, 1,5 % Magnesium; Zusammensetzung: 39,2 % Calciumcarbonat, 18,5 % Natriumchlorid, 10,0 % Weizengrießkleie, 10,0 % Monocalciumphosphat, 8,5 % Calcium-Magnesiumphosphat, 1,25 % Magnesiumoxid, 1,0 % Sojaöl; Zusatzstoffe je kg Mineralfutter: 50 000 I. E. Vitamin A, 5000 I. E. Vitamin D3, 2000 mg Vitamin E (α -Tocopherolacetat), 375 mg Kupfer-(II)-sulfat, Pentahydrat, 12.00 FTU6-PhytasePhyzyyme EG-Nr. E1640

Auf dem Versuchsgut des BfR wurden insgesamt 24 Mastschweine der Rasse Dt. Landrasse im Mastabschnitt $82,5 \pm 11,9$ bis $102,5 \pm 11,1$ kg aufgestallt und über einen Zeitraum von 21 Tagen mit dem PFAA-haltigen Schweinemischfutter gefüttert. Die Versuchstiere wurden in drei Gruppen mit jeweils 8 Tieren auf

Stroh gehalten. Sechs Kontrolltiere erhielten über die gleiche Mastperiode ein energetisch und die Nährstoffzufuhr betreffend identisches aber PFAA-freies Kontrollfutter (Tab. 2). Die Haltung von Versuchs- und Kontrolltieren erfolgte räumlich getrennt, um Kreuzkontaminationen auszuschließen. Blutproben wurden regelmäßig gewonnen. Nach der Schlachtung (22. Versuchstag) wurden Leber und Nieren der Tiere entnommen sowie Rückenmuskel-, Bauchmuskel- und Fettgewebe für die Herstellung von Wurst- und Fleischwaren gewonnen.

Fleischteilstücke von drei zufällig ausgewählten Tieren wurden in der Lebensmitteltechnologie des BfR jeweils zu Koch-, Brüh-, Rohwurst (Leberwurst, Lyoner, Salami) und einem Schweinebraten verarbeitet. Die Herstellung der Wurst- und Fleischwaren erfolgte ohne die Verwendung von Gewürzen.

Die einzelnen Futtermittelkomponenten, das Schweinmischfutter sowie alle während des Fütterungsversuchs und nach Schlachtung und Fleischverarbeitung gewonnenen Proben wurden mittels HPLC-MS/MS am Chemischen und Veterinäruntersuchungsamt Münsterland-Emscher-Lippe (CVUA-MEL) auf ihre Gehalte an PFAAs untersucht.

3. Ergebnisse

Der mittlere Gehalt an PFAAs im Boden der zwei ausgewählten landwirtschaftlichen Nutzflächen ist in Tabelle 3 dargestellt. Die Ergebnisse der Bodenanalyse weisen auf höhere Kontaminationen an Perfluoralkylsulfonsäuren als Perfluoralkylcarbonsäuren hin. Innerhalb beider PFAA-Verbindungsgruppen wurden mit steigender Kettenlänge zunehmende Gehalte im Boden detektiert; wobei PFOS mit 2750 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Boden (TM) insgesamt die höchsten Gehalte aufwies. Über welchen Zeitraum und in welcher Menge der PFAA-kontaminierte Bodenverbesserer auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen aufgebracht wurde, ist bis heute nicht genau bekannt. Quantitative Rückschlüsse über den Transfer von PFAAs aus dem Boden in die Futtermittel Heu und Gerstenkörner können daher nicht gezogen werden. Die in Tabelle 3 dargestellten Gehalte an PFAAs im Boden dienen in den vorliegenden Untersuchungen aber als Interpretationshilfe.

Tab. 3: PFAA-Konzentration im Boden sowie Gehalte an PFAA in Heu und Gerstenkörnern und dem daraus hergestellten Schweinemischfutter in $\mu\text{g}/\text{kg}$ (MW \pm S)

Matrix	TM (%)	Perfluoralkylsulfonsäuren				Perfluoralkylcarbonsäuren		
		PFBS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFHxA	PFHpA	PFOA
Boden (2 Poolproben)	85,5	< NG*	79,5 \pm 29,0	-	2750 \pm 212	13,5 \pm 2,1	25,5 \pm 6,4	160 \pm 71
Heu (n = 7)	92,7	854 \pm 193	900 \pm 306	44,6 \pm 15,7	1654 \pm 654	374 \pm 129	96,6 \pm 44,4	287 \pm 148
Gersten- körner (Poolprobe)	88,0	10,8	2,27	0,14	2,54	2,14	0,30	0,77
Schweine- mischfutter (n = 9)	90,5	132,3 \pm 10,5	91,3 \pm 8,0	4,0 \pm 0,5	136,7 \pm 13,1	47,8 \pm 4,4	10,2 \pm 1,7	22,4 \pm 2,6

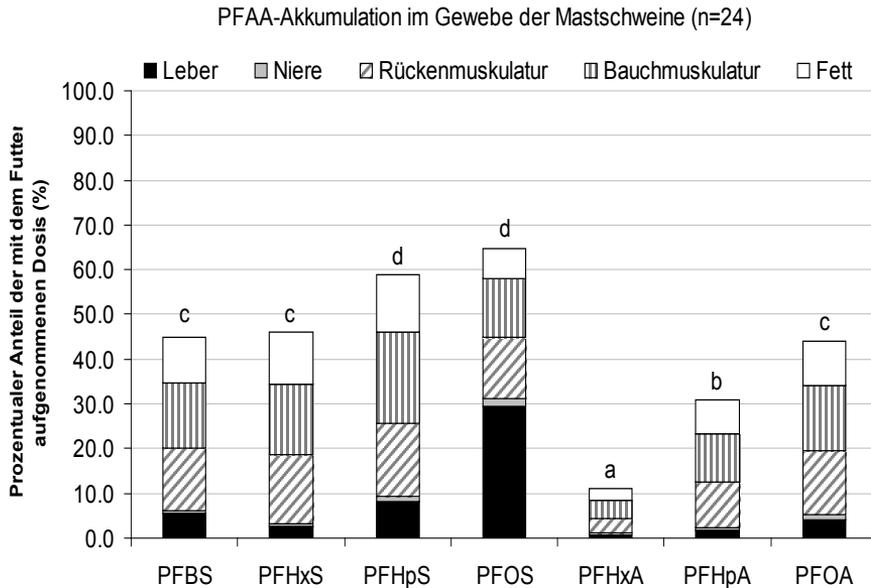
*Nachweisgrenze (NG) Boden: $10 \mu\text{g}/\text{kg}$; NG Futtermittel: $0,2 \mu\text{g}/\text{kg}$

Vor diesem Hintergrund deutet sich in Heu und den Gerstenkörnern eine tendenziell höhere Akkumulation von geradkettigen PFAAs an. Der Vergleich mit den Ergebnissen der Bodenanalyse weist zudem darauf hin, dass sich Perfluoralkylsulfonsäuren und Perfluoralkylcarbonsäuren mit kürzerer Kettenlänge ($\leq C_6$) in höherem Maße in den Pflanzen anreicherten als deren länger-kettige Verbindungen.

Die Gehalte an PFAAs in den Futtermitteln Heu und Gerstenkörner sind ebenfalls in Tabelle 3 dargestellt. Im Vergleich zu den Gerstenkörnern waren die PFAA-Gehalte im Heu deutlich höher (Faktor 80-650). Ähnlich den Befunden in den Bodenproben wies Heu die höheren Gehalte an Perfluoralkylsulfonsäuren auf. Während im Heu PFOS ($1\ 654 \mu\text{g}/\text{kg}$ TM) die höchsten Gehalte aufwies, waren die Gehalte von PFBS und PFHxS mit $854 \mu\text{g}$ bzw. $900 \mu\text{g}/\text{kg}$ (TM) um den Faktor 2 niedriger. In den Gerstenkörnern waren die Gehalte an PFAAs nur sehr gering. Die kurz-kettigen Verbindungen PFBS und PFHxA wiesen mit $10,8 \mu\text{g}$ und $2,14 \mu\text{g}/\text{kg}$ TM die höchsten Gehalte in der Gerste auf.

Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Gehalte an PFAAs in den Gerstenkörnern wurden bis zu 17 % des höher kontaminierten Heus in das Schweinefutter eingemischt, denn ein Ziel der Untersuchungen war, eine möglichst hohe PFAA-Aufnahme der Tiere über „natürlich“ kontaminierte Futtermittel zu erreichen. Die

Analysen des Schweinemischfutters spiegeln somit die PFAA-Gehalte im Heu wider: relativ hohe Gehalte an Perfluoralkylsulfonsäuren und vergleichsweise geringere Gehalte an Perfluoralkylcarbonsäuren (Tab. 3). Der Vergleich der Ergebnisse von PFAAs im Schweinemischfutter vor und nach der Pelletierung (Daten nicht gezeigt) zeigte keine Unterschiede in den Konzentrationen und damit keinen Einfluss der Verarbeitung auf die PFAA-Gehalte im Futtermittel.



a,b,c,d Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede zwischen den PFAAs ($P < 0,05$)

Abb. 1: PFAA-Akkumulation im Gewebe der Mastschweine (n=24)

Für die Bestimmung der akkumulierten Menge an PFAAs im Gewebe der Mastschweine wurden die Konzentrationen an PFAAs auf die Masse des jeweiligen Gewebes bezogen. Hierzu wurden vor der Schlachtung die Lebendmassen (LM, 103 ± 11 kg) sowie nach der Schlachtung das Gewicht von Leber (1264 ± 164 g) und Nieren (288 ± 42 g) bestimmt. Für die Berechnung der Muskelgewebemasse wurde die Blutmenge faktoriell (0,935) ermittelt und für die Bestimmung des Muskel- (62,6 %, davon 51,5 % Rücken- und 48,5 % Bauchmuskelgewebeanteil) und Fettgewebeanteils (18,9 %) im Schlachtkörper die Literaturdaten von Branscheid et al., 2007 herangezogen. Die Berechnungen der Gewebemassen erfolgten mit den Formeln:

(1) Rückenmuskelmasse (kg):

(0,935 • LM [kg] - Lebergewicht [kg] - Nierengewicht [kg]) • 0,626 • 0,515

(2) Bauchmuskelmasse (kg):

(0,935 • LM [kg] - Lebergewicht [kg] - Nierengewicht [kg]) • 0,626 • 0,485

(3) Fettmasse (kg):

(0,935 • LM [kg] - Lebergewicht [kg] - Nierengewicht [kg]) • 0,189

Anschließend wurden die in den Organen und Geweben akkumulierten PFAA-Mengen (μg) mit der über das Futter aufgenommenen PFAA-Dosis verglichen und in Abbildung 1 in Prozent zur Gesamtdosis dargestellt.

Tab. 4: PFAA-Konzentration in Leber und Fleisch sowie in der daraus hergestellten Wurst- und Fleischware in $\mu\text{g}/\text{kg}$ (MW \pm S)

Matrix	Perfluoralkylsulfonsäuren				Perfluoralkylcarbonsäuren			Summe PFAAs
	PFBS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFHxA	PFHpA	PFOA	
Leber (L) ^a	265,5 $\pm 18,2$	84,5 $\pm 10,4$	13,0 $\pm 1,6$	1652,3 $\pm 216,5$	22,6 $\pm 15,4$	6,4 $\pm 1,7$	32,1 $\pm 3,6$	2077 ± 253
Rückenfleisch (RF) ^a	29,0 $\pm 2,7$	22,3 $\pm 3,4$	1,0 $\pm 0,1$	26,0 $\pm 1,0$	3,6 $\pm 2,5$	1,7 $\pm 0,1$	5,1 $\pm 0,2$	89 ± 5
Bauchfleisch (BF) ^a	32,3 $\pm 4,3$	25,6 $\pm 1,5$	1,4 $\pm 0,1$	26,1 $\pm 0,9$	4,8 $\pm 3,7$	2,0 $\pm 0,4$	5,7 $\pm 0,6$	98 ± 11
Leberwurst ^b (13,5% L + 71% RF)	53,6 $\pm 10,4$	33,6 $\pm 7,7$	2,6 $\pm 0,3$	257,6 $\pm 41,6$	5,5 $\pm 5,0$	2,5 $\pm 0,9$	10,5 $\pm 2,6$	366 ± 57
Salami ^b (60% RF + 36% BF)	44,6 $\pm 8,6$	34,3 $\pm 5,1$	1,7 $\pm 0,3$	38,5 $\pm 4,1$	6,7 $\pm 5,2$	2,8 $\pm 0,8$	8,9 $\pm 1,9$	138 ± 25
Lyoner ^b (51% RF + 32% BF)	20,5 $\pm 4,0$	14,5 $\pm 1,8$	0,8 $\pm 0,2$	17,4 $\pm 1,3$	2,7 $\pm 1,9$	1,2 $\pm 0,3$	3,8 $\pm 0,7$	61 ± 9
Braten ^b (100% RF)	28,7 $\pm 2,8$	22,0 $\pm 0,2$	1,2 $\pm 0,1$	29,6 $\pm 0,5$	4,1 $\pm 3,0$	1,7 $\pm 0,3$	5,0 $\pm 0,5$	92 ± 7

^an=24; ^bn=3

Der prozentuale Anteil der mit dem Futter aufgenommenen Dosis stieg sowohl bei den Perfluoralkylsulfonsäuren als auch bei den Perfluoralkylcarbonsäuren mit zunehmender Kettenlänge an. Der prozentuale Anteil an PFAAs in den Geweben zeigt, dass durch die hohe Akkumulation von PFHpS (10 %) und

PFOS (30 %) in der Leber, beide Verbindungen mit insgesamt 60 % und 65 % am stärksten im Körper der Mastschweine akkumulierten. Im geringeren Maße reicherten sich im Gewebe der Mastschweine PFBS (45 %), PFHxS (46 %) sowie PFOA (44 %) an, gefolgt von PFHpA (31 %) und PFHxA (11 %). Die einzelnen Verbindungen reicherten sich in ähnlichen Mengen im Rücken- und Bauchmuskelgewebe an. Die PFAA-Anreicherung im Fettgewebe war geringfügig niedriger.

In Tabelle 4 sind die Gehalte an PFAAs in den zur Verarbeitung verwendeten Fleischteilstücken sowie den daraus hergestellten Wurst- und Fleischwaren dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die PFAA-Konzentrationen in Leber, Rücken- und Bauchmuskelfleisch in den Gehalten der Verarbeitungsprodukte Leberwurst, Salami und Lyoner widerspiegeln. So führte die sehr hohe Konzentration an PFAAs in der Leber (2077 $\mu\text{g}/\text{kg}$ FM) trotz des verhältnismäßig geringen Anteils an Leber im Produkt (13,5 %) zu den insgesamt höchsten Gehalten von 366 μg PFAA/kg Leberwurst. Neben der Höhe der Konzentration an PFAAs im Ausgangsprodukt hatte auch die eingesetzte Menge des kontaminierten Fleisches in Salami und Lyoner einen Einfluss auf die Höhe der PFAA-Konzentration in den Verarbeitungsprodukten (138 und 61 $\mu\text{g}/\text{kg}$ FM). In der Salami war zusätzlich nach dem Räuchern proportional zum Wasserverlust (37-45 %) eine Zunahme der PFAA-Konzentration erkennbar. Interessanterweise konnte dieser Effekt bei der Zubereitung des Bratens, trotz des Masseverlusts von 34 % nach 1,5-stündigem Backen im Ofen bei 200 °C nicht beobachtet werden. Der Vergleich der kalkulatorisch ermittelten PFAA-Gehalte mit den im Labor ermittelten Analysewerten im Braten wies stattdessen auf einen Verlust an PFAAs um den Faktor 0,7 hin. Bei einem Siedepunkt von 192 °C für PFOA (EFSA, 2008) und der Annahme niedrigerer Werte für kürzerkettige Verbindungen kann vermutet werden, dass bei einer Backtemperatur von 200 °C eine Sublimation von Perfluoralkylcarbonsäuren stattgefunden hat. Diese Hypothese lässt sich jedoch nicht mit dem experimentell ermittelten Siedepunkt für PFOS von 313 °C (Royal Society of Chemistry, 2013) bestätigen. Zur Klärung dieses Effekts sind daher weitere Untersuchungen notwendig.

4. Diskussion und Schlussfolgerung

Anhand der Ergebnisse lässt sich ableiten, dass bei Aufwuchs auf PFAA-kontaminierten Böden Futtermittel entstehen, die bei Verfütterung an Mastschweine

eine Akkumulation von PFAAs im Tier und in den daraus gewonnenen tierischen Lebensmitteln bedingen. Weder die technischen Prozesse bei der Mischfutterherstellung noch die technologische Be- und Verarbeitung des Schweinefleisches bzw. dessen Verarbeitungsprodukte hatten einen Einfluss auf die PFAA-Konzentrationen im Futtermittel bzw. in den Verarbeitungsprodukten. Insgesamt wiesen die Perfluoralkylsulfonsäuren PFBS (C_4), PFHxS (C_6) und PFOS (C_8) sowie die Perfluoralkylcarbonsäure PFOA (C_8) das höchste relative Akkumulationspotential entlang der Nahrungskette auf. Bei Verzehr von Wurst- und Fleischwaren, die von Tieren stammten, deren Futtermittel PFAAs enthielten, ist daher für diese Verbindungen die höchste Exposition zu erwarten.

Um den Verbraucher vor der alimentären Aufnahme gesundheitlich bedenklicher Mengen von PFAAs zu schützen, hat die EFSA im Jahre 2008 einen Wert für die lebenslang tolerierbare tägliche Aufnahme (TDI) für die toxikologisch am besten charakterisierten Verbindungen PFOS und PFOA von $0,15 \mu\text{g}$ und $1,5 \mu\text{g}$ pro kg Körpergewicht festgelegt (EFSA, 2008).

Unter der Annahme mittlerer Gehalte von $26,1 \mu\text{g}$ PFOS/kg in Fleisch sowie $84 \mu\text{g}$ PFOS/kg in Wurstwaren und eines durchschnittlichen Verzehrs von jeweils 33 g Fleisch/Tag und 46 g Wurst/Tag (NVS II) würden Verbraucher insgesamt $4,7 \mu\text{g}$ PFOS pro Tag aufnehmen. Damit wäre der TDI für PFOS durch Fleisch und Wurstwaren bei einer Person mit 70 kg Körpergewicht zu 44 % ausgeschöpft. Bei Annahme maximaler Gehalte von $257,6 \mu\text{g}$ PFOS/kg in der Wurstware wäre der TDI dieser Person mit einer Gesamtaufnahme von $12,6 \mu\text{g}$ PFOS sogar zu 120 % ausgeschöpft und damit überschritten. Bei langfristigem Verzehr von Fleisch und Wurstwaren mit PFAA-Gehalten, wie sie im vorliegenden Fütterungsversuch an Mastschweinen ermittelt wurden, könnte die Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines gesundheitlichen Risikos für den Verbraucher nicht ausgeschlossen werden. Dies wäre der Fall sowohl bei mittleren PFOS-Gehalten – insbesondere bei Berücksichtigung zusätzlicher Exposition über andere Lebensmittel und/oder Eintragsquellen – als auch bei dem Verzehr von Lebensmitteln mit den maximal im Versuch ermittelten PFOS-Gehalten. Im Gegensatz dazu würde die tolerierbare Aufnahmemenge von PFOA bei mittleren Gehalten von $5,4 \mu\text{g}$ PFOA/kg Fleisch und $10,2 \mu\text{g}$ PFOA/kg Wurstwaren bei einem Verzehr von insgesamt 78 g Fleisch und Wurst pro Tag nur zu einem Prozentsatz von 0,6 % ausgeschöpft werden. Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines gesundheitlichen Risikos für den Verbraucher infolge des Verzehrs solcher Fleisch- und Wurstwaren wäre unwahrscheinlich. Für die anderen perfluorierten

Verbindungen außer PFOS und PFOA wurden bis heute noch keine gesundheitsbezogenen Referenzwerte (TDI) abgeleitet. Ein Grund dafür ist, dass für die Festlegung von TDI-Werten für PFAAs anderer Kettenlängen als PFOS und PFOA bislang notwendige Kenntnisse zu Toxikologie und Toxikokinetik im Organismus fehlen.

Anhand der im Fütterungsversuch an Mastschweinen erhobenen Daten konnte exemplarisch dargestellt werden, dass Kontaminationen der Umwelt zu einer Anreicherung von PFAAs in Lebensmitteln tierischen Ursprungs führen, die ein potentiell gesundheitliches Risiko für den Verbraucher darstellen können. Es ist anzunehmen, dass durch eine verstärkte Verwendung kurzkettiger perfluorierter Verbindungen in der Industrie PFAAs mit kurzer Kettenlänge ($< C_8$) zukünftig häufiger detektiert werden. Für die frühzeitige Erfassung des Auftretens anderer Kettenlängen als PFOS und PFOA in Lebensmitteln wäre z. B. das Lebensmittelmonitoring geeignet. Parallel dazu ist neben den Untersuchungen zur Toxikologie und Toxikokinetik von PFOS und PFOA auch die intensive Beschäftigung mit PFAAs anderer Kettenlängen erforderlich, damit das von den kurzkettigen PFAA-Verbindungen resultierende potentielle gesundheitliche Risiko für den Menschen auch bewertet werden kann.

5. Literaturangaben

- Branscheid, W., Honikel, K.O., von Lengerken, G., Troeger, K., 2007: In Qualität von Fleisch und Fleischwaren Band 1, 2. Auflage, Deutscher Verlag: Frankfurter am Main.
- Buck, R.C., Franklin, J., Berger, U., Conder, J.M., Cousin, I.T., deVoogt, P., Jensen, A.A., Kannan, K., Mabury, S.A., van Leeuwen, S.P.J., 2011: Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Environment: Terminology, Classification, and Origins. *Integrated Environmental Assessment and Management* 2001(7), 513-541.
- European Food Safety Authority (EFSA) 2008: Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain (Question No EFSA-Q-2004-163). Adopted on 21 February 2008, *The EFSA Journal*, 653, 1-131.

- Fromme, H., Tittlemier, S.A., Völkel, W., Wilhelm, M., Twardella, D., 2009: Perfluorinated compounds – Exposure assessment for the general population in western countries. *Int J Hyg Environ Health* 212, 239-270.
- Giesy, J.P., Kannan, K., 2001: Global distribution of perfluorooctane sulfonate in wildlife. *Environ Sci Technol* 35, 1339-1342.
- Kowalczyk, J., Ehlers, S., Oberhausen, A., Tischer, M., Fürst, P., Schafft, H., Lahrsen-Wiederholt, M., 2013: Absorption, distribution, and milk secretion of the perfluoroalkyl acids PFBS, PFHxS, PFOS, and PFOA by dairy cows fed naturally contaminated feed. *J. Agric. Food Chem.* 61, 2903-2912.
- Nationale Verzehrsstudie (NVS) II, 2008: Ergebnisbericht Teil 2. Die bundesweite Befragung zur Ernährung von Jugendlichen und Erwachsenen. Karlsruhe, 2008b. Hrsg. Max Rubner-Institut Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/NVS_ErgebnisberichtTeil2.pdf?__blob=publicationFile (Abrufdatum 09.10.2013)
- Olsen, G.W., Chang, S-C., Noker, P.E., Gorman, G.S., Ehresman, D.J., Lieder, P.H., Butenhoff, J.L., 2009: A comparison of the pharmacokinetics of perfluorobutanesulfonate (PFBS) in rats, monkeys, and humans. *Toxicology* 256, 65-74.
- Royal Society of Chemistry, 2013: ChemSpider Search and share chemistry. ChemSpider ID: 67068 <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.67068.html> (Abrufdatum 09.10.2013).
- Stahl, T., Heyn, J., Thiele, H., Hüther, J., Failing, K., Georgii, S., Brunn, H., 2009: Carryover of perfluorooctanoic acid (PFOS) and Perfluorooctane sulfonate (PFOS) from soil to plants. *Arch Environ Contam Toxicol* 57, 289-298.
- UNEP, 2009: International Workshop on Managing Perfluorinated Chemicals and Transitioning to Safer Alternatives. 12-13 February 2009, Geneva, Switzerland http://www.chem.unep.ch/unepsaicm/cheminprod_dec08/PFCWorkshop/documents/Workshop%20Summary%2002.25.09.pdf (Abrufdatum: 07.10.2013).
- US EPA, 2013: 2010/2015 PFOA Stewardship Program. <http://www.epa.gov/oppt/pfoa/pubs/stewardship/index.html> (Abrufdatum: 07.10.2013).
- Vestergren, R., Cousin, I.T., 2009: Tracking pathways of human exposure to perfluorinated carboxylates. *Environ Sci Technol* 43, 5565-5575.
- Zhao, L., Zhu, L., Yang, L., Liu, Z., Zhang, Y., 2012: Distribution and desorption compounds in fractionated sediments. *Chemosphere* 88, 1390-1397.

Veränderungen der Schimmelpilz- und Bakterienflora von Getreide und Stroh in den letzten Jahrzehnten

G. Strauß

LUFA Speyer, Speyer

1. Einleitung

Getreide und Getreideprodukte wie Stroh haben in der Nutztierhaltung seit jeher die Bedeutung von unentbehrlichen Futtermitteln gehabt. Insbesondere für die heutige Hochleistungslandwirtschaft sind qualitativ angemessene Futtermittel unabdingbar. Ein entscheidendes und in seiner Tragweite nicht zu unterschätzendes Qualitätskriterium von Einzel- und Mischfuttermitteln ist die mikrobiologische Belastung mit Mikroorganismen. Bakterien, Hefen, Schimmel- und Schwärzepilze können als Verderb auslöser, Infektionserreger oder aber als gefürchtete Toxinproduzenten zu erheblichen Ertragseinbußen führen. Schon früh wurde auf die immense Bedeutung der Qualität von Getreide hingewiesen, was auch zu einer erheblichen Optimierung im Anbau, bei der Ernte und der Lagerung geführt hat. Dies kann durch Untersuchungsdaten von Getreide und Stroh, die an der LUFA Speyer mehr als ein halbes Jahrhundert zurückreichen, eindrucksvoll belegt werden.

Insbesondere Schimmelpilze können auf Getreide und Stroh eine Vielzahl von Mykotoxinen produzieren, die neben gravierenden wirtschaftlichen Einbußen zu nicht unerheblichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen bei Mensch und Tier führen können.

2. Material und Methoden

In der Vergleichsuntersuchung wurden repräsentative Getreideproben (Weizen, Gerste, Hafer, jeweils ca. 30 Proben) aus den Erntejahren 2009 bis 2011 untersucht. Die Keimgehalte bzw. die Häufigkeiten von ausgewählten Mikroorganismen wurden mit Daten früherer Untersuchungen der LUFA Speyer von 1965 bis 1980 verglichen (Schmidt, 1981). Für die Bewertung wurden die Mikroorganismen ausgezählt, verschiedenen Gruppen zugeordnet und die mikrobiolo-

logische Qualität durch das VDLUFA-Bewertungssystem bestimmt (VDLUFA, 2012).

Zur Vergleichbarkeit der aktuellen Daten wurden für ausgewählte Mikroorganismen die Mengen der Proben bestimmt, die mehr als 50 000 KBE/g einer bestimmten Gattung oder Art enthielten.

Bei den Strohproben handelte es sich in den Jahren 2011 und 2000 um Proben aus der Praxis (jeweils ca. 30 Proben), die fachkundig im Rahmen einer Status-Erhebung in Rheinland-Pfalz in Zusammenarbeit mit dem Dienstleistungszentrum ländlicher Raum und dem Ministerium für Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten untersucht wurden. Die Daten zu Strohuntersuchungen aus den Jahren vor 1990 sind als unveröffentlichte Labordaten vorhanden (Unterlagen Dr. H.-L. Schmidt, „Schmidt-Tabellen“).

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Getreidequalitäten

Gerade das Erntejahr 2011 war durch die extremen Wetterbedingungen mit einem sehr trockenen Frühjahr sowie dem Wechsel von warmen und nasskalten Witterungsabschnitten im Sommer für den Anbau von Getreide schwierig und führte zu messbaren Qualitäts- und Ertragseinbußen. Im Hinblick auf die mikrobiologische Qualität existierte beim Getreide ein entsprechend hoher Befallsdruck durch feldbürtige Hefen, Schimmel- und Schwärzepilze, was sich im Keimgehalt widerspiegeln sollte. Insbesondere bei der Verarbeitung von belasteten Getreidepartien zu wirtschaftseigenen Mischfuttermitteln waren entsprechende Probleme im Tierbestand nicht auszuschließen: Schimmelpilz können unter bestimmten Bedingungen Giftstoffe (Mykotoxine) freisetzen oder neben Bakterien als Infektionserreger bei Tieren Krankheiten verursachen.

Hier stellt sich natürlich die Frage, wie die generelle mikrobiologische Qualität über einen längeren Zeitraum sich verändert hat und welche Schlussfolgerungen daraus gezogen werden können.

Der Vergleich der Keimzahlbestimmungen aus den Jahren 2009 bis 2011 mit Daten aus den 60er bis 80er Jahren des letzten Jahrhunderts zeigen aufschlussreiche Entwicklungen: Die Verteilung der Keimzahlen an Bakterien, Hefen,

Schimmel- und Schwärzepilzen weist bei den einzelnen Kornarten Unterschiede auf; die Keimbelastung und das Keimspektrum ist bei Hafer umfangreicher als bei Gerste oder Weizen. Dies deckt sich mit den Feststellungen von Dr. Hans-Ludwig Schmidt, der sich von 1957-1990 an der LUFA Speyer intensiv mit der Mikroflora von Getreide beschäftigt hat.

Bestimmt man die Anzahl der Proben, die vorgegebene Keimgehalte überschreiten, so können interessante Vergleiche angestellt und Entwicklungen erkannt werden. Die Zahlen in Tabelle 1 geben an, wie viel Prozent der untersuchten Getreideproben mehr als 50 Tausend bzw. 5 Tausend Pilze einer bestimmten Art enthielten.

Die durchgeführten Untersuchungen dokumentieren, dass sich die Keimzahlbelastung bei wirtschaftseigenem Getreide in den vergangenen Jahrzehnten erkennbar verbessert hat. Aspergillen – typische Indikatoren eines Lagerbefalls – spielen in wirtschaftseigenem Getreide im Gegensatz zu früheren Jahrzehnten keine herausragende Rolle mehr. Die Bedeutung der Penicillien sowie der Fusarien, die ebenso wie die Aspergillen gefürchtete Mykotoxinbildner sind, hat in der Summe ebenfalls abgenommen, wenngleich sie in mehr oder weniger vielen Proben noch vorhanden sind. Auch die Belastung mit *Mucor/Rhizopus*-Arten hat deutlich abgenommen – Schimmelpilzen, die auf zu hohe Wassergehalte hindeuten.

Der Keimbesatz mit typischen Feldpilzen wie *Alternaria/Epicoccum/ Cladosporium*-Arten und Hefen reduzierte sich dagegen weniger auffällig und lag teilweise über den Werten, die von Dr. Schmidt in den letzten Jahrzehnten gefundenen Werten. Auffällig ist auch, dass Schimmelpilze der Gattung *Acremonium* in vielen Proben mit hohen Keimgehalten nachweisbar waren. Dies deckt sich mit aktuellen Untersuchungen, die bei Stroh durchgeführt wurden.

Die gängige Mykotoxin-Analytik auf so genannte Leit-Toxine zur Bewertung des Hygienestatus sollte überdacht und angepasst werden. Tatsächliche mikrobiologische Belastungen und Gefährdungen werden dadurch möglicherweise nicht erkannt. Aspergillen sind praktisch nur noch in Ausnahmefällen vorhanden: die Analyse des Mykotoxins Ochratoxin A ist daher im Wesentlichen in begründeten Schadensfällen sinnvoll, da es vorzugsweise von *Aspergillus ochraceus* gebildet. Dieser gefährliche Schimmelpilz ist aus wirtschaftseigenem Getreide praktisch verschwunden.

Tab. 1: Häufigkeiten einiger Pilze bei ausgewählten Getreidearten: Angegeben sind die Anzahl der Proben (%) der Erntejahre 2009-2011, in denen mehr als 50 Tausend bzw. 5 Tausend Schimmelpilze nachgewiesen werden konnten; die Zahlen stehen im Vergleich zu Untersuchungen der LUFA Speyer aus den Jahren 1965-1980. n = Probenanzahl, KBE/g = Kolonie-bildende Einheiten pro Gramm, k. A. = keine Angaben, + = Häufigkeiten unter 5 %, - = jeweiliger Pilz nicht nachweisbar

	Weizen			Gerste			Hafer		
	1965-1980	2009/10/11 (n=24)		1965-1980	2009/10/11 (n=30)		1965-1980	2009/10/11 (n=27)	
	>50 Tsd. KBE/g	>50 Tsd. KBE/g	>5 Tsd. KBE/g	>50 Tsd. KBE/g	>50 Tsd. KBE/g	>5 Tsd. KBE/g	>50 Tsd. KBE/g	>50 Tsd. KBE/g	>5 Tsd. KBE/g
<i>Alternaria/Epicoccum/Cladosporium</i> -Arten	38,0	8,7	31,3	40,6	16,7	40,0	70,9	53,5	67,8
<i>Fusarium</i> spp.	14,3	-	-	12,5	-	10,0	16,4	12,1	27,1
<i>Verticillium</i> spp.	+	-	-	-	-	-	14,5	1,8	1,8
<i>Acremonium</i> spp.	k. A.	-	8,7	k. A.	6,7	20,0	k. A.	46,2	61,8
Hefen	38,0	10,9	46,6	31,2	40,0	80,0	63,6	70,8	81,5
<i>Penicillium</i> spp.	57,1	-	6,1	81,2	-	3,3	60,0	13,2	18,0
<i>Aspergillus</i> spp.:		6,1	6,1		3,3	10,0		4,8	-
- <i>A. candidus</i>	33,3	-	-	59,4	-	-	30,9	-	-
- <i>A. flavus</i>	14,3	-	-	18,7	-	-	12,7	-	-
- <i>A. fumigatus</i>	9,5	-	-	9,4	-	-	14,5	-	-
- <i>A. ochraceus</i>	+	-	-	6,2	-	-	+	-	-
A-Glaucus-Gruppe	-	4,2	8,3	15,6	3,3	6,7	18,1	16,8	21,6
<i>Mucor/Rhizopus</i> -Arten	9,5	-	6,1	15,6	-	-	9,0	-	-
Sonstige	k. A.	-	15,7	k. A.	-	10,0	k. A.	15,5	31,1
<i>Wallemia</i> spp.	k. A.	4,8	8,9	k. A.	-	-	k. A.	4,8	8,5
<i>Aureobasidium</i> spp.,									
<i>Scopulariopsis</i> spp.,	k. A.	-	-	k. A.	-	-	k. A.	-	-
<i>Geotrichum</i> spp.									

Die Häufigkeit und die Keimzahlbelastung von Getreide mit Fusarien hat sich signifikant verringert: die Bestimmung der klassischen Leit-Toxine Deoxyniva-

lenol bzw. Zearalenon ist dennoch in vielen Fällen auch weiterhin hilfreich. Bei Getreide, Maissilagen, Maiskörnern und dessen Verarbeitungsprodukten treten immer wieder erhöhte Mykotoxinwerte auf. Wie die Praxis zeigt, können schon wenige Schimmelpilze unter Umständen beträchtliche Mengen an Giftstoffen produzieren. Durch die Ergebnisse wird deutlich, dass sich die Keimzahl stark verringert hat, die einzelnen Proben aber häufig noch mit Fusarien belastet sind.

Die Ergebnisse zeigen für verschiedene Getreidearten eindrucksvoll eine veränderte Situation, die eine Neugewichtung bzw. Neuausrichtung sinnvoll erscheinen lassen: Schwärzepilze, Hefen und andere Schimmelpilze haben an Bedeutung gewonnen. Hier eignet sich insbesondere die klassische mikrobiologische Keimzahlbestimmung zur Abschätzung der Verfütterbarkeit und des Hygienestatus. Viele dieser Schimmelpilze produzieren schädliche Stoffwechselprodukte: Weit über 500 verschiedene Mykotoxine sind bis heute bekannt. In vielen Fällen existiert noch keine oder nur eine unzureichende Routine-Diagnostik, so dass nur über die Bestimmung der Mikroorganismen die Abschätzung einer Gefährdung möglich ist.

3.2 Strohqualitäten

Auch das Stroh blieb im Erntejahr 2011 vom Schimmelbefall nicht verschont, was bei vielen Landwirten für Unbehagen sorgte: wie war die Qualität zu bewerten und welche Auswirkungen waren für den Tierbestand zu erwarten? Für eine Zustandserfassung wurden 32 repräsentative Strohproben hinsichtlich der Anwesenheit ausgewählter Leit-Mykotoxine (Schimmelpilzgifte) sowie der mikrobiologischen Qualität an der LUFA Speyer untersucht. Ein Fazit war, dass zwischen mikrobiologischer Qualität und Mykotoxin-Konzentration keine Korrelation festgestellt werden konnte. Die Auswertung der Keimzahlen ergab, dass 84 % der Strohproben als verdorbene Qualität in Qualitätsstufe 4 einzuordnen waren.

Da die Anwesenheit von Mikroorganismen nur in seltenen Fällen sich im Gehalt von Mykotoxinen widerspiegelt, war dieses Ergebnis zu erwarten. Krankheiten verursachende Mikroorganismen wie Staphylokokken, Salmonellen, Hefen, bestimmte Schimmelpilze bzw. Mikroorganismen generell werden durch Bestimmung der gängigen Leit-Mykotoxine nicht erfasst. Schimmelpilzgifte werden zudem oft nur unter bestimmten, z. T. noch nicht geklärten Umweltbedingungen (z. B. Temperatur, Licht, Substrateigenschaften) gebildet.

Tab.2: Übersicht über die im Erntejahr 2011 in Strohproben gefundenen Bakterien, Hefen, Schimmel- und Schwärzepilzen. Angegeben sind die belasteten Proben (%) sowie der durchschnittliche Keimgehalt der jeweiligen Indikatorkeime als Kolonie-bildenden Einheiten pro Gramm (KBE/g).

Keimgruppe/Indikatorkeime	Belastete Probenzahl	Mittlerer Keimzahlwert (KBE/g)	Median (KBE/g)
produkttypische Bakterien (KG1)			
Gelbkeime	77%	56.400.000	31.000.000
Pseudomonaden	97%	108.000.000	48.100.000
Enterobakterien	100%	836.000.000	795.000.000
coryneforme Bakterien	87%	118.000.000	87.600.000
verderbanzeigende Bakterien (KG2)			
<i>Bacillus spp.</i>	17%	4.400.000	-
Staphylokokken/Mikrokokken	0%	-	-
Streptomyceten (KG3)	17%	1.400.000	-
produkttypische Schimmelpilze (KG4)			
Schwärzepilze	93%	4.470.265	1.960.000
Fusarien	87%	151.525	93.600
nicht fruktizierende	70%	338.676	128.800
<i>Verticillium spp.</i>	7%	34.333	-
<i>Acremonium spp.</i>	83%	2.836.563	377.000
verderbanzeigende Schimmelpilze (KG5)			
Aspergillus - Glaucus - Gruppe	27%	1.041.442	-
<i>Aspergillus spp.</i>	7%	42.000	-
<i>Penicillium spp.</i>	10%	21.577	-
<i>Wallemia spp.</i>	17%	167.269	-
Mucoraceen (KG6)	3%	8	-
Hefen (KG7)	93%	10.257.671	6.012.500

Der hygienische Zustand eines Futtermittels ist damit das entscheidende Qualitätskriterium. Mikrobiologischen Belastungen in Futtermitteln sind Mängel und können konkret folgende Auswirkungen haben:

- Verminderung des Futterwertes
- Geschmackliche Beeinträchtigungen

- Haltbarkeit
- Krankheiten
- Anhäufung von Toxinen

Aus diesem Grund ist eine differenzierte Betrachtung der vorgefundenen Mikroorganismen hinsichtlich der mikrobiologischen Qualitätsbewertung (Abb. 2) umso wichtiger – gerade im Hinblick der sich daraus ergebenden Gefährdungsabschätzung für die Anwender.

Der Vergleich der Daten aus den Jahren 2011, 2000 und den Untersuchungen von Schmidt aus den Jahren von vor 1990 ergaben eindeutige Unterschiede hinsichtlich der mikrobiologischen Belastung. Vorzugsweise waren auf Stroh in der Studie produkttypische Mikroorganismen nachweisbar (Tab. 3).

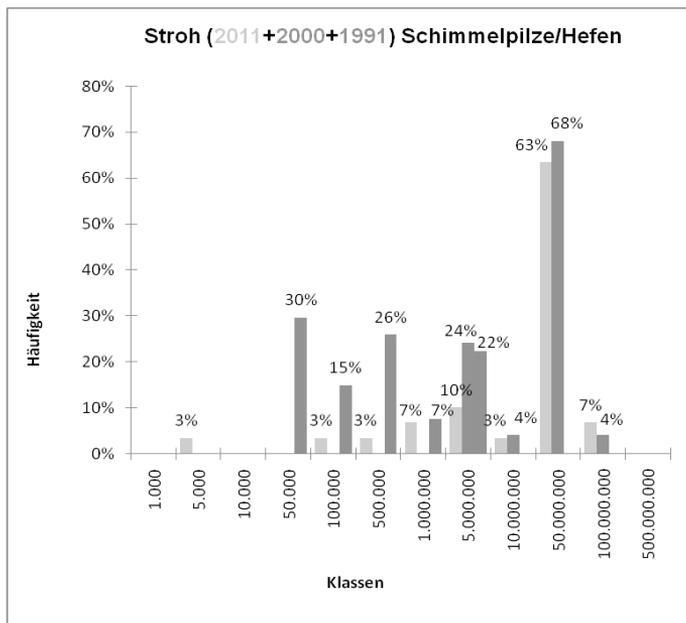


Abb. 1: Vergleich der Keimverteilung in Strohproben. Untersuchungen vor 1991 ergaben eine signifikante niedrigere Belastung mit Schimmelpilzen und Hefen.

Vergleicht man die Daten aus 2011 mit Untersuchungsergebnissen aus dem Jahr 2000 und früheren Erhebungen (1960 bis 1990), so stellt man eine signifi-

kante Zunahme der Keimgehalte fest (Abb. 1). Während bei Schmidt die meisten Proben (30 %) einen Keimgehalt zwischen 10 000 bis 50 000 KBE/g aufwiesen, hatte in neueren Untersuchungen die Mehrzahl der Proben einen Keimgehalt zwischen 10 000 000 bis 50 000 000 KBE/g. Der Keimgehalt hatte sich dementsprechend vervielfacht.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Trend zu erhöhten Keimzahlen in Strohproben anhält. In Vergleichsuntersuchungen der letzten Jahrzehnte an der LUFA Speyer hatte sich herausgestellt, dass hier die Keimgehalte an Bakterien, Hefen, Schimmel- und Schwärzepilzen bei manchen Keimgruppen um mehr als das Zehnfache zugenommen hatte. Die hygienische Qualität hat sich – wie auch bei Heu – merklich verschlechtert. Hier wirken sich offenbar verschiedene Faktoren im Anbau, der Ernte sowie der Lagerung negativ aus. Dies gilt es bei der Verwendung von Stroh in der Tierhaltung zu berücksichtigen.

Wie die Untersuchungen der letzten Erntejahre zeigen, fand hier im Mikrokosmos, den die Pflanze umgibt, unbemerkt eine beachtenswerte Veränderung der Mykoflora statt, deren konkrete Ursachen und genauer Umfang noch unbekannt sind. Zum jetzigen Zeitpunkt kann nicht ausgeschlossen werden, dass die hohen Belastungen an opportunistischen Krankheitserregern – wie z. B. Schimmelpilze der Gattung *Acremonium* – einen erhöhten Infektionsdruck im Tierbestand ausüben. Insbesondere die hohe Leistungsorientierung in der modernen Tierhaltung kann hier durch die Beanspruchung des Immunsystems die Anfälligkeit für Infektionen steigern.

Für den Landwirt empfiehlt es sich daher auch in Zukunft bei Anhaltspunkten für eine Kontamination mit Mikroorganismen, sich durch Analysen abzusichern, sich fachlich beraten zu lassen und angemessene Maßnahmen zu ergreifen.

4. Literaturangaben

Schmidt, H.-L., 1981: Die Mikroflora des Getreides als Qualitätsfaktor von Futtermitteln. *Swiss food* 3, 45-49.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Methode 28.1.2, Keimgehalte an Bakterien, Hefen, Schimmel- und Schwärzepilzen. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Untersuchungen zum Carry over von Eisen aus mit Eisen kontaminierter Grassilage in ausgewählte Körpergewebe von Ziegen sowie in Lebensmittel tierischen Ursprungs

M. Spolders¹, A. Benkmann², A. Simon², O. Steinhöfel³, B. Fröhlich³, J. Zentek⁴, H. Schafft¹, M. Lahrssen-Wiederholt¹

¹Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Abteilung Sicherheit in der Nahrungskette, Berlin, ²Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Department für Tierwissenschaften, Humboldt Universität Berlin, ³Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Köllitsch, ⁴Freie Universität, Fachbereich Veterinärmedizin, Institut für Tierernährung, Berlin

1. Einleitung

Eisen ist für Mensch und Tier ein essentielles Spurenelement, welches im Körper fast ausschließlich an Proteine gebunden vorliegt. Eisen ist wesentlicher Bestandteil des Blutfarbstoffs Hämoglobin (60 % des Eisens) und des Muskelarbstoffs Myoglobin (8 %). Nicht direkt für funktionelle Proteine genutztes Eisen wird überwiegend als Ferritin im Körper, insbesondere in der Leber, gespeichert, neben Ferritin auch als Hämosiderin (zusammen etwa 20 %).

Aufgrund seiner multiplen Oxidationsstufen (Fe^{2+} , Fe^{3+}) ist Eisen bedeutsam für zahlreiche Metalloenzyme (Hentze et al., 2004), die im Organismus für Redoxprozesse benötigt werden (Forth, 1987), sowie ein Bestandteil der Elektronenübertragung in der mitochondrialen Atmungskette sind (Ekmekcioglu, 2000).

Die empfohlene Zufuhr für Eisen liegt für Ziegen bei 40-50 mg Eisen/kg Futter-T (GfE, 2003) und für Milchkühe bei 50 mg Eisen/kg Futter-T (GfE, 2001). Die Absorption von Fe^{2+} erfolgt im Dünndarm über den „Divalent metal transporter 1“ (DMT1) in den Enterozyten.

Berichte aus der landwirtschaftlichen Praxis weisen auf das Vorkommen sehr hoher Eisengehalte (bis zu 1200 mg/kg T) vor allem in Grassilagen z. B. durch Verunreinigungen mit Erde hin. Diese liegen deutlich oberhalb der futtermittelrechtlichen Höchstgehalte für Eisen (750 mg/kg), die bei Verwendung von Eisen als Futtermittelzusatzstoff einzuhalten sind. Aus *in vitro*-Untersuchungen (Han-

sen und Spears, 2009) gibt es Hinweise, dass durch das Ansäuern beim Silierprozess unlösliches Eisen (Fe^{3+}) in lösliche Eisenverbindungen (Fe^{2+}) überführt wird, welche dann für das Tier besser verfügbar sind. Diese verbesserte Verfügbarkeit von Eisen kann zu einer vermehrten Einlagerung von Eisen im Tier und den von ihm stammenden Lebensmitteln führen und die Verfügbarkeit anderer Spurenelemente für das Tier nachhaltig beeinflussen.

2. Material und Methoden

In einem Fütterungsversuch am BfR mit insgesamt 28 männlichen Ziegenlämmern der Rasse Deutsche Edelziege sollte der Einfluss hoher Eisenaufnahmen auf den Stoffwechsel von Eisen und den Übergang in Lebensmittel tierischer Herkunft untersucht werden. Dabei erhielten die Tiere entweder eine Grassilage, die bereits vor dem Silierprozess mit Erde kontaminiert wurde (Gruppe B), oder aber eine frisch vor der Verfütterung mit Erde kontaminierte Grassilage (Gruppe C). Eine weitere Gruppe (Gruppe A) diente als Kontrolle und erhielt eine Grassilage ohne Erdkontamination. Jede Gruppe bestand aus 8 Tieren, 4 weitere Tiere dienten als Ausgangstiere und wurden vor Beginn des Fütterungsversuchs geschlachtet. Die Aufstallung der Tiere erfolgte mit 2 Tieren pro Bucht, so dass eine Erfassung der Futteraufnahme jeweils für zwei Tiere zusammen möglich war. Die Grassilage wurde den Tieren einmal täglich zur freien Aufnahme vorgelegt. Am Ende der 84-tägigen Fütterungsphase wurden alle 24 Tiere geschlachtet.

Täglich wurde eine Probe der verfütterten Grassilage genommen, diese zu einer Sammelprobe pro Versuchsgruppe zusammengeführt und bis zur Analyse tief gefroren. Evtl. Futterrückwaagen wurden täglich erfasst, einmal wöchentlich wurden die Lebendmasse aller Tiere erfasst. Bei der Schlachtung wurden Proben von Leber, Nieren, Muskulatur und Darmwand gewonnen.

Die Bestimmung der Spurenelementgehalte (Eisen, Zink, Kupfer und Mangan) in den Futter- und Organproben erfolgte im Labor des Instituts für Tierernährung am Fachbereich Veterinärmedizin an der Freien Universität Berlin mittels Atom-Absorptions-Spektroskopie (AAS).

3. Ergebnisse

In Tabelle 1 sind zunächst die Gehalte an Rohasche sowie der Spurenelemente Eisen, Kupfer, Zink und Mangan in den verfütterten Grassilagen dargestellt.

Tab. 1: Gehalte an Rohasche, Eisen, Zink, Kupfer und Mangan in den Futterrationen

	Rohasche (g/kg T)	Eisen (mg/kg T)	Zink (mg/kg T)	Kupfer (mg/kg T)	Mangan (mg/kg T)
Gruppe A	114,2	332,3	26,0	7,3	24,4
Gruppe B	148,7	1 628,0	28,9	7,9	55,2
Gruppe C	163,9	1 961,0	39,8	8,3	65,9

Der höhere Rohaschegehalt der Grassilagen in den Gruppen B und C resultiert aus der Erdbeimengung. Neben einem höheren Eisengehalt in den Grassilagen der Gruppen B und C war auch der Gehalt an Mangan höher, während sich die Gehalte an Zink und Kupfer zwischen den Grassilagen kaum unterschieden. Während die Eisengehalte aller drei Grassilagen deutlich oberhalb der Versorgungsempfehlungen der GfE (2003) lagen, waren die Gehalte an Zink, Kupfer und Mangan niedriger als die empfohlene Zufuhr.

Die Futteraufnahme der Tiere betrug 2546 g/Tier (Gruppe A), 1901 g/Tier (Gruppe B) und 2443 g/Tier (Gruppe C). Durch die tendenziell verminderte Futteraufnahme der Tiere in Gruppe B war die Eisenaufnahme der Tiere in dieser Gruppe deutlich niedriger (1543 mg/Tier) als die Eisenaufnahme der Tiere in Gruppe C (2396 mg/Tier). Die Eisenaufnahme der Kontrolltiere (Gruppe A) betrug 423 mg/Tier.

In Abbildung 1 sind die mittleren Eisengehalte in den Lebern der Ziegen dargestellt. Der Eisengehalt in der Leber der Tiere in Gruppe B, die eine Grassilage erhielten, die bereits vor der Silierung mit Erde kontaminiert wurde, war signifikant höher ($573,9 \pm 149,5$ mg/kg T) im Vergleich zu den Kontrolltieren ($297,6 \pm 60,6$ mg/kg T; Gruppe A) und tendenziell höher im Vergleich zu den Tieren der Gruppe C ($425,5 \pm 182,0$ mg/kg T), die eine Grassilage erhielten, die erst unmittelbar vor der Verfütterung mit Erde kontaminiert wurde. Obwohl die Eisenaufnahme der Tiere in Gruppe C am höchsten war, lagen die Eisengehalte in der Leber dieser Tiere unterhalb der Eisengehalte der Lebern der Tiere in Gruppe B.

Dies deutet auf eine möglicherweise bessere Verfügbarkeit des Eisens durch den erfolgten Silierprozess in Gruppe B hin.

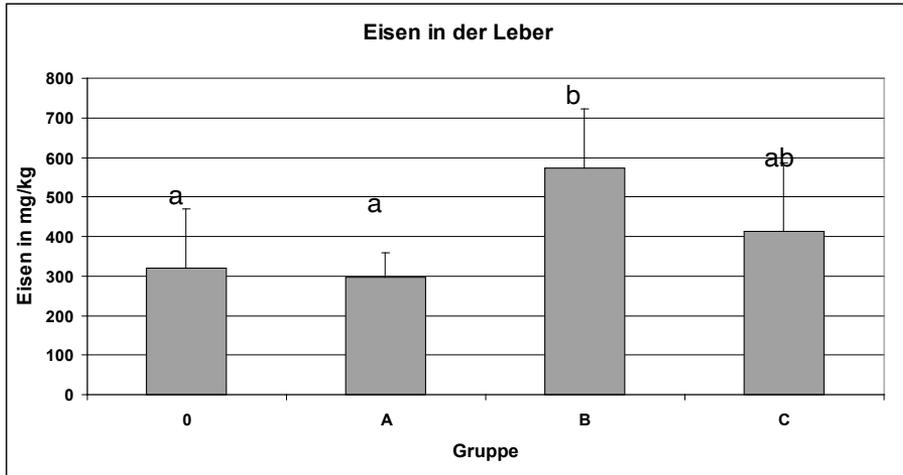


Abb. 1: Mittlere Eisengehalte in den Lebern ($a < b$; $p < 0,05$)

Neben der Leber zeigten sich diese Effekte auch in den Nieren, der Darmwand und dem *M. glutaesus* (Tab. 2). Lediglich im *M. long. dorsi* waren diese Effekte nicht zu beobachten. Eine Erklärung für die Unterschiede zwischen den beiden Muskeln gibt es derzeit noch nicht.

Tab. 2: Mittlere Eisengehalte (mg/kg T) in Muskulatur, Nieren und Darmwand bei der Schlachtung

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
<i>M. long. dorsi</i>	40,2±11,3	35,9±12,1	39,0±2,0
<i>M. glutaesus</i>	39,4 ^a ±6,0	56,6 ^b ±10,2	43,9 ^a ±11,6
Nieren	193,3 ^a ±27,5	289,8 ^b ±31,9	203,0 ^a ±43,1
Darmwand	87,5 ^a ±20,1	183,9 ^b ±61,2	79,9 ^a ±29,0

$a < b$ (Zeilen); $p < 0,05$

Die höchsten Eisengehalte wurden in den Lebern ermittelt, gefolgt von den Nieren, der Darmwand und der Muskulatur. Die Gehalte der Spurenelemente Kupfer, Zink und Mangan unterschieden sich dagegen in den verschiedenen Organen nicht zwischen den drei Gruppen.

Anhand einer modellhaften Kalkulation (Tab. 3) würde ein Verbraucher seinen täglichen Eisenbedarf durch den Verzehr von Muskelfleisch, welches 40 bzw. 60 mg Eisen/kg aufweist, decken, wenn er 150-750 g Fleisch/Tag verzehren würde. Dabei dürfte es sich um äußerst hohe Aufnahmemengen an Fleisch handeln, die wenig realistisch erscheinen.

Tab. 3: Modellhafte Kalkulation der Eisenaufnahme verschiedener Verbrauchergruppen

	DGE-Empfehlungen für die Eisenzufuhr (mg/Tag)	Erforderliche Verzehrsmenge an Fleisch (g T) zur Bedarfsdeckung	
		40	60
Eisengehalt (mg/kg T)		40	60
Kinder	8-10	200-250	133-167
Jugendliche und Erwachsene	10-15	250-375	167-250
Schwangere und Stillende	20-30	500-750	333-500

4. Zusammenfassung

Hohe Eisengehalte in Grassilagen, die unter anderem durch Erdkontamination hervorgerufen werden können, führen zu einer erhöhten Eisenaufnahme landwirtschaftlicher Nutztiere. Durch den Silierprozess scheint das Eisen in einer für das Tier besser verfügbaren Bindungsform (Fe^{2+}) vorzuliegen, so dass eine erhöhte Eiseneinlagerung in Lebensmittel tierischer Herkunft (Muskel, Leber, Niere) möglich ist. Die durchgeführte Fütterungsstudie mit Ziegen gibt keine Hinweise auf nachteilige Wechselwirkungen des Eisens mit anderen Spurenelementen.

Landwirtschaftliche Nutztiere (insbesondere Wiederkäuer) scheinen gegenüber hohen Eisengehalten in ihrer Ration äußerst tolerant, so dass gesundheitliche Beeinträchtigungen der Tiere durch hohe Eisenaufnahmen wahrscheinlich eher selten zu beobachten sind. Die Eisenaufnahme der Tiere liefert darüber hinaus einen gewissen Beitrag zur Exposition der Verbraucher gegenüber

Eisen. Allerdings bedarf es weiterer Studien zur Übertragbarkeit der vorliegenden Ergebnisse auf andere landwirtschaftliche Nutztiere

5. Literaturangaben

- Ekmekcioglu, C., 2000: Spurenelemente auf dem Weg ins 21. Jahrhundert – zunehmende Bedeutung von Eisen, Kupfer, Selen und Zink. *Journal für Ernährungsmedizin* 2, Verlag für Medizin und Wirtschaft, Gablitz, 18-23.
- Forth, W., 1987: Eisen und Eisenversorgung des Warmblüterorganismus. *Naturwissenschaften* 74(4), Springer-Verlag GmbH, Heidelberg, 175-180.
- GfE, 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (eds.): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere Bd. 8; DLG-Verlag GmbH, Frankfurt a. M., 89-99.
- GfE, 2003: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Ziegen. Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (eds.): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere Bd. 9; DLG-Verlag GmbH, Frankfurt a. M., 83-86.
- Hansen, S.L., Spears, J.W., 2009: Bioaccessibility of iron from soil is increased by silage fermentation. *Journal of Dairy Science* 92, 2896-2905.

Kupfer, Selen und Jod im Mineral- und Mischfutter für Milchkühe – Konzentration und empfohlene Aufnahme

F. Schöne, M. Leiterer

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Spurenelementmangel, Toxizität und Bedarf

Kupfer, Selen und Jod sind lebensnotwendig – ein Fehlen bzw. zu wenig dieser Spurenelemente, besser ihrer Salze oder auch Oxide, vertragen sich nicht mit dem Leben. So leeren jodarme Rationen, besonders in Verbindung mit den Glucosinolaten der Rapsfuttermittel als Jodantagonisten, den Jodspeicher der Schilddrüse und hemmen die Thyroxinsynthese. Schilddrüsenunterfunktion bzw. starker Kropf führen in der Mast zu Wachstumsretardierung, bei trächtigen Tieren zu lebensschwachen Nachkommen bzw. Totgeburten (Schöne et al. 1986). Lebensfeindlich wie ein Mangel kann aber auch ein „Zu Viel“ an bestimmten Spurenelementen sein. Bekannt sind Kupferintoxikationen der Schafe auf kupferreichen Arealen, etwa in Bergbauregionen, durch Aufnahme des Futters und mehr noch der Erde mit den zu hohen, weil die Pansen-Mikroben schädigenden Kupfergehalten (Hennig, 1972) aber auch Selenvergiftungen, die bei allen Nutztierarten vorkommen können. Bei den in Europa überwiegend selenarmen Böden resultieren die äußerst seltenen Selenintoxikationen aus Fehldosierung im Mineral-Vitamin-Prämix. Für Thüringen berichtete Amthor im Mai 2009 zur Internationalen Tagung der Schweinegesundheitsdienste in Dresden über Selenose in einem Ferkelerzeugerbetrieb: Bei nachweislich bis zu 20 mg Se/kg Sauenfutter (entspricht dem etwa 100 fachen der Empfehlung der GFE, 2006) verminderten Zuchtsauen die Futteraufnahme bis zur Futterverweigerung. Sie magerten ab mit struppigem Aussehen bis zum Borstenausfall und zeigten Klauenläsionen mit Entzündungen des Kronsaumes, bis zum Ausschuhlen. Der Anteil totgeborener Ferkel war erhöht mit teils nur aus „Totgeburten“ bestehenden Würfen. Definiert man Versorgungszustände anhand von Gehalten der Spurenelemente in der Futtermischung, so interessieren in der Bedarfsforschung Mindestgehalte oder Gehaltsgrenzen im Futter „nach unten“, deren Einhaltung oder Überschreiten Mangel mit hoher Wahrscheinlichkeit verhindern (Abb. 1). Die Versorgungsempfehlungen der Fachgesellschaften (GfE, 2001) sind nicht für die Deckung lediglich des Minimalbedarfes konzipiert; vielmehr fokussie-

ren sie auf den Optimalbedarf für ein hohes und nicht beeinträchtigt Gesundheits- und Tierleistungsniveau und sie beinhalten Sicherheitszuschläge, die die Bedarfserhöhung etwa durch Rassen- und Haltungseinflüsse kompensieren sollen.

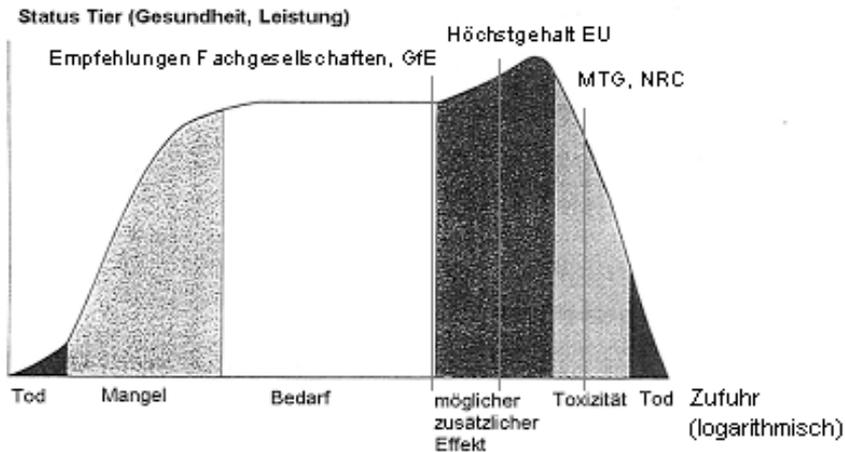


Abb. 1: Essentielle Spurenelemente – Dosis-Wirkungs-Kurve, Abk.: GfE – Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, MTG – Maximal Tolerierbarer Gehalt, NRC – National Research Council

Für den Toxikologen sind Konzentrationsgrenzen „nach oben“ von Interesse: Ein Unterschreiten dieser Maximal Tolerierbaren Gehalte (MTG), definiert vom NRC (2005), schließt eine Schädigung des Tieres bzw. eine Verminderung der Leistung aus. Nach Maßgabe des Gesetzgebers (EU, 2003) soll über die Exkremente bzw. Wirtschaftsdünger die Umwelt nicht über ein vertretbares Maß hinaus belastet werden. Als neuer Gesichtspunkt sind über Höchstgrenzen besonders für Se und Jod im Futter die Spurenelementkonzentrationen in Milch, Fleisch und Eiern so zu steuern, dass für den Verbraucher das Risiko einer Überschreitung von Höchstgehalten in diesen Lebensmitteln ausgeschlossen wird.

Tabelle 1 definiert für Cu, Se und Jod beispielhaft die drei Maßgaben aus Abbildung 1. Zwischen Empfehlung und Höchstgehalt gibt es auch für die jeweils empfindlichste Tierart eine Spanne, wogegen für das Cu im Schaffutter EU Höchstgehalt und MTG fast identisch sind.

Tab. 1: Versorgungsempfehlungen, zulässiger Höchstgehalt und Maximal Tolerierbarer Gehalt (MTG) ausgewählter Spurenelemente in mg/kg Trockenmasse der Gesamtration

	Empfehlung (GfE)	Höchstgehalt ¹⁾ VO-EU, 1334/2003 ²⁾	MTG, empfindlichste Tierart (NRC, 2005)
Kupfer	10	17 (Schaf)	15 (Schaf)
Selen	0,2	0,57 (Milchkühe)	3 (Geflügel)
Jod	0,5	2,3 ³⁾ -11,4 ⁴⁾	5 (Pferd)

¹⁾Umrechnung vom Bezug 88 % Trockenmasse (T) auf T²⁾ und Folgeverordnungen bis 2012³⁾Milchkühe ⁴⁾Masttiere

2. Einzelfuttermittel arm an Selen, Jod und oft auch Kupfer

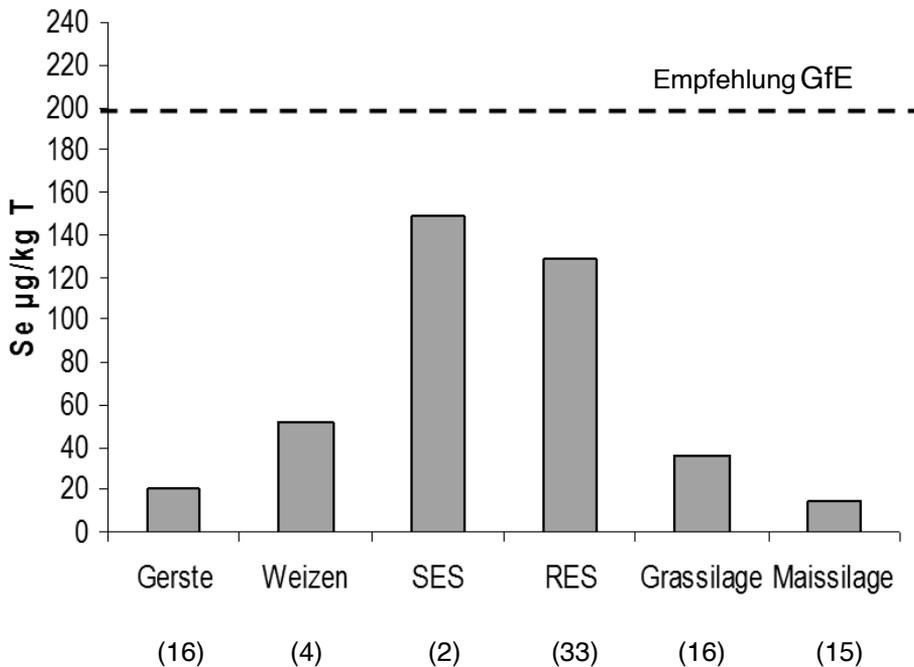


Abb.2: Selengehalt ausgewählter Futtermittel, Probenzahl in Klammern (diese und weitere Futtermittel mit Angabe von Mittelwert, Standardabweichung und „von-bis“ Bereich bei Schöne et al., 2013)

Der mittlere Gehalt des Se der in der TLL 2011 bis 2012 untersuchten 18 Einzelfuttermittel (mit je 4 bis 33 Proben) unterschritt i. d. R. die für Milchkühe empfohlenen $200 \mu\text{g Se/kg T}$, Ausnahme Luzernegrünmehl mit im Mittel von 4 Proben $262 \mu\text{g Se/kg T}$ (Schöne et al., 2013). Abbildung 2 zeigt eine Auswahl mit dem jeweiligen Mittelwert des Se Gehaltes, Angaben zur Varianz in vorstehend zitierter Quelle. Für Cu unterschritten 16 von 19 untersuchten Einzelfuttermitteln die GfE Empfehlung von 10 mg Cu/kg T der Milchkuhration (TLL, 2013, unveröffentlichtes Material). Für Jod in den Einzelfuttermitteln liegen im Vergleich zu den weiteren Spurenelementen deutlich weniger Analysenergebnisse vor. Hier wird in pflanzlichen Einzelfuttermitteln nach alkalischem Aufschluss mit TMAH (Leiterer et al., 2012) der Gehalt mit $< 70 \mu\text{g Jod/kg T}$ angegeben (Franke et al. 2010), was deutlich unter den Empfehlungen laut Tabelle 1 ist. In Silagen war der Gehalt höher (Schöne et al., 2010). Maissilagen enthielten im Mittel $109 \mu\text{g Jod/kg T}$, Grassilagen $321 \mu\text{g Jod/kg T}$. Der dreifache Jodgehalt der letzteren ist auf die stärkere Erdkontamination zurückzuführen. Im Boden vorkommendes Jod gilt aber als wenig bis überhaupt nicht bioverfügbar.

3. Spurenelementsupplemente – Konzentrationen an Cu, Se sowie Jod und Aufnahme besonders über das Mineralfutter

Das Mineralfutter und Mischfutter soll die vorstehend genannten Defizite im „natürlichen“ Spurenelementgehalt der Futtermittel ausgleichen und eine hohe Milchleistung bei guter Fruchtbarkeit bzw. Tiergesundheit gewährleisten.

Die Kennzeichnung von 21 Mineralfutter- (> 40 % Asche) und 63 Mischfuttermitteln wurde tabelliert, zum einen die Konzentrationsangaben (Überprüfung mittels Analyse), zum anderen die nach den Empfehlungen/Anwendungshinweisen anzubietenden Mengen je Kuh und Tag (Anonymisierung weiterer Angaben). Im Falle eines prozentualen Anteils des täglichen Verzehrs, z. B. bis zu 1 % der T der Gesamtration, wurde mit $20 \text{ kg T/Kuh und Tag}$ multipliziert (Schöne et al., 2013). In den analysierten Proben wurden die deklarierten Gehalte der Mineral- und Mischfutter mit hoher Sicherheit bestätigt ($R^2 > 0,9$; $P < 0,001$). Der Bereich der Supplementierung des Mineralfutters (Tab. 2) und des Mischfutters (Schöne et al., 2013) mit den Spurenelementen ist immens, ebenfalls das empfohlene Angebot an Mineralfutter und damit die errechnete täglich angebotene Menge der Spurenelemente. Bei unterstellt $20 \text{ kg Aufnahme T/Kuh und Tag}$ kommen je kg T der Ration allein aus dem Mineralfutter 14 mg Cu ; $0,4 \text{ mg Se}$ und $1,2 \text{ mg I/kg T}$.

Tab.2: Konzentration der Mineralfutter (n = 21) an Cu, Se und Jod und Aufnahme, errechnet aus den empfohlenen Mengen je Kuh und Tag, Mittelwert (MW) \pm Standardabweichung (s) und Minimum (Min), Maximum (Max)

	Cu	Se	I
Konzentration mg/kg			
X \pm s	1125 \pm 503	33 \pm 11	88 \pm 42
Min-Max	470-2500	15-80	25-200
Aufnahme mg/d kalkuliert aus der Herstellerempfehlung von 0,28 \pm 0,15 kg (0,10-0,65 kg) je Kuh und Tag			
X \pm s	284 \pm 49	7,9 \pm 2,3	23 \pm 15
Min-Max	128-600	4-11	5-60

Für das Se ist die Aufnahme kritisch, denn unter Berücksichtigung eines „Hintergrundgehaltes“ der nativen Futtermittel von 0,04 mg Se/kg T würden durchschnittlich 0,44 mg Se/kg T bereits 75 % des Höchstgehaltes von 0,57 mg Se/kg T Gesamtration ausschöpfen. Umfangreiche Se-Analysen der Totalen Mischrationen (TMR) in Sächsischen und Thüringer Milchviehherden bestätigen die hohe Aufnahmen des Se (Schöne et al., 2013).

Die Selenaufnahme der Milchkühe besonders über zu hohe empfohlene Tagesgaben von Mineralfutter ist hoch, was sich in der zusätzlichen Auswertung mittels linearer Regression bestätigte. Wird die Mengeneempfehlung höher, muss sich die Konzentration verringern (Abb. 3). Jedoch sinkt die Konzentration der überprüften Mineralfuttermittel in geringerem Grade als die Mengeneempfehlung ansteigt. So entsprechen 100 g Mineralfutter mit 42 mg Se/kg als Tagesempfehlung 4,2 mg Se pro Kuh und Tag oder, bei unterstellt 20 kg Aufnahme T pro Kuh und Tag, etwa 0,2 mg Se/kg T der Gesamtration; 500 g Tagesempfehlung Mineralfutter mit 21 mg Se/kg ergeben 10 mg Se pro Kuh und Tag oder, wieder bei unterstellt 20 kg Aufnahme T pro Kuh und Tag, etwa 0,5 mg Se/kg T der Gesamtration. Die Verfünffachung des empfohlenen Tagesangebotes bringt also die Konzentration nicht auf das erwartete Fünftel, sondern halbiert diese lediglich.

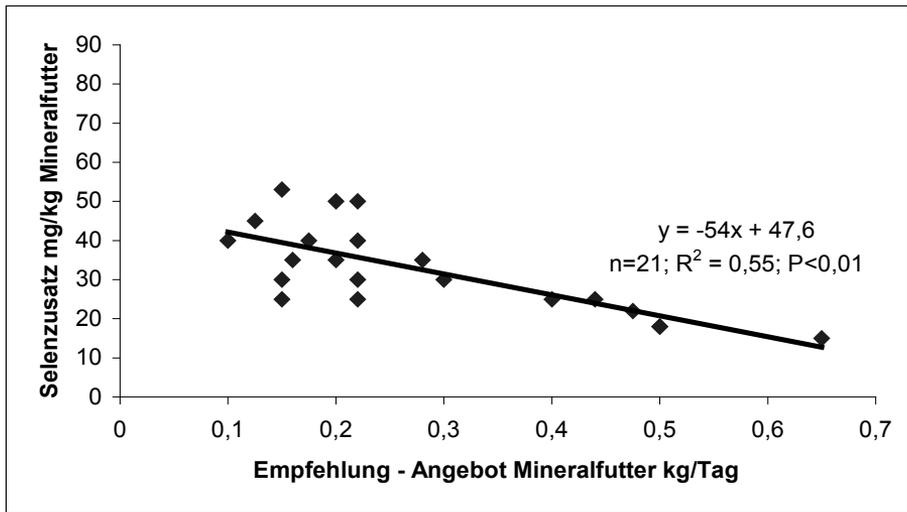


Abb.3: Lineare Regression zwischen der Se-Konzentration laut Mineralfutterkennzeichnung (y) und der empfohlenen täglichen Angebotsmenge (x), für einen Von-Bis Bereich je Tier und Tag wurde der Mittelwert angesetzt, für eine Empfehlung „bis zu“ einem deklarierten Prozentanteil der Aufnahme an Trockenmasse (T) wurden 20 kg T unterstellt

4. Höchstgehalte im Milchviehfutter unter Maßgabe des Verbraucherschutzes am Beispiel des Se

Bei einer Tagesempfehlung für den gesunden Erwachsenen bis 70 μg Se (D.A.CH, 2008) beträgt der zulässige Höchstwert für die Selenaufnahme in der EU 300 μg /Erwachsener und Tag (Scientific Committee on Food, EC, 2000).

Ein mittlerer Zusatz von 0,4 mg Se/kg Futter T und auch der etwas höhere Gesamtgehalt ist verglichen mit einem „MTG für Selen im mg-Bereich je kg T der Ration“ (Tab. 1) ohne Relevanz für die Tiergesundheit. Aber, die EFSA (European Food Safety Authority, Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit) hat bei der Zulassung von Se Futterzusätzen in Form mineralischer Se Verbindungen oder auch der Selenhefen mit dem dominierenden Selenomethionin den Verbraucherschutz im Fokus. Das heißt der Futterzusatz wird, abgeleitet aus Dosis-Wirkungs-Versuchen, hinsichtlich seiner Konsequenzen

für den Gehalt des Se in Milch Fleisch und Eiern beurteilt. Eine Supplementierung der Milchviehration mit 0,2 mg Se/kg T in Form von Selenit oder Selenat führt zu einem Se-Gehalt von 15 µg/L Milch; 0,5 mg Se/kg T dieser mineralischen Zusätze ergeben gut 20 µg Se/L Milch. In organischer Bindung, also über Selenhefen, führen bereits 0,25 mg Se/kg Futter T zu der höheren Milch-Se-Konzentration. Aus Versuchen mit Schweinen und Geflügel liegen der EFSA (2011) ebenfalls Ergebnisse für Fleisch, Innereien und Eier vor (Abb. 4).

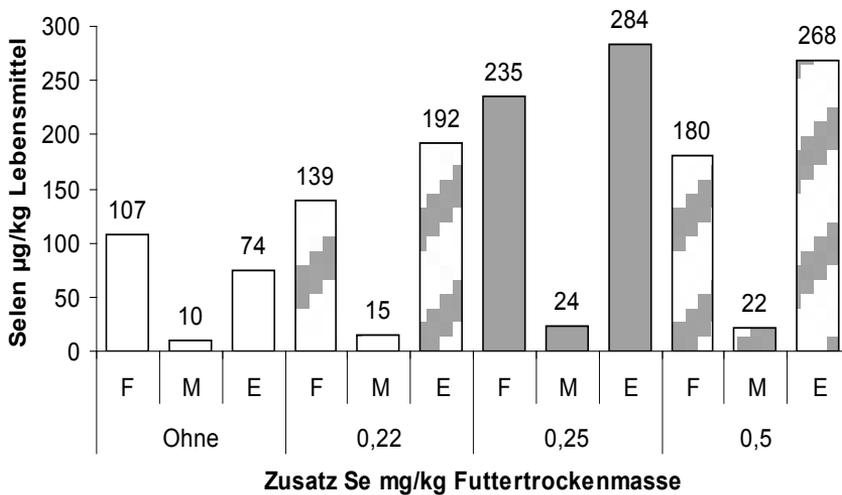


Abb. 4: Selen in der Kette Futter – Lebensmittel: Fleisch (F), Milch (M), Eier (E) (EFSA 2011)

Die Produktkonzentrationen multipliziert mit einem hohen Tagesverzehr – angewandt wird die 95 Perzentile des Europäischen Warenkorb (EFSA, 2011, online): pro Erwachsener und Tag 1,5 kg Milch Produkte (der Käse in Milch-Equivalenten), 0,29 kg Fleisch(waren) und 0,070 kg Eier – wird mit obiger zulässigen Höchstaufnahme des Se verglichen (Abb. 4). Danach würden 0,22 mg Se/kg der Gesamtrationen der Nutztiere (Basis 880 g T/kg) zu 129 µg Se pro Erwachsener und Tag führen, eine ähnliche Se Dosis über Selenhefe zu 184 µg Se Tagesaufnahme. Unter Berücksichtigung von 2/3 unserer Se Aufnahme aus tierischen Quellen und 1/3 aus pflanzlichen Lebensmitteln resultieren aus bereits 0,22 mg Se/kg Futter über Selenhefen 260 µg Se pro Erwachsener und Tag entsprechend 86 % der zulässigen Höchstaufnahme von 300 µg Se. Danach empfiehlt die EFSA (2011) für organische Se Verbindungen einen

Zusatz von maximal 0,2 mg/kg der Gesamtration, welches kürzlich per Gesetz bestätigt wurde EU (2013). Dieser zulässige Höchstanteil des Se aus organischer Quelle repräsentiert weniger als die Hälfte des Höchstgehaltes von 0,5 mg Se/kg Futter.

5. Fazit

Verglichen mit den Minima der verabreichten Spurenelemente besteht das Risiko einer Unterschreitung der GfE Empfehlungen für Cu und Jod, wobei dieses für das Jod aufgrund der jodarmen Grobfuttermittel und Konzentrate real ist. Kritisch ist das Selen, können doch allein über Mineralfutter futtermittelrechtliche Höchstgehalte überschritten werden. Als Empfehlung für die Praxis sind Rezepturen und Einsatzmengen des Mineralfutters entsprechend den Empfehlungen der GfE (2001) zu berechnen, unter Anrechnung des Gehaltes der Einzelfuttermittel, besonders des Grobfutters, an Cu und Se! Für das Jod mit Untergehalten in pflanzlichen Futtermitteln und mutmaßlich extrem niedriger Bioverfügbarkeit ist die GfE Empfehlung vollständig über den Zusatz abzudecken.

6. Literaturangaben (Auswahl)

Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE), 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlags GmbH Frankfurt am Main.

EU und European Safety Authority, EFSA: alle zitierten Quellen bei Schöne et al. (2013).

Franke, K., Leiterer, M., Schlecht, A., Schöne, F., 2010: Vergleichsmessung zur Jodbestimmung in Futtermitteln mit ICP-MS. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 66, 754-757, Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Hennig, A., 1972: Mineralstoffe, Vitamine, Ergotropika. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

Leiterer, M., Spörl, K., Schöne, F., 2012: Quantitative Analyse von Jod in Futter- und Lebensmitteln mittels ICP-MS. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 66, 827-839, Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

NRC – National Research Council, 2005: Mineral Tolerance of Animals. 2nd Revised Edition, National Academy Press Washington D.C..

- Schöne, F., Franke, K., Schlecht, A., Herzog, E., Leiterer, M., 2010: Jodgehalt von Gras- und Maissilage unter dem Einfluss verschiedener Aufschlussmedien. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 66, 721-724, Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Schöne, F., Jahreis, G., Lüdke, H., Groppe, B., Kirchner, E., Bock, H.-D., 1986: Hypothyreose bei Sauen und Ferkeln nach Fütterung einer Kartoffel – Rapsextraktionsschrotsilage. Arch. Exper. Vet. med., Leipzig 40, 507-519.
- Schöne, F., Steinhöfel, O., Weigel, K., Bergmann, H., Herzog, E., Dunkel, S., Kirmse, R., Leiterer, M., 2013: Selenium in feedstuffs and rations for dairy cows including a view of the food chain up to the consumer. Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit – Journal of Consumer Protection and Food Safety 8 (preprint, online).

Danksagung

Die Untersuchung erfolgte im Rahmen des vom Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Natur und Umwelt (TMLFUN) geförderten Projektes Nr. 9201 „Analytische Methodenentwicklung und Qualitätssicherung“.

Mineralstoffgehalte in Fleckviehkühen: Ergebnisse aus Ganzkörperanalysen

M. Steyer¹, T. Ettle¹, H. Spiekers¹, M. Schuster², S. Mikolajewski², M. Rodehutscord³

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Poing, ²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen, Grub/Freising, ³Universität Hohenheim, Institut für Tierernährung, Stuttgart

1. Einleitung

Für die faktorielle Ableitung des Bedarfes und die Bilanzierung zur Abschätzung der Nährstoffausscheidungen sind Angaben zum Gehalt an Mengenelementen im Ansatz der Nutztiere erforderlich. Es ist anzunehmen, dass sich die Körperzusammensetzung von Milchkühen als Folge des züchterischen Fortschrittes und als Folge des Anstieges der Lebendmasse über die Jahre verändert hat. Dies könnte auch den Gehalt an Mineralstoffen betreffen. Zur Absicherung der Versorgungsempfehlungen und zur Kalkulation der zu erwartenden Nährstoffausscheidungen sind jedoch aktuelle Daten erforderlich. Da solche insbesondere für Fleckviehkühe nicht existieren, wurden vorliegend entsprechende Untersuchungen vorgenommen.

2. Material und Methoden

Für die Untersuchungen standen 30 nicht trächtige Fleckviehkühe zur Verfügung. Da ein Fokus auf dem Zusammenhang zwischen Body Condition Score (BCS) und Fettgehalt der Tiere lag, wurden gezielt Tiere ausgewählt, die einen weiten Bereich an Körpergewicht (416-869 kg) und Körperkondition (BCS 1,75-5,00) abdeckten (Steyer et al., 2012; 2013). Um etwaige Einflüsse des Wachstums zu minimieren, wurden ausschließlich mehrkalbige Kühe (2. bis 8. Laktation) für die Untersuchung ausgewählt. Von den 30 Kühen waren 8 bereits trockengestellt, 22 Kühe befanden sich im Mittel am 196. Laktationstag (52.-524. Laktationstag). Die mittlere Lebensjahresleistung aller Kühe lag bei 8014 kg Milch.

Am Tag der Schlachtung wurden die Kühe nach der morgendlichen Melkung zum Versuchsschlachthaus der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Grub verbracht und bis zur Schlachtung für etwa 4 Stunden in Einzelboxen untergebracht. Die Kühe wurden mit einem Bolzenschussapparat betäubt und anschließend ausgeblutet. Während der Schlachtung wurden die Tierkörper in verschiedene Fraktionen zerlegt, die verwogen und in separaten Chargen weiterbearbeitet wurden. Am Schlachttag umfassten die Chargen das Euter, den Gastrointestinaltrakt (GIT), die Leber inklusive Gallenblase, das Nierenfett und die übrigen Innereien zusammen mit dem Blut. Der GIT wurde verwogen, anschließend geleert, gespült und abermals verwogen. Die Haut wurde mit einer praxisüblichen Häutungsmaschine vom Schlachtkörper getrennt, so dass sich Teile des Unterhautfettes sowohl am Schlachtkörper als auch an der Haut befanden. Nach dem Verwiegen wurden die Haut und der Schlachtkörper mittig entlang des Aalstriches in zwei Hälften geteilt. Die rechte Hälfte der Haut wurde abermals verwogen und bis zur weiteren Verarbeitung bei -18 °C gelagert. Die rechten Hälften des Schlachtkörpers und des Kopfes, die unterhalb des Karpalgelenkes abgeschnittenen rechten Füße sowie der Schwanz wurden nach dem Verwiegen bis zur weiteren Bearbeitung bei 4 °C gelagert. Die verbleibenden Körperteile wurden in drei Teile aufgeteilt: Fleisch mit anhängendem Gewebe, Weichgewebe des Schwanzes und Knochen. Die Knochen wurden zu faustgroßen Stücken zersägt und bis zur weiteren Aufarbeitung bei -18 °C aufbewahrt. Alle weichen Gewebeteile wurden zweimalig durch einen Fleischwolf (EW 114, K+G Wetter, Biedenkopf-Breidenstein) gedreht. Die Haut wurde mit Hilfe eines Kutters (LAD 35a, Sachsenwerk Niedersiedlitz-Dresden) zerkleinert und die Knochen mit einer Knochenmühle (P 46, Siepman GmbH, Herdecke) vermahlen. Nach der Zerkleinerung wurden die Einzelfraktionen sorgfältig gemischt und beprobt.

Nach weiterer Vermahlung und Homogenisierung der Proben in einer Messermühle (Retsch Grindomix GM 200) bzw. in einer Zentrifugalmühle (Retsch ZM 200) erfolgte die Mineralstoffanalytik an Proben der Teilfraktionen GIT (entleert, gespült), Organe + Blut, Fleischpartien, Euter, Haut, Knochen, Leber, Nierentalg und Schwanz. Die Analysenproben wurden nach Zusatz einer Mischung aus Salzsäure und Wasserstoffperoxid unter Druck im Mikrowellenofen aufgeschlossen und die Elemente mittels Plasmaemissionsspektrometrie (ICP-OES) analysiert. Analysiert wurden die Gehalte an Mengenelementen und von einzelnen Spurenelementen, vorliegend werden die Mengenelemente dargestellt. Dabei ergeben sich die Gehalte im Leerkörper aus den aufsummierten

Massen der jeweiligen Teilfraktionen, multipliziert mit den an den Teilfraktionen analysierten Gehalten. Da in der Literatur der Bezug der Mineralstoffgehalte zur Trockenmasse (TM) überwiegt (andere: je kg Asche, Frischmasse), werden zur besseren Vergleichbarkeit vorliegend ebenfalls die Gehalte in der TM dargestellt. In den Tabellen sind jeweils der Mittelwert (MW), die Standardabweichung (SD) sowie die Minimal- (Min) und Maximalwerte (Max) ausgewiesen.

3. Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 1 ist der Mengenelementgehalt je kg TM Muskel sowie die gesamte Masse an Mengenelementen im Muskel dargestellt. Die Konzentration an Ca liegt mit 0,38 g/kg TM über Literaturangaben für Rinder, die in Abhängigkeit von Rasse, Alter und Versorgung im Bereich von etwa 0,2-0,3 g/kg TM liegen (Ammerman et al., 1974; Schwarz et al., 1995; Standish et al., 1969; 1971). Die Gehalte an P liegen etwas höher als von Standish et al. (1971) bei jungen Bullen mit etwa 200 kg Lebendmasse gefunden (3,85 g/kg TM), aber niedriger als bei Schwarz et al. (1995) bei Bullen im höheren Gewichtsbereich (> 8 g/kg TM). Auch die Gehalte an K und Mg liegen um ~ 30-50 % niedriger als in der zuvor zitierten Literatur angegeben. Eine Hauptursache für die Unterschiede zwischen vorliegender Arbeit und den Literaturwerten dürfte sein, dass in vorliegender Arbeit nicht das reine Muskelgewebe sondern (bedingt durch die Vorgehensweise bei der Schlachtung) das Muskelgewebe samt anhaftendem Gewebe (Unterhautfett, Sehnen etc.) analysiert wurde. Insgesamt ergibt sich in Übereinstimmung zu den Daten von Schwarz et al. (1995), dass der Gehalt an Ca und Mg im Muskel im Vergleich zu K und P eher gering ist, was sich auch im Gesamtbestand an Mineralstoffen im Muskelgewebe und anhaftendem Gewebe widerspiegelt (Tab. 1). Bezogen auf den Gesamtbestand an Mineralstoffen im Leerkörper betragen die Massen im Muskelgewebe für P, K, Mg und S 10, 76, 28 und 59 %, was den Angaben von Schwarz et al. (1995) vergleichbar ist. Obwohl der Anteil an Muskel am gesamten Leerkörper in etwa 50 % ausmacht (Steyer et al., 2012) ist der Beitrag an Ca aus dem Muskel zum Gesamtkörperbestand mit 0,5 % äußerst gering.

Demgegenüber sind die Gehalte an Ca, aber auch an P im Knochengewebe mit 176 und 87 g/kg TM sehr hoch und dementsprechend trägt der Knochen vorliegend auch 98 und 86 % zum gesamten Mineralstoffbestand der Kühe bei. Bei K, Mg und S liegt der Beitrag des Knochens zum Gesamtbestand bei etwa 3, 59

und 9 %. Diese Werte ordnen sich im Vergleich zur Literatur gut ein (Schulz et al., 1974; Schwarz et al., 1995). Im Vergleich zu den Daten von Schwarz et al. (1995), die bei Mastbullen von 575 und 650 kg Lebendmasse in Abhängigkeit der Fütterungsintensität Ca-Gehalte im Knochen von 160-170 g/kg TM und P-Gehalte von 75-80 g/kg TM fanden, liegen die Ca- und P-Konzentrationen im Knochen in vorliegender Untersuchung etwas höher. Da sowohl der Ca- als auch der P-Gehalt im Knochen mit steigender Lebendmasse ansteigen (Schulz et al., 1974; Schwarz et al., 1995), sind die vorliegend etwas höheren Werte für ausgewachsene Kühe durchaus plausibel. Die K- und Mg-Gehalte im Knochen in vorliegender Untersuchung betragen etwa 80 bzw. 90 % der von Schwarz et al. (1995) bei Jungbullen gefundenen Werte.

Tab. 1: Konzentration (in der TM) und gesamte Masse an Mineralstoffen im Muskel und anhaftendem Gewebe

	Mineralstoffkonzentrationen (g/kg)				Masse an Mineralstoffen (g/Tier)			
	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max
Ca	0,38	0,09	0,23	0,55	47,8	14,8	21,2	91,3
P	4,39	0,92	2,84	6,87	542	95	267	680
K	7,96	1,77	5,27	13,01	978	163	507	1223
Mg	0,55	0,10	0,35	0,83	68,0	12,8	31,2	86,4
S	5,18	0,96	3,50	7,98	645	126	283	843

Tab. 2: Konzentration (in der TM) und gesamte Masse an Mineralstoffen in den Knochen

	Mineralstoffkonzentrationen (g/kg)				Masse an Mineralstoffen (g/Tier)			
	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max
Ca	176	15	134	208	9197	1480	4762	12927
P	86,5	7,0	66,4	100,8	4508	710	2365	6336
K	0,77	0,15	0,57	1,14	39,8	7,2	28,8	61,1
Mg	2,73	0,36	2,27	3,76	142	29	82	233
S	1,83	0,32	1,24	2,89	93,8	10,1	77,9	116,9

In Übereinstimmung zu den Daten von Schwarz et al. (1995) weisen K und P im Gewebe des GIT die höchsten Konzentrationen auf (Tab. 3). Der Ca-Gehalt ist (wie auch im Muskelgewebe) vor allem in den Organen (Tab. 4) sehr gering.

Ähnliche Verhältnisse ergeben sich für die Gehalte in der Leber, die in vorliegender Arbeit getrennt erfasst wurde (Tab. 5). Auffällig ist der relativ hohe S-Gehalt in den Organen und der Leber.

Tab. 3: Konzentration (in der TM) und gesamte Masse an Mineralstoffen im entleerten Gastrointestinaltrakt (GIT)

	Mineralstoffkonzentrationen (g/kg)				Masse an Mineralstoffen (g/Tier)			
	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max
Ca	2,06	1,64	0,33	8,08	44,5	30,0	8,7	142,8
P	3,12	1,54	1,17	8,10	66	16	36	108
K	3,96	1,94	1,58	10,92	84	15	52	114
Mg	0,44	0,25	0,11	1,30	9,8	5,0	3,4	27,0
S	2,95	1,38	0,96	8,21	64	18	32	127

Tab. 4: Konzentration (in der TM) und gesamte Masse an Mineralstoffen in den Organen (ohne Leber)

	Mineralstoffkonzentrationen (g/kg)				Masse an Mineralstoffen (g/Tier)			
	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max
Ca	0,75	0,42	0,26	2,41	9,9	5,2	4,5	30,2
P	2,89	0,45	1,99	3,76	38	5	25	46
K	4,13	0,68	2,89	5,78	55	10	34	81
Mg	0,31	0,05	0,18	0,43	4,1	0,7	2,5	5,4
S	6,52	1,11	2,29	8,36	87	18	32	119

Tab. 5: Konzentration (in der TM) und gesamte Masse an Mineralstoffen in der Leber

	Mineralstoffkonzentrationen (g/kg)				Masse an Mineralstoffen (g/Tier)			
	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max
Ca	0,31	0,08	0,20	0,51	0,88	0,26	0,27	1,34
P	12,5	0,5	11,3	13,3	35,9	7,4	14,2	50,9
K	11,3	0,6	10,1	12,6	32,2	5,6	14,9	43,6
Mg	0,73	0,03	0,67	0,80	2,11	0,40	0,83	2,81
S	9,52	0,52	8,43	11,36	27,4	5,6	9,9	35,8

Tab. 6: Konzentration (in der TM) und gesamte Masse an Mineralstoffen in der Haut

	Mineralstoffkonzentrationen (g/kg)				Masse an Mineralstoffen (g/Tier)			
	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max
Ca	1,04	0,53	0,45	2,67	24,1	14,8	9,3	79,7
P	1,20	0,29	0,68	1,72	27,4	8,2	11,6	50,6
K	2,55	0,63	1,62	4,16	58,7	19,2	24,6	105,9
Mg	0,40	0,23	0,18	1,14	9,40	6,43	2,68	34,03
S	5,94	0,66	4,26	7,36	135	27	77	199

Tab. 7: Konzentration (in der TM) und gesamte Masse an Mineralstoffen in der Leerkörpermasse

	Mineralstoffkonzentrationen (g/kg)				Masse an Mineralstoffen (g/Tier)			
	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max
Ca	37,2	7,4	25,4	62,5	9363	1498	4836	13067
P	20,9	4,0	14,4	34,3	5272	792	2745	7081
K	5,11	0,78	3,62	6,95	1290	198	686	1559
Mg	0,95	0,18	0,60	1,44	240	43	124	344
S	4,28	0,62	3,09	5,81	1080	171	563	1383

Tab. 8: Konzentration (in der Frischmasse) an Mineralstoffen in der Leerkörpermasse

	Mineralstoffkonzentrationen (g/kg)			
	MW	SD	Min	Max
Ca	14,7	1,6	11,6	18,2
P	8,27	0,75	6,85	10,07
K	2,02	0,10	1,78	2,24
Mg	0,38	0,04	0,29	0,50
S	1,70	0,07	1,52	1,82

Das Gewebe des GIT trägt nur 0,5 und 1,3 % zum Gesamtbestand an Ca und P im Leerkörper bei, K, Mg und S 6,6, 3,9 und 5,9 %. Der Beitrag von Ca, P, K, Mg und S aus den Organen zuzüglich Leber zum gesamten Bestand im Leerkörper

beträgt 0,1; 1,4; 6,8; 2,6; und 10,6 %. In der Haut incl. Haaren ist der Gehalt an S von 6 % in der TM zu erwähnen. Die Haut incl. Haare trägt somit immerhin 12,6 % zum Gesamtbestand des Leerkörpers an S bei.

Der Ca- und P-Gehalt in der Leerkörpermasse (Tab. 7) lag erheblich höher, als für schwarzbunte Bullen im höheren Gewichtsbereich von Schulz et al. (1974) angegeben (29,2 und 14,7 g/kg TM). Ellenberger et al. (1950) fanden für ausgewachsene Kühe Ca- und P-Gehalte in der Frischmasse von 16,5-18 g/kg (Ca) und 8,6-9,3 g/kg (P), was etwas über den vorliegend gefundenen Werten liegt (14,7 und 8,3 g/kg FM Leerkörpermasse). Insgesamt kann nach einer Literaturübersicht von Schulz et al. (1974) und den vorliegenden Daten davon ausgegangen werden, dass ausgewachsene Kühe eher höhere Ca- und P-Gehalte aufweisen als wachsende Mastbullen. Dies ist durch die unterschiedlichen Anteile an Knochen, Muskel und Fett bei wachsenden und ausgewachsenen Tieren und die in den Gewebefractionen sehr unterschiedlichen Mengenelementgehalte erklärbar. Ähnliche Schlussfolgerungen ergeben sich auch für Mg und K.

Die vorliegenden Daten sollten auch genutzt werden, um aktuelle Annahmen zur Kalkulation von Nährstoffausscheidungen von Rindern zu überprüfen. Für wachsende Mastfärsen werden je kg Zuwachs Gehalte an P und K von 7,5 g und 1,9 g angenommen (GfE, 2001). Bei der Ableitung dieser Werte wurde unterstellt, dass der Inhalt des Verdauungstraktes 15 % der Lebendmasse ausmacht. Für die Kühe in vorliegender Arbeit ergaben sich im Mittel 11,4 %. Zur Kalkulation der Nährstoffausscheidungen wird unterstellt, dass 1 kg Zuwachs bzw. Ansatz bei Rindern im Mittel 6,0 g P und 1,9 g K enthält (DLG, 2005). Auch wenn die Mineralstoffgehalte in ausgewachsenen Milchkühen wegen der Verschiebungen der einzelnen Gewebefractionen im Wachstumsverlauf nicht ohne weiteres auf wachsende Rinder übertragbar sind, erscheinen aufgrund der vorliegenden Daten (Tab. 8) und von Literaturwerten die von DLG (2005) unterstellten Gehalte für den P- und K-Ansatz eher zu niedrig angesetzt. In Übereinstimmung mit dem zukünftigen Vorgehen beim N-Ansatz (Spiekers et al., 2012) empfiehlt sich auf Grund der vorliegenden Ergebnisse auch bei P ein höherer Gehalt bei fleischbetonten Rinderrassen. Die Unterschiede erklären sich durch die Differenzen beim Fleisch-, Fett- und Knochenansatz.

4. Literaturangaben

- Ammermann, C.B., Loaiza, J.M., Blue, W.G., Gamble, J.F., Martin, F.G., 1974: Mineral composition of tissues from beef cattle under grazing conditions in Panama. *J. Anim. Sci.* 38, 158-162.
- DLG, 2005: Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. *Arbeiten der DLG*, Band 199. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Ellenberger, H.B., Newlander, J.A., Jones C.H., 1950: Composition of the bodies of dairy cattle. *Univ. Vermont Agric. Exp. Stn. Bull. No. 558*, Burlington. Zitiert bei: Schulz et al., 1974.
- GfE, 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Schulz, E., Oslage, H.J., Daenicke, R., 1974: Untersuchungen über die Zusammensetzung der Körpersubstanz sowie den Stoff- und Energieansatz bei wachsenden Mastbullen. *Fortschritte in der Tierphysiologie und Tierernährung (Beihefte zur Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde)*, 4.
- Schwarz, F.J., Heindl, U., Kirchgessner, M., 1995: Gehalte und Ansatz von Mengenelementen in Geweben und im Ganzkörper von wachsenden Jungbullen der Rasse Fleckvieh. *Arch. Anim. Nutr.* 48, 183-199.
- Spiekers, H., Ettle, T., Grünewald, K.-H., Pries, M., 2012: Kalkulation der Nährstoffausscheidung beim Rind. *VDLUFA-Schriftenreihe 68*, 710-717, Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Standish, J.F., Ammermann, C.B., Palmer, A.Z., Simpson, C.F., 1971: Influence of dietary iron and phosphorus on performance, tissue mineral composition and mineral absorption in steers. *J. Anim. Sci.* 33, 171-178.
- Standish, J.F., Ammermann, C.B., Simpson, C.F., Neal, F.C., Palmer, A.Z., 1969: Influence of grades levels of dietary iron, as ferrous sulfate, on performance and tissue mineral composition of steers. *J. Anim. Sci.* 29, 496-503.
- Steyer, M., Ettle, T., Spiekers, H., Rodehutschord, M., 2012: Body composition of Simmental cows and the relation of fat content to body condition parameters. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 21, 83.
- Steyer, M., Ettle, T., Spiekers, H., Rodehutschord, M., 2013: Prüfung der Aussagekraft von BCS und Rückenfettdicke bei Fleckviehkühen mittels Ganzkörperanalyse. *Tierärztl. Umschau* 68, 322-328.

Mast- und Schlachtleistung von 10 Monate alten Absetzern der Rasse Fleckvieh aus der Mutterkuhhaltung

S. Steinberger¹, T. Ettle¹, H. Spiekers¹, M. Pickl², K. Böker³, R. Prischenk⁴

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, 85586 Poing, ²LfL, Institut für Tierzucht, Poing, ³LfL, Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für ökologischen Landbau Kringell, Hutthurm,

⁴Landwirtschaftliche Lehranstalten Bayreuth, Bayreuth

1. Einleitung

Eine systematische, grasbasierte Rindfleischproduktion aus der Mutterkuhhaltung stellt eine mögliche Alternative zur Milchproduktion für Grünlandstandorte dar. In Bayern werden etwa 74 000 Mutterkühe gehalten wobei mit 8 Kühen je Betrieb sehr kleine Betriebsstrukturen vorliegen (Tab. 1).

Diese besondere Situation bedingt in der Praxis oftmals Managementprobleme. In Kleinstbetrieben ist die Umsetzung einer nach dem Geschlecht der Kälber notwendigen Herdentrennung meist nicht realistisch. Die Herdenteilung ist auf Grund der frühzeitig einsetzenden Geschlechtsreife der Saugkälber erforderlich um entsprechende Frühbelegungen zu vermeiden. Vielfach kann ab einem Alter von 7 Monaten bei weiblichen Kälbern eine ausgeprägte Brunst beobachtet werden. Deshalb praktizieren Mutterkuhhalter ohne Herdentrennung ein Frühabsetzen mit 6-8 Monaten. Nach Abzug einer physiologisch notwendigen Trockenstehzeit von etwa 5-6 Wochen sind die Mutterkühe über einen Zeitraum von 2-5 Monaten „unproduktiv“. Es sei denn, sie werden im Rahmen einer vertraglichen Landschaftspflege eingesetzt und „erwirtschaften“ auf diese Weise eine Wertschöpfung. Während des frühen Trächtigkeitsstadiums, bis 8 Wochen vor dem Kalben, ist eine Energiekonzentration der Ration von 4,7 MJ NEL je kg TM ausreichend (DLG, 2009). In den Praxisbetrieben ist die Umsetzung dieser Empfehlung meist nicht realisierbar, so dass die Kühe bei guter Futtergrundlage stark verfetten (Steinberger und Spiekers, 2008).

Tab. 1: Anzahl der Mutterkühe in Deutschland, Quelle: Bundesverband Deutscher Fleischrinderzüchter, 2011

Bundesland	Anzahl Mutterkühe	Anzahl Mutterkühe/ Betrieb
BAY	74 238	8
NRW	67 314	9
BW	64 387	9
HE	43 039	9
SN	41 525	10
NI	66 733	11
RP	41 350	13
SH	42 798	14
SL	6 711	14
B, HB, HH	1 797	14
TH	38 857	16
ST	30 275	18
BB	95 812	37
MV	68 913	40
Total	683 749	12,7

Warum Absetzerschlachtung?

Die kleinen Betriebsstrukturen ermöglichen keine dem Markt angepassten, einheitlichen Verkaufspartien an Absetzern. Dadurch wird der zu erzielende Erlös vielfach nicht erreicht. Auf Grund der zunehmenden Flächenkonkurrenz zur regenerativen Energiegewinnung und Milchviehhaltung wird sich der Produktionszweig Mutterkuhhaltung weiter auf die Grünlandstandorte bzw. auf die Verwertung von Restgrünland zurückziehen. Eine Ausdehnung der Säugedauer auf 10 Monate in Kombination mit einer optimierten Weideführung als Kurzrasenweide bietet eine qualitativ hochwertige Futterbasis zur Produktion hochwertiger Schlachtkörper. Zudem werden bei Verzicht der Weitermast der Absetzer keine typischen, energiereichen Futtermittel wie Maissilage oder Zukaufskrafftutter benötigt. Es erscheint sinnvoll, die vom Verbraucher wahrgenommene positive Prozessqualität „Weidejungrind“ aus der Mutterkuhhaltung in der Vermarktung zu nutzen. In Österreich haben sich verschiedene

Markenfleischprogramme zur Vermarktung von geschlachteten Mutterkuh-absetzern etabliert (Tiroler Jahrling, Salzburger Jungrind etc.). Dabei werden weibliche Tiere und Ochsen nach dem Absetzen mit einem Alter von 10-12 Monaten geschlachtet (Ruetz, 2013). Eine Einführung dieses Produktionsverfahrens bietet sich in der Mutterkuhhaltung mit Winterkalbung an. Ziel des vorliegenden Projektes ist es, Daten zur Mast- und Schlachtleistung, der Fleischqualität und eine mögliche Differenzierung von Ochsen und Bullen zu ermitteln.

2. Material und Methoden

Zur Datenerhebung wurden die männlichen Kälber aus der Mutterkuhhaltung mit Fleckvieh der Landwirtschaftlichen Lehranstalten des Bezirks Oberfranken in Bayreuth (LLA) und des Lehr-, Versuchs- und Fachzentrums (LVFZ) Kringell als Ochsen bzw. Bullen nach einer 10 monatigen Säugedauer direkt nach dem Absetzen im Versuchsschlachthaus Grub geschlachtet. Auf beiden Betrieben wurde die Rasse Fleckvieh genetisch hornlos gehalten. Der Abkalbeschwerpunkt lag in den Monaten November bis Februar. Auf Grund der kleinstrukturierten bayrischen Mutterkuhbetriebe ist in den meisten Fällen eine Herdentrennung nach dem Geschlecht der Kälber nicht zu realisieren. Damit eine Frühbelegung der weiblichen Tiere ab dem sechsten Lebensmonat verhindert wird ist in der Praxis eine Kastration der männlichen Kälber zu empfehlen. Deshalb wurde in der vorliegenden Untersuchung die Auswirkung einer Kastration der männlichen Kälber auf die jungen Schlachtkörper geprüft. Die Hälfte der männlichen Kälber wurde mit einem Alter von 3-4 Monaten unblutig mit der Burdizzozange kastriert. Die Kälber wurden mit ihren Müttern für etwa 7 Monate auf einer Kurzrasenweide geweidet. Es erfolgte keine Zufütterung von Grob- bzw. Krafftutter. Nach Weideabtrieb erhielten die Tiere bis zum Schlachtermin ausschließlich Grassilage guter Qualität und eine Mineralfuttermenge.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programmpaket SAS (Varianzanalyse, Mittelwertsvergleich). Signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) sind mit unterschiedlichen Hochbuchstaben gekennzeichnet.

2.1 Fütterung während der Säugeperiode

Bis zum Weideaustrieb (15.03.2011 bzw. 23.03.2012 LLA Bayreuth, 20.04.2011 LVFZ Kringell) erhielten Kühe und Kälber Grassilage guter Qualität

ad libitum plus einer angepassten Mineralstoffergänzung. Zur Weidegewöhnung der Kälber und Futterumstellung wurde zu Weidebeginn je eine Woche Grassilage im Stall zugefüttert. Während der Weideperiode wurden die Tiere auf einer Kurzrasenweide gehalten. Der Weideabtrieb erfolgte jeweils Anfang November. Es wurde eine Säugedauer von 10 Monaten verwirklicht, so dass die Kälber z. T. mit ihren Müttern nach der Weidezeit gemeinsam aufgestallt wurden und wiederum Grassilage *ad libitum* plus Mineralstoffe erhielten. Während der gesamten Säugeperiode erfolgte keine Zufütterung von Kraftfutter.

3. Ergebnisse

Die Weideführung als Kurzrasenweide (intensive Standweide) hat zum Ziel, den Aufwuchs bei einer optimalen Verdaulichkeit und gleichzeitig minimalen Weiderest zu nutzen. Als Empfehlungen zur Aufwuchshöhe einer Kurzrasenweide für Mutterkühe gelten vier bis fünf Zentimeter. Die Aufwuchsmessung wurde wöchentlich mit der „Deckelmethode“ (Steinberger, 2011) durchgeführt. Der Verlauf der Aufwuchshöhe orientierte sich während der Weideperioden an der unteren Empfehlung (Abb. 1).

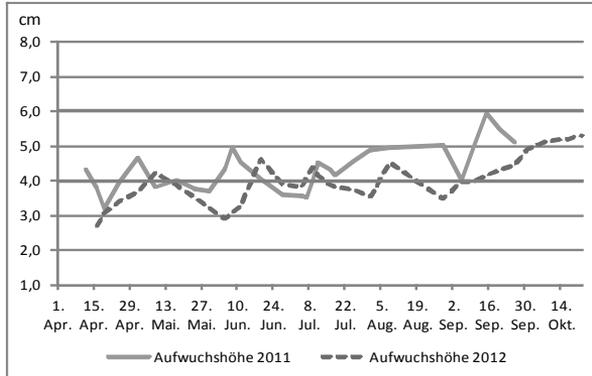


Abb. 1: Verlauf der Aufwuchshöhe der Kurzrasenweide an den LLA Bayreuth, Weideperioden 2011 und 2012

Die Absetzer wurden mit 305 (Ochsen) bzw. 307 (Bullen) Tagen geschlachtet. Die Kastraten erreichten 1300 g, die Bullen 1400 g tägliche Zunahmen und sind somit mit vorhergehenden Untersuchungen zur Mutterkuhhaltung auf Kurzrasenweide vergleichbar (Steinberger et al., 2011). Die Absetzgewichte betragen bei den Ochsen 438 kg und bei den Bullen 476 kg (Tab. 2).

Tab. 2: Mastleistung der Absetzer nach Kategorie im Mittel des Untersuchungszeitraumes

	Absetzalter d	Absetzgewicht kg	Zunahme g/d
Bullen N = 17	307	476 ^a	1 413 ^a
Stabw.	16	41	115
Ochsen N = 16	305	438 ^a	1 301 ^b
Stabw.	15	33	126

Die Schlachtgewichte (SG) betragen 233 kg bzw. 254 kg bei 56,4 % bzw. 56,8 % Ausschachtung. Die Ausschachtungsergebnisse sind mit den Ergebnissen ausgemästeter Jungochsen (320 kg SG) vergleichbar (Steinberger et al., 2012). Die Klassifizierung (EUROP = 1-5) der Schlachtkörper der Kastraten erfolgte im Mittel in 2,9, die Einstufung der Bullen erfolgte in 2,8 (Tab. 3).

Tab. 3: Schlachtleistung und Schlachtkörpermaße der Absetzer nach Kategorie im Mittel des Untersuchungszeitraumes

	2011-2012	
	Bullen n = 17	Ochsen n = 16
Schlachthofgewicht kg	447^a	413^b
Stabw.	39,0	31,8
Schlachtkörpergewicht kg	254^a	233^b
Stabw.	24,5	22,5
Ausschachtung %	56,8	56,4
Stabw.	1,1	1,7
EUROP Klasse (1-5)	2,8	2,9
Stabw.	0,6	0,6
Rückenmuskelfläche cm x cm	55,1^a	49,4^b
Stabw.	6,8	7,0
Pistolengewicht kg	56,0^a	52,2^b
Stabw.	4,5	5,0

Bei den Schlachtkörpermaßen konnte ein signifikanter Unterschied zu Gunsten der Bullen ermittelt werden. Die Rückenmuskelfläche und das Pistolengewicht waren bei den Ochsen schwächer ausgebildet.

Allerdings ergaben sich bereits bei vorliegendem niedrigen Schlachalter deutliche Unterschiede in den Abschnitten. Die Gewichte für Vorderfüße, Kopf und Haut lagen für die Bullen z. T. deutlich höher. Die Ochsen wiesen hingegen einen höheren Anteil an Nierentalg auf (Tab. 4).

Tab. 4: Abschnitte der Absetzer nach Kategorie im Mittel des Untersuchungszeitraumes

	2011-2012	
	Bullen n=17	Ochsen n=16
Vorderfüßengewicht kg	5,2	4,9
Stabw.	0,4	0,4
Kopfgewicht kg	12,1^a	10,8^b
Stabw.	1,1	0,8
Hautgewicht kg	38,7^a	34,1^b
Stabw.	6,1	4,3
Nierentalg kg	4,0^a	5,3^b
Stabw.	1,2	1,4

Die Fettgewebeklasse (1-4) betrug 2,3-1,8. Der Intramuskuläre Fettanteil (IMF) betrug bei den Ochsen 1,9%, bei den Bullen 1,5% (Tab. 5).

Tab. 5: Fettbildung der Absetzer nach Kategorie im Mittel des Untersuchungszeitraumes

	2011-2012	
	Bullen n=17	Ochsen n=16
Fettgewebeklasse (1-4)	1,8^a	2,3^b
Stabw.	0,4	0,5
Marmorierung Punkte	1,3	1,5
Stabw.	0,5	0,5
IMF %	1,5^a	1,9^b
Stabw.	0,5	0,4

Zeigten die Schlachtkörper der Ochsen überwiegend eine zufriedenstellende Fettabdeckung so erreichten gerade sehr wüchsige Bullenabsetzer zum Teil keine ausreichende Abdeckung und lieferten einen „blauen“ Schlachtkörper.

4. Diskussion/Fazit

Zur optimalen Nutzung des Weideaufwuchses hat sich die Winterkalbung bewährt. Obwohl die Zeitdauer des unterschiedlichen Hormonstatus der Kälber relativ kurz war (Kastration mit etwa 3-4 Monaten), zeigte sich eine deutliche Differenzierung hinsichtlich Mast- und Schlachtleistung. Die Tiere beider Kategorien erzielten während der Säugeperiode sehr hohe Leistungen. Zusammenfassend zeigt die vorliegende Untersuchung, dass mit der Schlachtung von zehnmonatigen Absetzern ein hervorragender Schlachtkörper erzielt werden kann. Hinsichtlich der geforderten Schlachtkörperqualität ist der Ochse zu bevorzugen. Vor allen Dingen spielten die Kastraten ihre Vorteile gegenüber den Bullen im Herdenmanagement aus. Gerade im Nebenerwerb betriebene Kleinbetriebe bedürfen ruhiger, leicht zu handhabender Tiere. Hinsichtlich Futtereffizienz ist das Verfahren „Absetzerschlachtung“ gegenüber der Ausmast von Ochsen zu bevorzugen. Ein an der LLA Bayreuth durchgeführter Ochsenmastversuch von zehn Monate gesäugten Mutterkuhabsetzern erbrachte ein Leistungsniveau von 1000 g Zuwachs/Tag. Für einen Zuwachs nach dem Absetzen von 190 kg während einer 6,2 monatigen Mastperiode wurden knapp 20 dt TM Futter verbraucht (Steinberger et al., 2012). In einem früheren Ochsenmastversuch ab Kalb (Rasse FV, 88 kg LG) der früheren Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht, Grub (BLT) konnten Kögel et al. (2002) mit einer Weideperiode und einer dreimonatigen Ausmast mit Maissilage, Kraffutter und Heu bei einem Mastendgewicht von 558 kg Lebenstagszunahmen von 770 g erzielen. In einer neueren Untersuchung zur weidebasierten Ochsenmast ab Fresser (Rasse FV, 170 kg LG) (Bellof et al., 2013) wurde während einer Mastperiode von 20 Monaten ein Lebendmassezuwachs von 460 kg erreicht. Dies entspricht einer täglichen Zunahme von 750 g. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass mit zunehmendem Lebendgewicht, ein steigender Anteil der gefressenen Futterenergie für den Erhaltungsbedarf aufgezehrt wird. Dieser Anteil ist umso höher, je niedriger das Leistungsniveau und je länger die Mastdauer ist. Dadurch zeigt sich die erhebliche Überlegenheit der Absetzerschlachtung zu den bisherigen Verfahren der Ochsenmast. Für eine Etablierung am Markt ist eine entsprechende Kategorie (Mutterkuhabsetzer, Weidejungrind etc.) zu platzieren, die

professionell beworben werden muss. Als Beispiel kann das Vorgehen beim „Tiroler Jahrling“ dienen. Vor allen Dingen die positive Qualität der Prozessqualität als „Weidekalb, Weidejungrind etc.“ sollte in der Vermarktungsstrategie genutzt werden.

5. Literaturangaben

- Bellof, G., Schmidt, E., Weindl, P., 2013: Weideochsenmast zur Erzeugung und Vermarktung von Rindfleisch mit erhöhten Gehalten an Omega-3-Fettsäuren und konjugierten Linolsäuren („Functional Food“). Schlussbericht zum Forschungsvorhaben 17090 X 10.
- Bundesverband Deutscher Fleischerzüchter, 2011: Statistischer Jahresbericht 2011, 5.
- Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG), 2009: Empfehlungen zur Fütterung von Mutterkühen und deren Nachzucht. DLG-Verlag, Frankfurt am Main. http://statictypo3.dlg.org/fileadmin/downloads/fachinfos/futtermittel/Stellungnahme-Empfehlungen_Mutterkuehe.pdf.
- Kögel, J., Pickl, M., Faulhaber, I., Edelmann, P., 2002: Ochsenmast ist eine Alternative. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 23, 21-23.
- Ruetz, C., 2013: Tiroler Jahrling – ein Qualitätsprodukt. Allgäuer Bauernblatt 20, 28-29.
- Steinberger, S., Spiekers, H., 2008: Mutterkühe auf Kondition füttern. Fleischer Journal 4/2008, 6-8.
- Steinberger, S., 2011: Weideprofis messen den Bestand: Wie teilt man die Weidefläche richtig zu. Bayr. Landw. Wochenbl. 17, 32.
- Steinberger, S., Prischek, R., Böker, K., 2011: Mutterkühe: Hohe Zunahmen auf Kurzrasenweide. Top agrar 4, R30-R33.
- Steinberger, S., Ettle, T., Spiekers, H., Pickl, M., Böker, K., Prischek, R., 2012: Untersuchung zur Ausmast von Ochsen aus der Mutterkuhhaltung. VDLUFA-Schriftenreihe Band 68/2012, 695-702.

Vergleichende Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit einer ganzjährigen Freilandhaltung gegenüber einer Winter-Stallhaltung von Mastochsen verschiedener Rassen unter Berücksichtigung einer grünlandbasierten Fütterung

P. Weindl, G. Bellof, E. Schmidt

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Land- und Ernährungswirtschaft, Fachgebiete Tierernährung sowie Tierzucht und Tierhaltung, Freising

1. Einleitung und Fragestellung

Die Weidemast von Ochsen kann auf Grünlandstandorten ein alternatives Verfahren zur Erzeugung von qualitativ hochwertigem Rindfleisch darstellen. In einem Versuch der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) im Lehr- und Versuchsbetrieb Zurnhausen mit insgesamt 48 Tieren sollte untersucht werden, inwieweit Rasse (Deutsche Holsteins (DH) vs. Deutsches Fleckvieh (FV)), Haltung (ganzjährige Freilandhaltung ab 250 kg LM = Outdoor vs. Winter-Stallhaltung = Indoor) und Weidesystem (Kurzrasenweide (KRW) vs. Umtriebsweide (UTW)) sich auf die Mastleistung, den Schlachtkörperwert und die Wirtschaftlichkeit auswirken.

2. Material und Methoden

Der Versuch erstreckte sich über den Zeitraum Januar 2011 bis Oktober 2012. Die Tiere wurden aber bereits im Oktober 2010 als Kälber von einer regionalen Erzeugergemeinschaft (Herkunft der Tiere: Bayern und Baden-Württemberg) angekauft und auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb der HSWT bis zum Versuchsbeginn aufgezogen. Nähere Informationen hierzu liefern Maier et al. (2012).

Die Haltungsgruppen „Outdoor“ und „Indoor“ wurden zu Versuchsbeginn mit jeweils 24 zufällig ausgewählten Tieren gebildet. Diese bestanden jeweils aus 12 FV und 12 DH, welche wiederum symmetrisch auf die beiden Weidestandorte verteilt waren. Der Versuchszeitraum gliederte sich in die Phasen 1 (P-1,

Stallhaltung, 107 Tage), 2 (P-2, Weidegang KRW oder UTW, 170 Tage), 3 (P-3, Stall- oder Freilandhaltung, 173 Tage) und 4 (P-4, Weidegang KRW oder UTW, 126 bis 189 Tage). Die Haltung während der P-1 erfolgte – für alle Tiere gleich – in zwei isolierten Festställen (Boxenstall mit Vollspaltenboden) auf dem Staatsgut Hirschau der TU München. Je Bucht (4 m x 3 m) wurden sechs Tiere eingestallt. Gefüttert wurden die Tiere *ad libitum* mit Grassilage (Folgeschnitte) aus Rundballen bzw. aus Fahrsilos. Die Silage wurde mit einem Futtermischwagen vorgelegt. Zusätzlich erhielten die Tiere 1 kg mineralisierten Getreideschrot (Mais, Weizen, Gerste) pro Tier und Tag. Die Inhaltsstoffe und der energetische Futterwert der eingesetzten Grobfuttermittel kann der Tabelle 1 entnommen werden. In den Weidephasen P-2 und P-4 erfolgte keine Beifütterung mit Kraftfutter. Lediglich in den letzten vier Wochen vor dem geplanten Schlachttermin erhielten die Ochsen an einer Abrufstation bis zu 1 kg Kraftfutter pro Tag.

Tab. 1: Inhaltsstoffe und energetische Futterwerte der Weideaufwüchse sowie der eingesetzten Grassilagen

Merkmal		Grassilagen			Weideaufwüchse			
		Indoor	Indoor	Outdoor	Kurzrasenweide		Umtriebsweide	
		P-1	P-3	P-3	P-2	P-4	P-2	P-4
TM-Gehalt	g/kg FM	365	485	422	-	-	-	-
Rohasche	g/kg TM	113	100	98	108	116	78	92
Rohprotein	g/kg TM	143	153	157	220	244	172	177
Rohfaser	g/kg TM	253	266	275	200	207	239	253
Energie ¹⁾	MJ ME/kg TM	9,39	9,70	9,91	10,90	11,28	10,09	10,33

¹⁾nach GfE (2008)

Die Haltung der Outdoor-Gruppe erfolgte in der P-3 auf einem ca. 1 ha großen Teilstück der KRW. Die Liegefläche war nicht überdacht, aber nach Westen, Norden und Osten mit Strohballen gegen Wind geschützt und wurde i. d. R. täglich eingestreut. Dort stand den Tieren zudem ein befestigter Futterplatz zur Verfügung. Auf der Fläche befanden sich zwei überdachte Viereckfutterraufen mit jeweils 12 Fressplätzen sowie eine frostsichere Tränke und eine Kraftfutterabrufstation. Bei Bedarf wurde die Fläche mit einem Frontladerschlepper abge-

schoben. Den Tieren wurde Rundballen-Grassilage von Folgeaufwüchsen zur freien Aufnahme vorgelegt. Die Haltung der Indoor-Gruppe in der P-3 erfolgte analog zur P-1.

Die Weidefutteraufnahme wurde auf der UTW durch Differenzrechnung aus Bestand zu Weideauftrieb und dem Weiderest nach Abtrieb ermittelt. Auf der KRW erfolgte die Ertragsermittlung in der ersten Weidesaison anhand des Zuwachses unter sechs Weidekörben ($\approx 2 \text{ m}^2$) und der jeweils im Beobachtungszeitraum zugeteilten Weidefläche. In der zweiten Weidesaison wurden die Weidekörbe der KRW durch drei ausgezäunte Weideparzellen (je ca. 30 m^2) ersetzt.

Die Schlachtung der Tiere erfolgte bei Erreichen des Zielgewichts zu fünf Terminen im Zeitraum Mitte August bis Ende Oktober 2012 im Versuchsschlachthaus der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Poing-Grub. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programm SPSS, V 20.0 (IBM, New York, USA). Für alle Merkmale erfolgte eine dreifaktorielle Varianzanalyse (Rasse, Haltungsform, Weidesystem; Kovariable: Mastendgewicht) nach der Methode ‚General Linear Model‘. Differenzen wurden jeweils mit dem F-Test geprüft. Bei gesichertem F-Test wurde ein Vergleich der Mittelwerte mit dem Tukey-Test vorgenommen.

3. Ergebnisse und Diskussion

Das Weidesystem hatte mit Ausnahme der Schlachtausbeute (KRW 56,1 % vs. UTW 55,3 %) im gewählten Modell keinen Einfluss auf die erhobenen Parameter. Daher wird dieser Faktor nachfolgend nicht näher betrachtet und in den Ergebnistabellen nicht ausgewiesen. Die Rasse FV zeigte sich sowohl im Anfangsgewicht (P-1) als auch im Mastendgewicht der Herkunft DH signifikant überlegen.

Auch die Masttagszunahme weist eine signifikanten Überlegenheit zugunsten der FV-Ochsen auf. Bedingt durch niedrigere Tageszunahmen (TGZ) in der P-3 ergab sich für die Outdoor-Gruppe ein signifikant niedrigeres Anfangsgewicht zur P-4. Die verringerte Leistung in der P-3 könnte auf einen höheren Erhaltungsbedarf während des Winters zurückzuführen sein. Der Gewichtsrückstand konnte jedoch durch signifikant höhere TGZ der Outdoor-Gruppe in der P-4 wieder kompensiert werden. Auf die Mastendgewichte und die Masttagszunahme

hatte die Winterhaltung somit keinen signifikanten Einfluss. Zwei Tiere der Indoor-Gruppe mussten während der P-3 wegen Fressunlust und gestörtem Allgemeinbefinden behandelt werden. In der Outdoor-Gruppe waren keine krankheitsbedingten Behandlungen erforderlich.

Tab. 2: Anfangs- und Endgewichte während der Versuchsphasen sowie die Masttagszunahme in Abhängigkeit der Rasse und der Haltungsform im 2. Winter (LS-Means)

Merkmal		Rasse		SEM	p	Haltung in P-3		SEM	p
		DH	FV			Outdoor	Indoor		
Anfangsgewicht P-1	kg	158,4	172,4	3,4	0,006	164,6	166,1	3,4	0,757
Anfangsgewicht P-2	kg	251,4	256,1	4,4	0,455	252,6	254,9	4,5	0,719
Anfangsgewicht P-3	kg	383,5	393,3	5,5	0,213	383,4	393,4	5,6	0,218
Anfangsgewicht P-4	kg	502,0	528,9	5,4	0,001	502,6	528,3	5,5	0,002
Mastendgewicht	kg	611,1	639,4	4,6	0,000	626,4	624,0	4,70	0,724
Masttagszunahme	g/d	718	781	10,9	0,000	758	741	11,0	0,273

In der Tabelle 3 ist die durchschnittliche Futteraufnahme der Tiere während der vier Mastphasen dokumentiert. Verrechnet man die unterstellten Futteraufnahmen mit den jeweiligen ME-Gehalten der Futtermittel, so ergibt sich die durchschnittliche ME-Aufnahme pro Tier und Tag. In Tabelle 4 sind diese Werte phasenbezogen dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass die kalkulierten Energieaufnahmen v. a. in der P-3 und noch deutlicher in der P-4 um bis zu + 46,4 % von den ME-Bedarfsempfehlungen der GfE (1995) für Mastochsen abweichen. Hierfür ist in erster Linie die deutlich erhöhte Futteraufnahme der Tiere im vorliegenden Versuch verantwortlich. In vergleichbaren Weidemastversuchen mit Ochsen (Boadi et al. (2002), French et al. (2001), McCaughey et al. (1997), Barton et al. (1992)) wurden bei Erhebung der Weidefutteraufnahme am Tier (indirekte Messmethoden) ähnliche Werte hinsichtlich der Trockenmasseaufnahme in Bezug zum Lebendgewicht gefunden. Somit erscheinen die in der vorliegenden Studie ermittelten Werte durchaus plausibel. Die Übertragbarkeit von Bedarfsempfehlungen, welche aus Stall-Mastversuchen mit erhöhter Füt-

terungsintensität abgeleitet wurden, ist somit für die Weidemast von Ochsen zu hinterfragen.

Tab. 3: Durchschnittliche Futteraufnahme pro Tier und Tag während der Versuchsphasen in Abhängigkeit der Rasse und der Haltungform in Phase 3 (LS-Means)

Merkmal		DH	FV	Indoor	Outdoor
Grassilage P-1 ¹⁾	kg TM/d	4,5	4,6	4,5	4,5
Weideaufwuchs P-2 ¹⁾	kg TM/d	7,0	7,0	7,0	7,0
Grassilage P-3 ¹⁾	kg TM/d	9,2	9,3	9,5	9,0
Weideaufwuchs P-4 ¹⁾	kg TM/d	11,9	12,3	12,1	12,1
Kraffutteraufnahme P-1 ²⁾	kg TM/d	0,9	0,9	0,9	0,9
Kraffutteraufnahme P-2 ³⁾	kg TM/d	--	--	--	--
Kraffutteraufnahme P-3	kg TM/d	0,6	0,6	0,5	0,7
Kraffutteraufnahme P-4 ⁴⁾	kg TM/d	0,7	0,7	0,7	0,7

¹⁾Werte wurden nur als Gruppenmittel kalkuliert, deshalb keine statistische Auswertung ²⁾ alle Tiere erhielten in P-2 1 kg Kraffutter pro Tier und Tag ³⁾keine Kraffutterbeifütterung ⁴⁾ Zufütterung erfolgte nur in den letzten 28 Tagen vor der Schlachtung

Tab. 4: Gegenüberstellung von täglicher ME-Aufnahme auf Basis der erhobenen Futteraufnahme von Weideochsen und des ME-Bedarfes von Ochsen nach Empfehlungen der GfE (1995)

Merkmal		DH		FV	
		Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Abweichung ME-Aufnahme zu ME-Bedarf					
P-1	%	+ 6,3	+ 7,1	+ 9,3	+ 10,1
P-2	%	+ 11,4	+ 13,5	+ 7,0	+ 8,9
P-3	%	+ 25,9	+ 26,0	+ 18,7	+ 16,7
P-4	%	+ 46,4	+ 36,2	+ 42,3	+ 33,0

¹⁾nach GfE (1995); unterstellt wurde ein erhöhter ME-Erhaltungsbedarf (P-2 und P-4: +15%; Outdoor-Gruppe P-3: +20%)

Die Berechnung der Deckungsbeiträge erfolgte, getrennt nach den Gruppen: DH-Indoor, DH-Outdoor, FV-Indoor und FV-Outdoor, mit Hilfe der Online-Anwendung „Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten – Bullenmast“ der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, 2013). Soweit Versuchsdaten

vorlagen, wurden diese in die Kalkulationen übernommen. Die Berechnung der Marktleistung basiert auf den erhobenen Schlachtkörpergewichten und der durchgeführten Klassifizierung (Tab. 5).

Tab. 5: Ausgewählte Merkmale des Schlachtkörpers in Abhängigkeit der Rasse und der Haltungsform im 2. Winter (LS-Means)

Merkmal		Rasse		SEM	p	Haltung in P-3		SEM	p
		DH	FV			Outdoor	Indoor		
Schlachtkörper- masse	kg	311,6	339,8	2,67	0,000	328,6	322,8	2,71	0,146
Schlachtaus- beute	%	54,9	56,6	0,24	0,000	56,0	55,4	0,25	0,076
Fleischigkeits- klasse ¹⁾	Pkt.	3,3	7,7	0,22	0,000	5,5	5,5	0,22	0,972
Fettklasse ²⁾	Pkt.	4,80	5,80	0,22	0,001	5,5	5,1	0,22	0,239
IMF (M.I.d.)	%	4,0	2,6	0,22	0,000	3,0	3,6	0,23	0,103

¹⁾nach EUROP, zusätzlich in drei Unterklassen unterteilt, Punkteskala 1-15 (1 = P-, 2 = Po, 3 = P+, ..., 15 = E+) ²⁾nach EUROP, zusätzlich in drei Unterklassen unterteilt, Punkteskala 1-15 (1 = 1-, 2 = 1o, 3 = 1+, ..., 15 = 5+)

Beim Erlös pro kg Schlachtkörpergewicht (SG) und somit auch bei der Marktleistung zeigt sich, aufgrund der höheren Fleischigkeitsklassen, eine deutliche Überlegenheit zu Gunsten der FV-Ochsen. Die Outdoor-Haltung führt zu keinen signifikanten Unterschieden im Schlachtkörperwert und damit im Erlös pro Tier. Bei der Bewertung des Wirtschaftdüngers erfolgt ein Abschlag in Höhe von 25 % zu Lasten der Outdoor-Gruppe in der P-3, da von höheren Nährstoffverlusten aufgrund von Niederschlag ausgegangen werden kann. Zudem muss bei der Outdoor-Haltung von einer höheren Einstreumenge pro GV und Tag ausgegangen werden, um eine tiergerechte, trockene Liegefläche gewährleisten zu können. Die hohe Futtermenge führt in Verbindung mit moderaten Tageszunahmen und einer daraus resultierenden verlängerten Mastdauer trotz eines hohen Anteils kostengünstigen Weideaufwuchses sowohl hinsichtlich des Deckungsbeitrags nach Futterkosten (DB II, vgl. Tab. 6) wie auch unter Vollkostenbetrachtung (vgl. Tab. 7) zu hohen Futterkosten.

Tab. 6: Vergleichende Deckungsbeitragsrechnung¹⁾ unter Berücksichtigung der Rasse und der Haltungform im 2. Winter

Merkmal	DH		FV	
	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Erlös pro kg SG, netto ²⁾	€ 3,52	3,49	4,10	4,13
Marktleistung, brutto	€ 1.160,92	1.169,84	1.481,52	1.519,56
Wirtschaftsdünger ³⁾⁴⁾	€ 186,38	155,00	186,38	155,00
Summe Leistungen	€ 1.347,30	1.324,84	1.667,90	1.674,56
Einstellwert Fresser ⁵⁾	€ 428,-	426,-	732,-	730,-
Kraft- und Mineralfutter	€ 80,54	68,62	80,20	69,62
Tierarzt/Medikamente ⁶⁾	€ 50,-	45,-	50,-	45,-
Einstreu ⁷⁾	€ 120,-	187,-	120,-	187,-
Wasser, Energie ⁸⁾	€ 23,-	23,-	23,-	23,-
variable Maschinenkosten ⁸⁾	€ 30,-	30,-	30,-	30,-
Gebühren, Beiträge ⁸⁾	€ 11,-	11,-	11,-	11,-
Summe variable Kosten	€ 742,54	790,62	1.046,20	1.095,62
DB I	€ 604,76	534,22	621,70	578,94
Grobfutter ⁹⁾	€ 502,67	505,40	482,79	481,17
DB II	€ 102,09	28,82	138,91	97,78

¹⁾pauschalierender Betrieb, Beobachtungszeitraum 36 Monate, Stand: Mai 2013 ²⁾ Durchschnittspreis je kg SG auf Grundlage von LfL-Daten, unter Berücksichtigung der Handelsklasseneinstufung der Versuchstiere, Zuschlag von + 0,50 €/kg SG für Markenfleischprogramm ³⁾maximaler Wirtschaftsdüngerwert, inkl. Ausbringungskosten, bei 35-prozentiger Ausnutzung des ausgeschiedenen Stickstoffs und 100-prozentiger Verwertung von P und K ⁴⁾monetäre Bewertung der nutzbaren Reinnährstoffe in € je kg: N = 1,17, P₂O₅ = 1,32, K₂O = 0,76 ⁵⁾Einstellwert = Kälberpreis (DH: 69 kg LG, 2,42 €/kg LG netto, FV: 76 kg LG, 5,81 €/kg LG netto) + variable Kosten (kalkuliert bis Mastanfangsgewicht zu Phase 1) + Gewinnbeitrag ⁶⁾höherer Ansatz für Tierarztkosten wegen mehrmaliger Endo- und Ektoparasitenbehandlung ⁷⁾10,- €/dt Stroh, 4 kg Stroh/Tag und GV während Winterstallhaltung, Outdoorgruppe im zweiten Winter: 10 kg Stroh/Tag und GV ⁸⁾Standardwerte LfL-Deckungsbeitragsrechner Bullenmast ⁹⁾ variable Kosten der eingesetzten Grobfuttermittel: Grassilage: 13,17 €/dt TM; Weideaufwuchs: 7,88 €/dt TM

Insgesamt erzielen die Outdoor-Varianten geringere Deckungsbeiträge als die Indoor-Varianten (DB I -57,- € bzw. DB II -58,- €/Tier). Da für eine nachhaltig rentable Betriebsführung der Deckungsbeitrag nur bedingt geeignet ist, wurden zudem weitere Erfolgskennzahlen, unter Berücksichtigung von Vollkosten und kalkulatorischen Faktorkosten, berechnet (Tab. 7). Hieraus ergibt sich,

dass unter den unterstellten Bedingungen, erst ab einem Schlachterlös von 5,56 € (DH) bzw. 5,79 (FV) €/kg SG bei ganzjähriger Freilandhaltung von einem vollkostendeckenden Preis ausgegangen werden kann.

Tab. 7: Vergleichende Vollkostenrechnung¹⁾ und Berechnung des jeweiligen Unternehmergewinns unter Berücksichtigung der Rasse und der Haltungsform im 2. Winter

Merkmal	DH		FV	
	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Grobfutter zu Vollkosten ²⁾	€ 744,82	750,28	717,26	716,01
Gebäude, Technik ³⁾	€ 318,00	213,00	318,00	213,10
sonstige Festkosten	€ 9,00	9,00	9,00	9,00
Gewinnbeitrag des Verfahrens	€ - 467,06	- 438,06	- 422,36	- 359,54
kalkulatorische Faktorkosten	€ 284,90	273,30	285,70	262,60
Unternehmergeinn je Tier	€ - 751,96	- 711,36	- 708,06	- 622,14
Vollkosten je Tier	€ 2.099,26	2.036,20	2.375,96	2.296,71
vollkostendeckender Erlös ⁴⁾	€ 5,74	5,56	6,02	5,79
bei 65 erzeugten Tieren p.a.				
Gesamt-DB I	€ 39.309,51	34.724,38	40.423,48	37.606,63
Gesamt-DB II	€ 6.635,68	1.873,24	9.042,38	6.330,85
Unternehmergeinn	€ -48.877,57	-46.238,10	-46.023,83	-40.439,40

¹⁾pauschalierender Betrieb, Beobachtungszeitraum 36 Monate, Stand: Mai 2013

²⁾Festkosten der eingesetzten Grobfuttermittel (GuV-Kosten/ kalkulatorische Faktorkosten): Grassilage: 20,43/1,83 €/dt TM; Weideaufwuchs: 11,19/1,38 €/dt TM ³⁾ Indoor: Tretmiststall für 135 Tiere, von 150 bis 600 kg LG, Outdoor: Tiefstreustall für 70 Tiere von 150 bis 300 kg LG sowie Befestigung und Weideeinrichtung für 65 Tiere in Outdoorhaltung, KTBL (2012) und eigene Kalkulationen⁴⁾je kg SG, netto, unter Berücksichtigung aller Schlacht-/Vermarktungskosten und Nebenleistungen

4. Schlussfolgerungen

Die Outdoor-Haltung ohne Unterstand im zweiten Winter beeinträchtigte die Gesundheit der Tiere in keiner Weise (keine Verluste, keine krankheitsbedingten Behandlungen). Hinsichtlich der Mastendgewichte zeigten sich die FV-Tiere den DH-Tieren signifikant überlegen (639 kg vs. 611 kg). Auch bei den wesentlichen Merkmalen des Schlachtkörperwertes waren die FV-Tiere signifikant

überlegen. Zwischen den Gruppen „Outdoor“ und „Indoor“ zeigten sich nur geringe Unterschiede bezüglich Mastleistung und Schlachtkörperwert. Die ökonomische Bewertung zeigt rassenübergreifend und unter Berücksichtigung der Vollkosten wirtschaftliche Vorteile zugunsten der ganzjährigen Freilandhaltung (+ 63,- €/Tier). Jedoch reichen die derzeit erzielbaren Schlachterlöse in keinem der kalkulierten Produktionsverfahren annähernd aus, um eine Vollkostendeckung zu erzielen. Der Einstieg in eine grünlandbasierte Ochsenmast kann deshalb nur Landwirten empfohlen werden, die ihre Grünlandflächen anderweitig nicht verwerten und durch zusätzliche Prämienoptimierung (Nutzung von Ökopremien, Agrarumweltprogrammen, etc.) und/oder durch spezielle Vermarktungswege (Direktvermarktung, hochpreisige Gastronomie) die Marktleistung erhöhen können.

Diese Studie wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter der Kennnummer 17090X10 gefördert.

5. Literaturangaben

- Barton, R.K., Krysl, L.J., Judkins, M.B., Holcombe, D.W., Broesder, J.T., Gunter, S.A., Beam, S.W., 1992: Time of daily supplementation for steers grazing dormant intermediate wheatgrass pasture. *J. Anim. Sci.* 70, 547-558.
- Boadi, D.A., Wittenberg, K.M., McCaughey, W.P., 2002: Effects of grain supplementation on methane production of grazing steers using the sulphur (SF_6) tracer gas technique. *Can. J. Anim. Sci.* 82, 151-157.
- French, P., O'Riordan, E.G., O'Kiely, P., Caffrey, P.J., Moloney, A.P., 2001: Intake and growth of steers offered different allowances of autumn grass and concentrates. *Anim. Sci.* 72, 129-138.
- GfE, 1995: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastriinder. Ausschuss für Bedarfsnormen der GfE, DLG-Verlag, Frankfurt/M.
- GfE, 2008: Neue Gleichungen zur Schätzung der Umsetzbaren Energie für Wiederkäuer von Gras- und Maisprodukten. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 17, 191-198.
- LFL, 2013: Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. Onlineanwendung, Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, abgerufen unter <https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html>, abgerufen am 25.05.2013.

Maier, S., Weisenberger, K., Weindl, P., Bellof, G., 2012: Einsatz eines Ergänzungsfuttermittels mit erhöhten Konzentrationen mittelkettiger und mehrfach ungesättigter Fettsäuren in der Fresseraufzucht. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung am 14. und 15. März 2012 in Fulda.

McCaughey, W.P., Wittenberg, K., Corrigan, D., 1997: Methane production by steers on pasture. *Can. J. Anim. Sci.* 77, 519-524.

SPSS Inc., 2006: SPSSX user's guide. New York: McGrawHill.

Zum Einfluss von Rasse, Weidesystem und Konzentratbeifütterung auf die Mastleistung, den Schlachtkörperwert sowie die Fleischbeschaffenheit von Mastochsen

M. Schmutz, P. Weindl, S. Carrasco, G. Bellof, E. Schmidt
Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Land- und Ernährungswirtschaft, Fachgebiete Tierernährung sowie Tierzucht und Tierhaltung, Freising

1. Einleitung und Fragestellung

Weltweit betrachtet wird qualitativ hochwertiges Rindfleisch überwiegend als Ochsenfleisch produziert. In Deutschland wird der Rindfleischmarkt allerdings dominiert von Fleisch, das hauptsächlich von intensiv gemästeten Jungbullern und gemerzten Milchkühen stammt. Voraussetzung für die intensiven Produktionsverfahren sind landwirtschaftliche Gunstlagen, die den Anbau von Mais ermöglichen. In benachteiligten Grünlandregionen sind daher alternative Produktionsverfahren mit einer effizienten Nutzung der natürlichen Ressourcen und einem möglichst geringen Einsatz von Zukaufs-Futtermitteln nötig. Mit der vorliegenden Studie wurde eine im Wesentlichen auf Gras und Grasprodukten basierende Ochsenmast durchgeführt. Ziel war es, den Einfluss von Rasse, Weidesystem und Konzentratniveau auf die Mastleistung, den Schlachtkörperwert sowie die Fleischbeschaffenheit von Ochsen zu prüfen.

2. Material und Methoden

Die Durchführung des Versuchs erfolgte mit 96 Ochsen im Lehr- und Versuchsbetrieb Zurnhausen der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. Der Versuchsplan sah den Vergleich von zwei genetischen Herkünften (FV vs. DH) und zwei Weidesystemen (KRW vs. UTW) vor. Zusätzlich wurden zwei Kraftfutterniveaus (Medium „M“ vs. Low „L“) untersucht. Die Besetzung der Subzellen (Rasse, Weidesystem, Kraftfutter) erfolgte symmetrisch zu Versuchsbeginn. Der Versuch wurde von Oktober 2010 bis Oktober 2012 in vier Phasen durchgeführt. Die zeitliche Einteilung für den Ochsenmastversuch sowie die geplante Fütterung ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Tab. 1: Versuchsplan für eine grünlandbasierte Ochsenmast

Phase	Monat	Grobfutter	%	Konzentratniveau		Konzentratniveau	
				M		L	
				kg/d	kg/Tier/ Phase	kg/d	kg/Tier/ Phase
1	Jan.-Apr.	Grassilage	100	1	75	1	75
2	Mai.-Sept. Okt.	Weidegras	100	-	-	-	-
		Weidegras	75	-	-	-	-
		Grassilage	25	-	-	-	-
3	Nov.-Mrz.	Grassilage	100	1	152	0,25	38
4	Apr.–Aug.	Weidegras	100	-	-	-	-
	Sept. (Okt.) ¹	Weidegras	100	1	28	0,5	14

¹⁾jeweils 28 Tage vor dem Schlachtermin

Angaben zur Probennahme, zur Messmethodik sowie zur naturräumlichen Lage der Weiden stellen Weindl et al. (2012) vor. Die Weideaufwuchsproben wurden im Futtermittellabor der LKS mbH (Lichtenwalde) mit Hilfe der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) auf die wertbestimmenden Inhaltsstoffe untersucht. Von den Grassilagen wurde pro Futtermischung eine Probe gezogen und der TS-Gehalt bestimmt. Die Einzelproben von zwei Wochen wurden zusammengefasst und im LKV-Labor der LfL in Grub analysiert. Weitere Informationen zur Versuchsdurchführung und Datenerhebung geben Schmutz et al. (2013).

Die Ochsen wurden bei Erreichen des Zielgewichtes nach 24 Stunden Nüchterung im Versuchsschlachthof der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Grub geschlachtet. Unmittelbar vor der Schlachtung wurde das Lebendgewicht der Tiere als sogenanntes Nüchterungsgewicht erfasst. Während der Schlachtung wurden das Gewicht des Nierenfetts und die Schlachtkörpermasse des warmen Schlachtkörpers bestimmt. Die Klassifizierung der Schlachtkörper erfolgte nach dem EUROP-System mit einem 15-Punkteschema. Im Anschluss wurden die Schlachtkörper bei 2-4 °C für 24 Stunden gekühlt. Am folgenden Tag wurden die Schlachtkörpermasse des gekühlten Schlachtkörpers, die Schlachtkörperlänge, der Keulenumfang, das Keulenspißmaß, die Rückenmuskelfläche und das Pistolengewicht ermittelt. Die Marmorierung wurde an der Anschnittfläche der Pistole nach einem 5-Punkteschema

bestimmt. Zur Bestimmung der Fleischbeschaffenheitsparameter wurde je eine Muskelprobe (ca. 500 g) des *Musculus longissimus dorsi* (*M.l.d*) (9. + 10. Rippe) und des *Musculus semitendinosus* (*M.s.*) gewonnen.

Die Untersuchungen zur Fleischbeschaffenheit fanden im Labor für Fleischqualität der LfL Bayern in Grub statt. Die Bestimmung der Fleisch- und Fettfarbe erfolgte mit einem Spektrophotometer. Die Farbwerte sind im L*a*b-System angegeben. Die Fettfarbe wurde im Bereich der Keule am frischen Anschnitt bestimmt. Die Fleischfarbe des *M.l.d* wurde ca. 24 Stunden nach der Schlachtung ebenfalls am frischen Anschnitt bestimmt. Der IMF wurde durch NIRS-Messung der *M.l.d*-Proben (9. Rippe) bestimmt. Proben, deren NIRS-Messwerte sehr ähnlich waren, wurden im Anschluss mittels nasschemischem Verfahren (Säurehydrolyse mit Soxhlet Extraktion) untersucht. Zur Bestimmung der Zartheit wurde von jeder Muskelprobe eine 2,5 cm dicke Scheibe vakuumiert und nach einer Gewichtsbestimmung 13 Tage in einem Umluftkühlschrank bei 4 °C gelagert. Nach 13 Tagen wurden die Lagerverluste bestimmt. Es erfolgte eine pH-Wert-Messung. Die Proben wurden in einem Wasserbad auf 70 °C Kerntemperatur gegart. Nach einer Stunde Auskühlzeit wurden die Garverluste ermittelt. Nach 24 stündiger Lagerung im Kühlschrank wurden mit einem Doppelskalpell pro Muskelprobe 10 Einzelproben mit dem Faserverlauf geschnitten. Zur Bestimmung der Zartheit wurde die Scherkraft mit einem Instron (Typ 4301) gemessen. Ausgewertet wurden Warner-Bratzler Scherkraft beim Maximum (in N) und Scherkraft (in kg/cm²).

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programm SPSS, V 20.0 (IBM, New York, USA). Für alle Merkmale erfolgte eine dreifaktorielle Varianzanalyse, nach der Methode „General Linear Model“. Folgendes statistische Modell wurde verwendet:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + b(x_{ijk} - \bar{X})(x_{ijk} - \bar{X}_{ijk}) + e_{ijk}$$

Dabei bedeuten:

Y_{ijk} : Beobachtungswert des *ijk*-ten Tieres

μ : Populationsmittel

A_i : fixer Effekt der *i*-ten Rasse (FV, DH)

B_j : fixer Effekt des *j*-ten Weidesystems (KRW, UTW)

C_k : fixer Effekt des *k*-ten Konzentrationsniveaus (M, L)

b : partielle Regression auf das Alter der Tiere
(mit Ausnahme des Anfangsgewichts P-1)

e_{ijk} : Restfehler

Differenzen wurden jeweils mit dem F-Test geprüft. Bei gesichertem F-Test wurde ein Vergleich der Mittelwerte mit dem Tukey-Test vorgenommen. Eine Überprüfung von Interaktionen zwischen den untersuchten Einflussfaktoren ergab für die dargestellten Merkmale keine Signifikanz.

3. Ergebnisse und Diskussion

Es zeigt sich, dass die Energie- und Rohproteingehalte der Weideaufwüchse in P-4 über denen in P-2 liegen. Die KRW übertrifft dabei die UTW (Tab. 2). Die Inhaltsstoffe der Grassilagen waren annähernd gleich, ebenso die Konzentrationen für P-1 und P-3. In P-4 wurden zwei mit unterschiedlichen Fetten ausgestattete Konzentrate (Lein vs. Raps) eingesetzt. Die eingestellten Fettanteile führten zu unterschiedlichen ME-Gehalten (Tab. 3). Diese Unterschiede hatten keinen Einfluss auf die untersuchten Merkmale in vorliegender Arbeit.

Tab. 2: Inhaltsstoffe und Futterwert der Weideaufwüchse sowie der eingesetzten Grassilagen in den einzelnen Versuchsphasen

Merkmal	Einheit	KRW		UTW		Grassilage		
		P-2	P-4	P-2	P-4	P-1	P-3 (I) ¹	P-3 (O) ²
TM-Gehalt	g/kg FM	202	198	210	202	365	485	422
Rohasche	g/kg TM	108	116	78	92	113	100	98
Rohprotein	g/kg TM	220	244	172	177	143	153	157
Rohfett	g/kg TM	38	33	31	26	34	31	35
Rohfaser	g/kg TM	200	207	239	253	253	266	275
NDF _{OM}	g/kg TM	445	411	511	493	517	504	524
ADF _{OM}	g/kg TM	232	216	278	265	300	300	296
Energie	MJME/kg TM	10,90	11,28	10,09	10,33	9,39	9,70	9,91

¹Gruppe Indoor ²Gruppe Outdoor

In Tabelle 4 sind die durchschnittlichen Futtermengen der Tiere in den jeweiligen Phasen aufgeführt. Die über die gesamte Mast aufgenommene Menge an Konzentrat lag für die Gruppe L im Durchschnitt bei 191 kg/Tier und für die Gruppe M bei 275 kg/Tier. Allerdings hatten 13 Tiere (5 FV und 8 DH) in P-4 ein Akzeptanzproblem mit der Abrufstation. Dadurch erhielten sie weniger als 6 % der ihnen in dieser letzten Mastphase zustehenden Kraftfuttermenge. Bezogen

auf die gesamte ME-Aufnahme in der Mast lieferte das Konzentrat ca. 5,1 % (M) bzw. 3,6 % (L) der aufgenommenen metabolischen Energie (ME).

Tab. 3: Inhaltsstoffe und Futterwert der eingesetzten Konzentratmischungen in den einzelnen Versuchsphasen

Merkmal	Einheit	P-1	P-3	P-4	
				Leinöl	Rapsöl
TM-Gehalt	g/kg FM	874	864	895	894
Rohasche	g/kg TM	68	68	72	75
Rohprotein	g/kg TM	117	97	131	129
Rohfett	g/kg TM	53	39	80	45
ADF _{OM}	g/kg TM	42	34	206	215
Stärke	g/kg TM	601	654	278	284
Energie	MJ ME/kg TM	13,39	12,96	12,61	11,85

Tab. 4: Erhobene bzw. kalkulierte (Zahlenwerte unterstrichen) durchschnittliche tägliche Futtermittelaufnahme der Tiere in den Versuchsphasen

Futtermittel	Phase	Einheit	Rasse		Weidesystem	
			DH	FV	KRW	UTW
Grassilage	1	kg TM/d	4,5	4,6	-	-
Konzentrat	1	kg TM/d	0,85	0,85	0,85	0,85
Weideaufwuchs	2	kg TM/d	-	-	<u>6,9</u>	<u>7,1</u>
Grassilage (I) ¹	3	kg TM/d	8,9	9,1	9,0	8,9
Grassilage (O) ²	3	kg TM/d	<u>9,5</u>	<u>9,5</u>	-	-
Konzentrat (I) M ³	3	kg TM/d	0,61	0,61	0,61	0,61
Konzentrat (I) L ⁴	3	kg TM/d	0,31	0,31	0,31	0,31
Konzentrat (O)	3	kg TM/d	0,51	0,55	0,53	0,50
Weideaufwuchs	4	kg TM/d	-	-	<u>11,6</u>	<u>12,6</u>
Konzentrat M ^{3,5}	4	kg TM/d	0,74	0,71	0,70	0,75
Konzentrat L ^{4,5}	4	kg TM/d	0,28	0,31	0,26	0,34

¹)Gruppe Indoor ²)Gruppe Outdoor ³)Gruppe Medium ⁴)Gruppe Low ⁵)28 Tage vor Schlachtermin

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Mastleistung dargestellt. Die Rasse FV zeigte sich in fast allen Mastleistungsmerkmalen der Rasse DH überlegen. Mit Ausnahme des Anfangsgewichtes (P-2) waren die Unterschiede signifikant.

In P-1 lagen die TGZ für FV bei 780 g bzw. für DH bei 760 g. Damit betrug die Gewichts­differenz zwischen den Rassen am Ende dieser Phase rund 5 kg. In P-2 ergaben sich für FV 740 g und für DH 720 g TGZ. Die Gewichts­differenz zwischen den Rassen stieg auf rund 8 kg an. In P-3 entwickelten sich die Tiere erkennbar auseinander (TGZ FV: 780 g, DH: 730 g). Diese Entwicklung setzte sich in P-4 fort (TGZ FV: 710 g, DH: 650 g) und führte zu einem signifikant höheren Mastendgewicht für die Rasse FV. Das angestrebte Mastendgewicht von 625 kg wurde von der Gruppe FV um 6 kg übertroffen, während die Gruppe DH dieses um 17 kg unterschritt. Bezogen auf das tatsächliche Schlach­tal­ter unterschieden sich die Gruppen nur um drei Tage (FV 742 Lebenstage vs. DH 745 Lebenstage). Die tendenziell höheren Werte der Gruppe KRW konnten für das Anfangsgewicht Phase 4 statistisch abgesichert werden. Das Kraftfutterniveau übte keinen signifikanten Effekt auf die Merkmale der Mastleistung aus.

Tab. 5: Ausgewählte Merkmale der Mastleistung (LS-means)

Merkmal	Einheit	Rasse		p^1	Weidesystem		p^1	Konzentratniveau		p^1
		DH	FV		KRW	UTW		Medium	Low	
Anfangsgewicht P-1	kg	157	171	***	166	161	n. s.	164	164	n. s.
Anfangsgewicht P-2	kg	248	255	n. s.	253	250	n. s.	251	252	n. s.
Anfangsgewicht P-3	kg	376	392	**	387	382	n. s.	381	390	n. s.
Anfangsgewicht P-4	kg	500	524	***	521	504	**	511	515	n. s.
Mastendgewicht	kg	608	631	***	619	620	n. s.	622	617	n. s.
Masttagszunahme	g/d	712	760	***	732	740	n. s.	740	730	n. s.

¹Irrtumswahrscheinlichkeit: $p > 0,05 = n. s.$, $p < 0,05 = *$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,001 = ***$

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse des Schlachtkörperwerts. Mit Ausnahme der Merkmale Nettozunahme und Nierenfett lassen sich alle weiteren Merkmale zu Gunsten der Rasse FV statistisch absichern. Das Weidesystem übt lediglich auf die Schlachtkörpermasse und die Schlachtausbeute einen signifikanten Einfluss auf. In beiden Fällen ist die Gruppe KRW der Gruppe UTW überlegen. Tiere der KRW zeigen tendenziell eine höhere Pistolenmasse (70,1 vs. 68,9 kg), eine größere Rückenmuskelfläche (54,5 vs. 52,3 cm²) sowie eine bessere Fleischigkeitsklasse (5,7 vs. 5,2 Punkte) auf. Das Konzentratniveau übte auf keines der in Tabelle 6 dargestellten Merkmale einen signifikanten Einfluss aus.

Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse der Fleisch- und Fettbeschaffenheit. DH-Ochsen haben einen signifikant höheren IMF-Gehalt (3,89 %) als FV-Ochsen (2,47 %).

Tab. 6: Ausgewählte Merkmale des Schlachtkörperwertes (LS-means)

Merkmal	Einheit	Rasse		p^1	Weidesystem		p^1	Konzentratniveau		p^1
		DH	FV		KRW	UTW		Medium	Low	
Schlachtkörpermasse	kg	311	334	***	325	319	*	323	321	n. s.
Schlachtausbeute	%	54,8	56,4	***	55,9	55,2	*	55,7	55,5	n. s.
Nettozunahme	g/d	436	446	n. s.	443	439	n. s.	441	440	n. s.
Nierenfett	kg	8,6	7,8	n. s.	8,5	7,9	n. s.	8,4	8,0	n. s.
Rückenmuskelfläche	cm ²	48,3	58,2	***	54,5	52,3	n. s.	53,1	53,7	n. s.
Pistolenmasse	kg	66,1	72,9	***	70,1	68,9	n. s.	69,6	69,4	n. s.
Fleischigkeitsklasse ²		3,3	7,6	***	5,7	5,2	n. s.	5,4	5,5	n. s.
Fettklasse ³		4,8	5,4	**	5,2	4,9	n. s.	5,2	4,9	n. s.

¹) Irrtumswahrscheinlichkeit: $p > 0,05 = n. s.$, $p < 0,05 = *$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,001 = ***$

²) Punkteskala nach EUROP: 1-15 (1 = P-, .15 = E+) ³) Punkteskala nach EUROP: 1 - 15 (1 = 1 -, ... 15 = 5+)

Tab. 7: Ausgewählte Merkmale der Fleisch- und Fettbeschaffenheit (LS-means)

Merkmal	Einheit	Rasse		p^1	Weidesystem		p^1	Konzentratniveau		p^1
		DH	FV		KRW	UTW		Medium	Low	
<i>M. longissimus dorsi</i>										
IMF	%	3,89	2,47	***	3,16	3,20	n. s.	3,31	2,96	n. s.
Marmorierung ²	Punkte	2,77	2,09	***	2,38	2,48	n. s.	2,44	2,38	n. s.
pH ³		5,58	5,60	n. s.	5,59	5,59	n. s.	5,60	5,57	n. s.
WBSK max.	N	66,35	82,95	***	73,53	75,77	n. s.	75,70	72,87	n. s.
Scherkraft	kg/cm ²	4,89	6,11	***	5,42	5,58	n. s.	5,58	5,37	n. s.
Garverlust	%	24,70	25,93	**	25,18	25,45	n. s.	25,20	25,51	n. s.
Helligkeit (L*)		34,98	34,36	n. s.	35,03	34,31	n. s.	34,75	34,54	n. s.
Rotton (a*)		13,32	12,79	*	13,05	13,06	n. s.	13,08	13,01	n. s.
Gelbton (b*)		3,49	2,65	**	3,24	2,90	n. s.	3,23	2,80	n. s.
<i>M. semitendinosus</i>										
WBSK max. ⁴	N	52,56	50,82	n. s.	51,50	51,88	n. s.	51,67	51,73	n. s.
Scherkraft	kg/cm ²	3,88	3,75	n. s.	3,80	3,83	n. s.	3,81	3,81	n. s.
Garverlust	%	30,06	31,23	**	30,32	30,97	n. s.	30,96	30,11	n. s.
Fettfarbe ⁵										
Helligkeit (L*)		64,49	63,83	*	63,74	64,58	**	63,90	64,59	n. s.
Gelbton (b*)		14,16	12,83	***	14,21	12,78	***	13,62	13,29	n. s.

¹) Irrtumswahrscheinlichkeit: $p > 0,05 = n. s.$, $p < 0,05 = *$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,001 = ***$ ²)

Punkteskala 1-5 (1 = sehr gering, 5 = sehr stark) ³) nach 13 Tagen Fleischreifung ⁴)

Warner Bratzler Scherkraft max. ⁵) Farbe des subkutanen Fettes im Bereich der Keule

Dieser Unterschied findet sich auch bei der Marmorierung (2,77 Punkte DH vs. 2,09 FV). Bei den Merkmalen der Zartheit haben Tiere der Rasse DH signifikant geringere Werte im M.I.d., WBSK max. (66,35 vs. 82,95 N) und Scherkraft (4,89 vs. 6,11 kg/cm²). Für den *Musculus semitendinosus* ist kein signifikanter Rasseneinfluss zu beobachten. Tiere der Rasse FV haben signifikant höhere Garverluste (25,93 vs. 24,70 %). Bei der Fleischfarbe ergeben sich signifikant höhere a* und b*-Werte für die Rasse DH (13,32 und 3,49 vs. 12,79 und 2,65). Weiterhin haben DH-Ochsen eine signifikant hellere und gelbere Fettfarbe (64,49 und 14,16 vs. 63,83 und 12,83). Das Weidesystem hat lediglich auf die Fettfarbe einen Effekt (KRW höherer Gelbton b*, UTW höherer L*-Wert).

4. Schlussfolgerungen

Eine grünlandbasierte Ochsenmast mit geringem Kraftfuttereinsatz führt zu befriedigenden Mast- und Schlachtleistungsergebnissen. Während Ochsen der Rasse Deutsches Fleckvieh sich in diesen Merkmalen überlegen zeigen, ist für die Schlachtkörper von Tieren der Rasse Deutsche Holstein eine verbesserte Fleischbeschaffenheit festzuhalten. Der Einfluss des Weidesystems auf die genannten Merkmale ist nur gering. Das System der Kurzrasenweide führt – aufgrund des höheren Futterwerts im Aufwuchs – zu einem leicht verbesserten Schlachtkörperwert. Die während der Mast auf einem niedrigen Niveau durchgeführte, unterschiedliche Konzentratbeifütterung (191 kg/Tier (L) bzw. 275 kg/Tier (M)) übte keinen Einfluss auf die untersuchten Merkmale aus.

Das Forschungsprojekt wurde finanziell unterstützt durch das BMBF-Programm „FHprofUnt“ (Projekt Nr. 17090X 10).

Die Autoren bedanken sich bei den Mitarbeitern der LfL Bayern (Inst. Tierzucht und Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen) für die Unterstützung bei der Schlacht- und Fleischdatenerhebung.

5. Literaturangaben

Schmutz, M., Weindl, P., Carrasco, S., Bellof, G., Schmidt, E., 2013: Effect of breed, grazing system and concentrate supplementation on fattening performance, carcass value and meat quality of steers (eingereicht: Archives Animal Breeding).

SPSS Inc., 2006: SPSSX user's guide. New York: McGrawHill.

Weindl, P., Luderschmid C., Bellof, G., 2012: Vergleichende Untersuchungen zum Nährstoffgehalt und Futterwert von Aufwüchsen der Kurzrasenweide und der Umtriebsweide. Tagungsband zur 50. Jahrestagung der Bayerischen Arbeitsgemeinschaft Tierernährung e. V., Freising.

Weindl, P., Bellof, G., Schmidt, E., 2013: Vergleichende Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit einer ganzjährigen Freilandhaltung gegenüber einer Winter-Stallhaltung von Mastochsen verschiedener Rassen unter Berücksichtigung einer grünlandbasierten Fütterung. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongressband 2013 Berlin, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Einfluss verschiedener Zufütterungsstrategien bei ganztägiger Kurzrasenbeweidung

M. Pries¹, C. Berendonk², A. Verhoeven², C. Verhülsdonk²

¹Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster, ²Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick, Kleve

1. Einleitung

Die Weidehaltung von Milchkühen besitzt eine sehr hohe gesellschaftliche Akzeptanz bei allen Bevölkerungsgruppen, da mit dem Weidegang eine tiergerechte Haltung verbunden wird. Weidehaltung kann maximalen Tierkomfort bieten und soll die Tiergesundheit fördern. Des Weiteren wird die Energie aus Weidefutter deutlich preiswerter zur Verfügung gestellt als Futterenergie aus Konserven in Form von Heu und Silage.

Die Bodennutzungserhebung für Nordrhein-Westfalen weist für das Jahr 2010 Dauergrünland in einem Umfang von etwa 400 000 ha aus, was etwa 28 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche entspricht. Die Landwirte geben an, dass das Grünland zu 21 % als Weide und 51 % als Mähweide genutzt wird. Damit sind etwa 70 % des Grünlandes beweidbar.

Knapp 2 500 Betriebe haben in NRW einen Weideprämienantrag gestellt, um eine Förderung von 35 € je Milchkuh und Jahr zu erhalten. Gemessen an der Zahl aller Milchviehhalter sind dies etwa 27 %. Voraussetzung für die Gewährung der Weideprämie ist unter anderem, dass mindestens 0,2 ha Weidefläche je Milchkuh zur Verfügung gestellt werden. Berücksichtigt man zusätzlich weidehaltende Betriebe ohne Antragstellung, so besitzt die Weidehaltung bei etwa einem Drittel der Milchviehhalter eine größere Bedeutung.

Neuere Untersuchungen zur Weidewirtschaft wurden überwiegend zum Vollweidesystem mit Kurzrasenweide bei saisonaler Abkalbung durchgeführt. Im System Kurzrasenweide werden durchschnittliche Wuchshöhen von etwa 6 cm während der gesamten Vegetation angestrebt. Kennzeichnend ist des Weiteren eine sehr frühe Weidenutzung (Vorweide) zu Vegetationsbeginn bei sehr großzügiger Flächenzuteilung. Zudem soll auf eine Beifütterung weitestgehend verzichtet werden.

2. Material und Methoden

Mit der ökologisch geführten Milchkuhherde des Landwirtschaftszentrums Haus Riswick wurden von 2009 bis 2011 Weideversuche im Kurzrasensystem mit unterschiedlichen Beifütterungsvarianten durchgeführt. Die Ökoherde besteht aus 50 Milchkühen der Rasse Deutsche Holsteins. Zur Verfügung standen 13 ha Dauergrünlandfläche, aufgeteilt in drei Parzellen. Zusätzlich konnten bis zu 12 ha Ackerfutterflächen in Beweidung genommen werden, wenn der Aufwuchs auf den Dauergrünlandflächen zu gering war. Den Tieren wurde ganztägig Weidegang gewährt. Lediglich zum Melken wurden die Tiere morgens und abends für jeweils etwa 2 Stunden in den Stall geholt.

Für die Prüfung unterschiedlicher Zufuttermöglichkeiten wurden die Kühe in zwei Gruppen auf Basis Laktationsnummer, Laktationsstand, Milchmenge, Milchinhaltstoffe und Lebendmasse vor Weideantrieb eingeteilt. In der Gruppe „Weide“ stand den Tieren als Grobfutter ausschließlich Weidegras zur Verfügung. Es wurde eine TM-Aufnahme von 17 kg je Kuh und Tag zu Vegetationsbeginn angenommen, aus der gemäß den Empfehlungen der GfE (2001) eine Milchmenge von 25 kg ECM je Kuh und Tag erzielt werden kann. In der Gruppe „Zufuttergruppe“ wurden in den drei Untersuchungsjahren folgende Zufuttermöglichkeiten geprüft:

- 2009: Zufütterung von 3 kg TM Maissilage je Tier und Tag
- 2010: Zufütterung von 4 kg MLF je Tier und Tag
- 2011: Zufütterung von MLF tierindividuell bei Tagesleistungen oberhalb von 25 kg ECM je Tier und Tag

Das Milchleistungsfutter bestand aus 30 % Körnermais, 26 % Weizen, 15 % Triticale, 28 % HTS Lupine und 1 % Rapsöl. Auf Basis der chemischen Analysen und der Gasbildungsmessung bei der LUFA NRW ergab sich ein Energiegehalt von 7,2 MJ NEL bei 165 g nXP und -2 g RNB je kg. Die Zufütterung erfolgte morgens und abends nach dem Melken. Anschließend gingen beide Gruppen gemeinsam auf die Weide. Die Milchleistungen der Tiere wurden 14-tägig gemäß MLP-Routine ermittelt. Zweimal wöchentlich wurden Wuchshöhenmessungen auf den Weideflächen vorgenommen. Die Planung der Weideflächenzuteilung wurde mit Hilfe des Riswicker Weideplaners durchgeführt.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Wuchshöhenmessungen sind in der Abbildung 1 dargestellt. Es zeigt sich, dass die vorgegebenen Wuchshöhen von 5 bis 7 cm immer eingehalten wurden. Voraussetzung hierfür ist die ständige Messung der Wuchshöhe mittels Herbometer und kurzfristige Anpassungen der zugeteilten Weideflächen, wenn sich die Wuchshöhen aus dem optimalen Zielbereich herausbewegen. Trotz sorgfältiger Planung musste in einigen Situationen über kurze Zeit allen Tieren Silage verabreicht werden, da das Futterangebot auf der Weide nicht ausreichend war. In folgenden Perioden wurde beigefüttert:

- Sommertrockenheit 2009
- Sommertrockenheit 2010

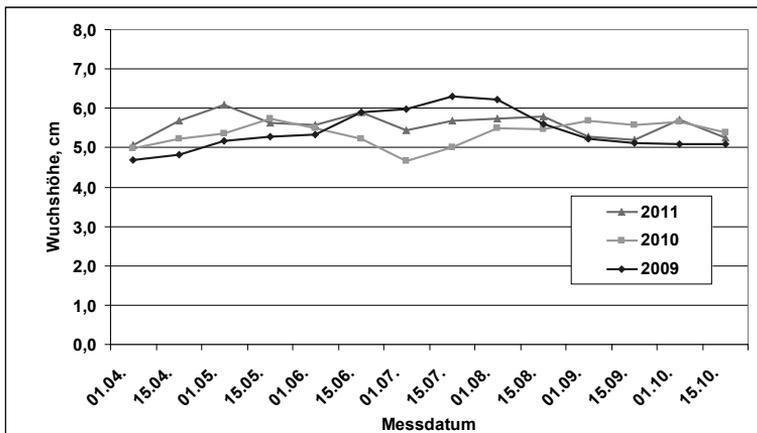


Abb. 1: Mittlere Wuchshöhen während der Vegetation bei ganztägiger Kurzrasenweide für die Jahre 2009-2011

Probleme in der Futteraufnahme aus dem Weidegras ergaben sich ebenfalls in den Monaten September und Oktober in allen drei Versuchsjahren. Bei etlichen Tieren wurde ein laxierender Kotabgang beobachtet. Gleichzeitig ergaben sich sehr hohe Milchharnstoffgehalte.

Die Tabelle 1 zeigt die Milchleistungen in den Futtergruppen während der drei Versuchsjahre. Über die Jahre betrachtet wurden Leistungen zwischen 22,8 und 25,5 kg ECM/je Tier und Tag von April bis einschließlich Oktober erzielt.

Tab. 1: Leistungen der Weide- und Zufuttergruppen in den verschiedenen Versuchsjahren

Jahr	2009		2010		2011	
	Weide	Weide + 3 kg TM Maissil.	Weide	Weide + 4 kg MLF	Weide	Weide + MLF >25 kg Milch
Milchmenge, kg	23,3	23,0	24,1	25,8	24,1	24,8
Fett, %	3,98	4,03	3,93	4,03	4,04	3,90
Protein, %	3,10	3,17	3,19	3,26	3,24	3,21
Harnstoff, ppm	339	290	359	343	326	325
Zellzahl, kg	123	111	107	143	192	158
ECM, kg	22,8	22,8	23,5	25,5	23,9	24,2

Bezogen auf die Weidefläche ergab sich eine Flächenproduktivität von gut 10000 kg ECM/ha. In den drei Versuchsjahren lagen die Fettgehalte um 4 % und die Eiweißgehalte zwischen 3,1 und 3,26 %. In allen Futtergruppen lagen die Harnstoffwerte meistens deutlich über 300 ppm und damit oberhalb des als physiologisch günstig angesehenen Bereichs von 150 bis 300 ppm. In diesen Werten kommt eine über den Bedarf liegende N-Versorgung zum Ausdruck.

Hinsichtlich der Zufuttervarianten ergibt sich ein differenziertes Bild bezüglich der Milchleistung. Die Zufütterung von 3 kg TM Maissilage führte zu keiner Erhöhung der ECM-Leistung. Tendenziell ergaben sich etwas stabilere Milchinhaltstoffe. Maissilagebeifütterung spart demnach lediglich beweidungsfähige Grünlandfläche.

Die Beifütterung von 4 kg MLF je Tier und Tag erbrachte eine Erhöhung der ECM um knapp 2 kg je Tier und Tag. Eine differenzierte Betrachtung der Kraftfutterwirkung in Abhängigkeit des Laktationsstandes zeigt, dass lediglich in den ersten 150 Laktationstagen ein positiver Effekt auf die Milchleistung gegeben ist (Abb. 2). In der zweiten Laktationshälfte führt der Kraftfutareinsatz zu keiner Leistungssteigerung. Eine tierindividuelle Gabe von MLF bei Milchmengen oberhalb von 25 kg ECM im Versuchsjahr 2011 führt ebenfalls zu keiner nennenswerten Milchleistungssteigerung.

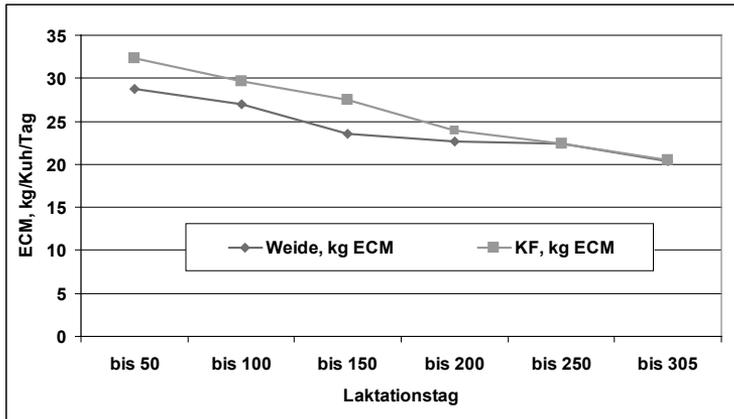


Abb. 2: ECM-Leistung in Abhängigkeit von Laktationsstadium und Kraffuttermenge während der Weideperiode 2010

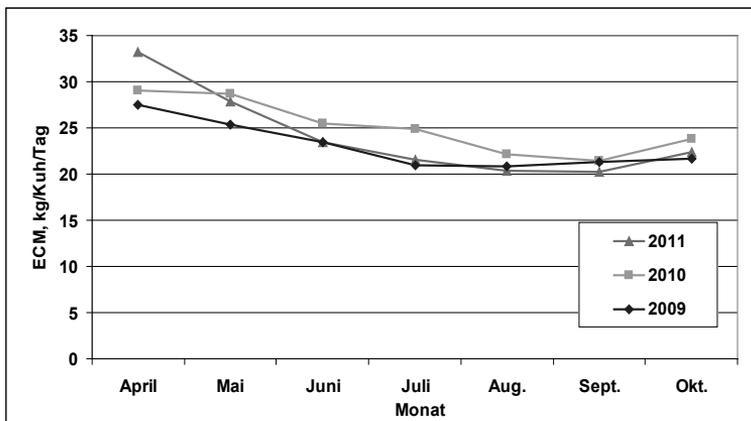


Abb. 3: ECM-Leistung bei ganztägiger Kurzrasenweide während der Vegetationsperioden 2009-2011

Im Verlauf der Vegetation ergeben sich sehr unterschiedliche Milchmengen (siehe Abb. 3). In den Frühjahrsmonaten April und Mai werden allein aus der Weidegrasaufnahme Milchleistungen von 28-30 kg je Kuh und Tag erreicht. Bis zum September/Oktober sinken die ECM-Mengen auf Werte um die 20 kg je Kuh und Tag ab. Ursächlich dürfte ein geringerer Energiegehalt des Grases in den Herbstmonaten sein. Hinzu kommt eine verminderte Weidefutteraufnahme während dieser Zeit.

Diese unterschiedliche Weideleistung in Abhängigkeit der Vegetation wirft die Frage nach dem optimalen Kalbezeitraum auf. Auswertungen hierzu sind in der Abbildung 4 dargestellt. Ausgewiesen sind die ECM-Leistungen auf Basis der 14-tägigen MLP für verschiedene Abkalbezeiträume. Die Herbst-/Winter-Abkalbungen (16.10.-15.02.) liefern mit einer durchschnittlichen ECM von 28,7 kg je Kuh und Tag die höchsten Leistungen. Die Frühlaktation wird hierbei während der Stallfütterung absolviert, so dass eine leistungsgerechte Versorgung der Tiere ermöglicht ist. Mit 25,1 kg ECM bzw. 25,8 kg ECM je Tier und Tag führen die Frühjahrskalbung (16.02.-15.06.) und die Sommerkalbung (16.06.-15.10.) zu deutlich niedrigeren Tierleistungen.

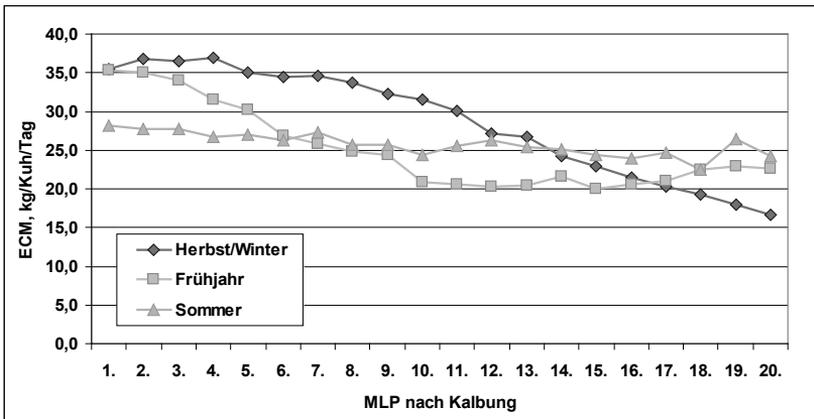


Abb. 4: ECM-Leistungen (kg/Kuh/Tag) bei ganztägiger Kurzrasenweide in Abhängigkeit vom Abkalbezeitraum 2009-2011

Bei den Frühjahrskalbungen starten die Kühe zwar noch mit hoher Leistung, fallen aber nach etwa 3 bis 4 Monaten auf der Weide auf nur noch etwa 20 kg ECM zurück. Die Sommerkalbungen zeigen eine gute Persistenz. Ihnen fehlt aber ein ausgeprägter Laktationsgipfel. Insbesondere im Sommer abkalbende Färsen haben große Probleme, ihren Energiebedarf ausschließlich aus Weidegras zu decken. Die Entwicklung der Lebendmasse über die drei Versuchsjahre ist in der Abbildung 5 wiedergegeben. Deutlich wird, dass die Tiere bei Weidegang massiv Körperreserven einschmelzen, die alljährlich mit Beginn der Winterfütterung wieder aufgefüllt werden.

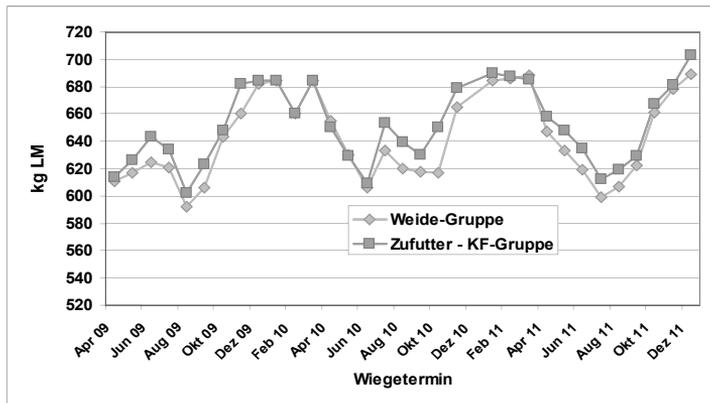


Abb. 5: Gewichtsentwicklung (kg LM) der laktierenden Kühe während des dreijährigen Weideversuchs, 2009-2011

Zwischen den Winter- und Sommerlebensmassen besteht eine Differenz von gut 60 kg. Dementsprechend verringerten sich die Werte der Rückenfettdickenmessung von durchschnittlich 15 mm in den Winter- auf nur noch 7 mm in den Sommermonaten. In den Auswertungen zeigte sich weiter, dass der Verlust an Körperreserven bei Weidegang weitgehend unabhängig vom Laktationsstand ist. Ursächlich für den Verlust an Körperreserve ist deshalb in erster Linie die zusätzliche Energie, die die Tiere für Bewegung zur „Futtersuche“ benötigen. GPS-unterstützte Messungen der Laufwege von Kühen auf den Weiden zeigten, dass die Kühe bis zu 8 km täglich zur Futtermittelaufnahme auf der Kurzrasenweide mit ihrem begrenzten Weidefutterangebot zurücklegen.

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Durch ein gutes Weidemanagement kann die bei Kurzrasenweide angestrebte Wuchshöhe des Grasbestandes zwischen 5 und 7 cm während der gesamten Vegetation eingehalten werden. Voraussetzung ist eine wöchentliche Erfassung der Wuchshöhe sowie kurzfristiges Anpassen der zugeteilten Weidefläche. Unter solchen Bedingungen lässt sich eine Flächenproduktivität von über 10 000 kg ECM je ha erzielen. Wenn genetisch zu hoher Milchleistung veranlagte Kühe zur Verfügung stehen, führt die Herbst/Winterabkalbung zu den höchsten Milchleistungen. Die Früh-laktation wird hierbei bei leistungsge-rechter Fütterung im Stall erbracht. Das zweite und dritte Laktationsdrittel kann

bedarfsgerecht aus dem Weidefutter ohne nennenswerte Kraffutterergänzung bestritten werden. Eine auf die Frühjahrsmonate konzentrierte Abkalbung empfiehlt sich für Herden mit geringerer genetischer Leistungsbereitschaft. Die Aufwuchsmenge und der Energiegehalt im Gras im Verlauf der Vegetation folgen unter solchen Bedingungen dem Bedarf der Tiere entsprechend der Laktationskurve.

Wegen der hohen Verdrängung von Gras durch Konzentratfutter sind die eingesetzten Kraffuttermengen zu begrenzen. Insbesondere führen Kraffuttergaben in der zweiten Laktationshälfte zu keiner Erhöhung der Milchleistung. Problematisch sind des Weiteren die deutlich oberhalb des Referenzbereichs liegenden Milchharnstoffgehalte im System der Kurzrasenweide, die auf eine ungünstige Stickstoffausnutzung schließen lassen.

5. Literaturangaben

- GfE, 1991: (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) Leitlinien zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Roh Nährstoffen an Wiederkäuern. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 65, 229-234.
- GfE, 2001: (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder 2001. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

Flächen- bzw. Produktbezug in CO₂-Bilanzen tierhaltender Betriebe: Entweder/oder oder sowohl als auch?

R. Lioy, T. Dusseldorf, J. Hans, A. Meier, R. Reding, S. Turmes

CONVIS – Société Coopérative, Ettelbrück, Luxemburg

1. Einleitung

Im Rahmen des Interreg IV-Projektes „Optenerges“ wurden CO₂-Bilanzen für tierhaltende Betriebe mit Schwerpunkt Rinderhaltung aus den drei benachbarten Regionen Luxemburg, Lothringen, und Wallonien erstellt. Die Resultate haben einen weitreichenden Blick auf die Höhe der Treibhausgasemissionen sowie der Kohlenstoffbindung der untersuchten Betriebe ermöglicht. Eine ausführliche Beschreibung der Ziele des Projektes, der angewendeten Methodik sowie der wesentlichen Resultate befindet sich auf www.optenerges.eu (französisch).

Bei der Interpretation der Ergebnisse war man auf den Sachverhalt gestoßen, dass flächen- bzw. produktbezogene CO₂-Bilanzen ein entgegengesetztes Verhalten aufweisen, wenn sie in Funktion von der Produktionsintensität ausgewiesen werden. Ausgehend vom Datenbestand aus dem genannten Projekt und mit speziellem Focus auf die luxemburgischen Milchviehbetriebe wird im Folgenden auf das Zusammenspiel von Flächenbezug (Information über die Höhe der Umwelteinwirkung) und Produktbezug (Maß für die Effizienz der Gestaltung des Produktionsprozesses) in der CO₂-Bilanz der Milchproduktion eingegangen.

2. Material und Methoden

Die angewendete CO₂-Bilanz (Abb. 1, alle Abbildungen befinden sich im Anhang) berücksichtigt die Treibhausgasemissionen aus den Kompartimenten Betriebsmittelimport, Tierproduktion und Pflanzenproduktion und zieht von diesen Emissionen die Kohlenstoffspeicherung im Boden bzw. über regenerative Energien (Biogasstrom und -wärme) ab. Alle Emissionen sind in CO₂-Äquivalenten zusammengefasst.

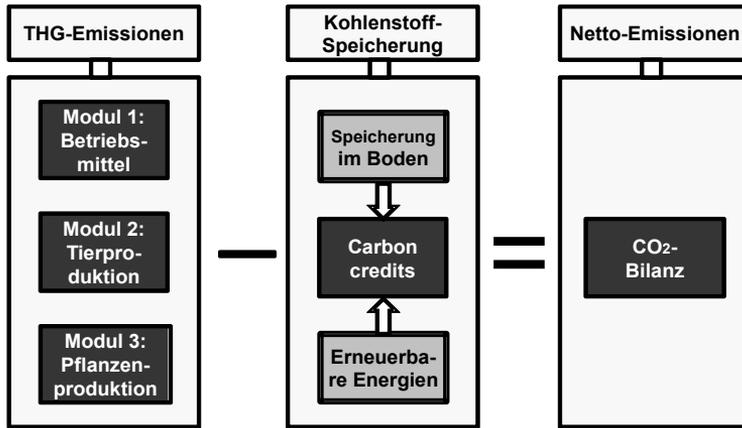


Abb. 1: Schema der angewendeten CO₂-Bilanzierungsmethode

Wichtig ist dabei zu berücksichtigen, dass die Analyse nicht zwangsläufig auf Betriebsebene durchgeführt wurde, sondern auf Spartenniveau. Die Betriebe wurden nämlich über geeignete Allokationsverfahren in ihre Produktionsparten aufgeteilt (Abb. 2).

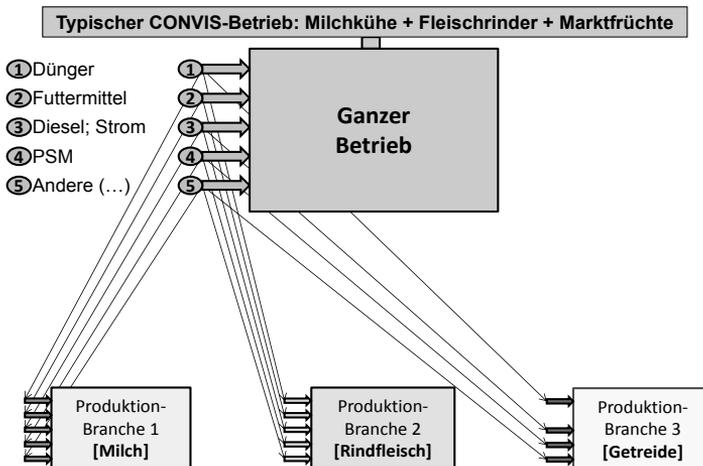


Abb. 2: Trennung unterschiedlicher Produktionsbranchen

Somit ist sichergestellt, dass nur die das Produkt betreffenden Emissionen berücksichtigt werden. Eine ausgiebige Darstellung der CO₂-Bilanzmethode sowie der angewendeten Allokationsverfahren ist im Internet zu finden (www.convis.lu, www.optenerges.eu, siehe Kap. 5).

Die bilanzierten Betriebe ($n = 54$) weisen im Durchschnitt der Jahre 2008 und 2009 eine Produktionsfläche für die Milch von etwa 72 ha bei einer betrieblichen Quote von 451 000 kg und einer Milchleistung von rund 7500 kg pro Kuh und Jahr (Abb. 3) auf. Das Verhältnis zwischen Milchquote und Produktionsfläche ergibt eine Produktionsintensität von ca. 6230 kg Milch pro ha.

Flächen

Produktionsfläche (ha LN)	72,39
Futtergetreide (ha)	6,67
Mais (ha)	13,56
Dauergrünland und Feldfutter (ha)	51,90
Ø Ertrag Getreide (dt/ha)	59,70

Milchproduktion

Milchkühe pro Betrieb (n)	60
Milchquote pro Betrieb (kg)	451.061
Milchleistung pro Kuh (kg)	7.503
Produktionsintensität (kg Milch/ha)	6.231

Abb. 3: Kennzahlen der ausgewerteten Betriebe ($n=54$; Ø 2008-2009)

3. Ergebnisse und Diskussion

Die flächenbezogene CO₂-Bilanz der untersuchten Betriebe (Abb. 4) zeigt einen Emissionsüberschuss von 9,4 t CO₂-Äq./ha als Differenz zwischen den gesamten Emissionen (9,9 t CO₂-Äq./ha) und der Kohlenstoff-Speicherung (0,5 t CO₂-Äq./ha). Produktbezogen beträgt der Überschuss 1,31 kg CO₂-Äq./kg Milch (Abb. 5).

Wenn man beide CO₂-Bilanzen in Bezug auf die Produktionsintensität setzt, ergibt sich der schon erwähnte bekannte Sachverhalt, dass die flächenbezogenen Emissionen mit der Produktionsintensität tendenziell steigen, und umgekehrt dass die produktbezogenen Emissionen mit Zunahme der Produktionsintensität eine abfallenden Tendenz aufweisen (Abb. 6).

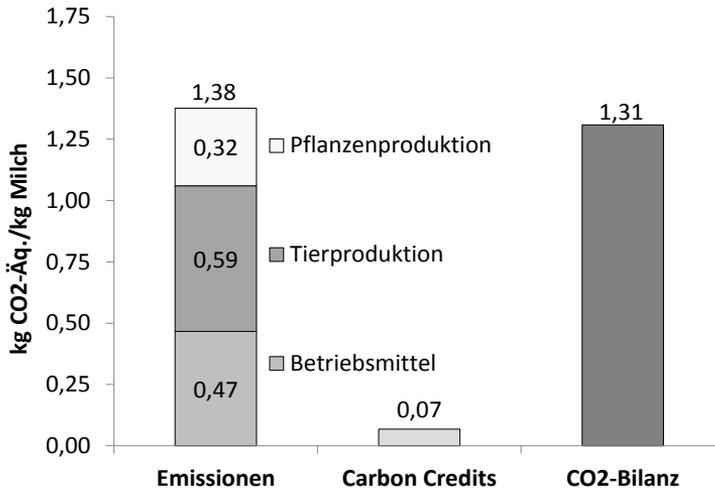


Abb. 4: Flächenbezogene CO₂-Bilanz der ausgewerteten Betriebe

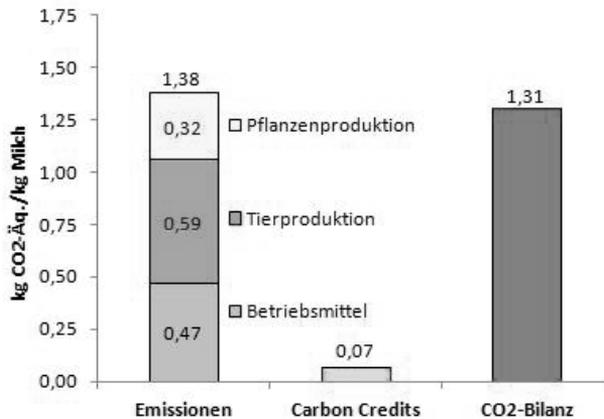


Abb. 5: Produktbezogene (Milch) CO₂-Bilanz der ausgewerteten Betriebe

Um dem Zusammenhang zwischen beiden Bilanztypen auf den Grund zu gehen, wurden die Betriebe in 4 Gruppen eingeteilt: Eine Gruppe mit überdurchschnittlich guten Ergebnissen in beiden Bereichen (eff-öko), eine Gruppe mit durchschnittlich schlechteren Ergebnissen in beiden Bereichen (neff-nöko), und zwei weitere Gruppen mit jeweils einem Ergebnis besser und einem Ergebnis schlechter als der Durchschnitt (eff-nöko für nur gute produktbezogene und neff-öko für nur gute flächenbezogene CO₂-Bilanzen). Die Gruppen wurden dadurch generiert, dass beide Bilanztypen in Bezug zueinander in eine Graphik gesetzt wurden, bei der die

Achsen beim jeweiligen Bilanzdurchschnitt schneiden (Abb. 7). Es sei hier nochmals erwähnt, dass der Produktbezug ein Maß für die Ressourceneffizienz und der Flächenbezug ein Maß für die Umweltbelastung darstellen.

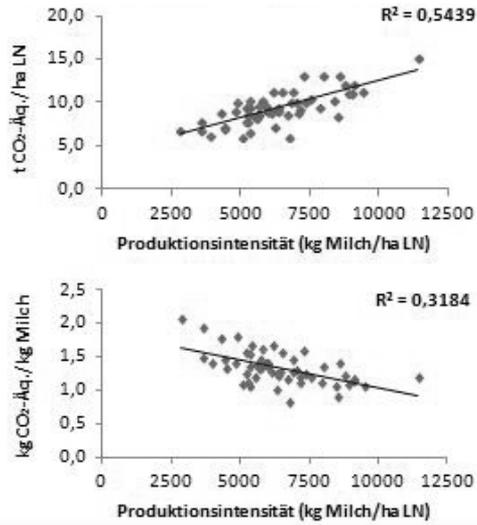


Abb. 6: Verhalten von flächen- und produktbezogenen CO₂-Bilanzen in Funktion der Produktionsintensität

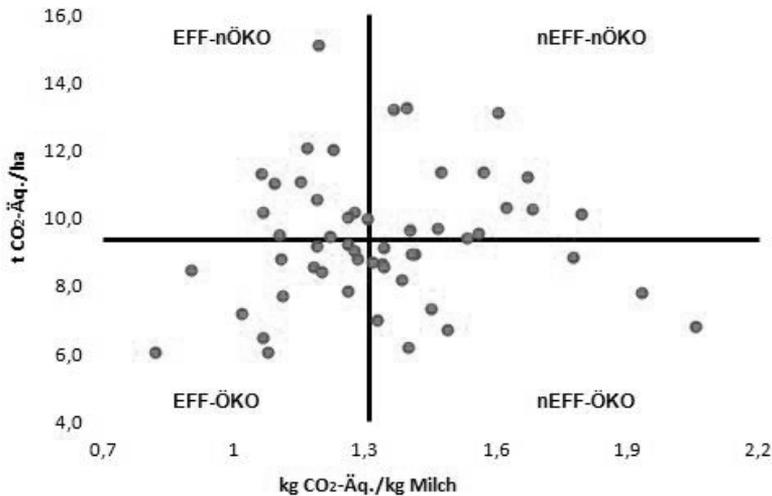


Abb. 7: Einteilung der Betriebe nach Ergebnissen (Achsen schneiden beim Durchschnitt)

Es fällt sofort auf (siehe auch Abb. 8), dass die Verteilung der Betriebe in den vier Gruppen, die von den Quadranten definiert werden, gleichmäßig ist: Die Gruppen eff-öko und neff-öko enthalten jeweils 26 % der Betriebe, die anderen beiden Gruppen (neff-nöko und eff-nöko) jeweils 24 %.

	Anzahl Betriebe		Produktionsintensität (kg Milch/ha)		Produktbezug kg CO ₂ -Äq./kg Milch		Flächenbezug kg CO ₂ -Äq./ha	
MW alle	54	100%	6.231	100%	1,31	100%	9,4	100%
eff-öko	26%		100%		86%		87%	
neff-öko	26%		72%		114%		84%	
eff-nöko	24%		129%		91%		116%	
neff-nöko	24%		98%		118%		115%	

Abb. 8: Intensität und CO₂-Bilanzen der Betriebsgruppen im Vergleich zum Durchschnitt

Ferner konnte festgestellt werden, dass die Ergebnisse der Gruppen mit jeweils nur einem guten Ergebnis (eff-nöko und neff-öko) besonders stark von der Produktionsintensität beeinflusst sind: Ist diese überdurchschnittlich, sind die produktbezogenen Emissionen unterdurchschnittlich und die flächenbezogenen Emissionen überdurchschnittlich. Umgekehrtes gilt, falls die Produktionsintensität höher als der Schnitt ist (Abb. 8, alle Ergebnisse in % des Gesamtdurchschnittes). Bei diesen beiden Betriebsgruppen handelt es sich offensichtlich um Betriebe, deren Bilanzergebnis maßgeblich von ihrer Betriebs- bzw. Produktionsstruktur bestimmt ist. Intensivierung bzw. De-Intensivierung (oder gar Extensivierung) der Produktion versprechen hier die besseren Optimierungsansätze zu sein.

Besonders interessant ist die Beobachtung, dass die in beiden Bereichen überdurchschnittlich (eff-öko) bzw. unterdurchschnittlich (neff-nöko) abschneidenden Betriebe eine ähnliche Produktionsintensität aufweisen (Abb. 8). Offensichtlich kann in diesem Fall die Betriebs- bzw. Produktionsstruktur nicht herangezogen werden, um die Differenz zwischen den Bilanzen beider Betriebsstypen zu erklären. Abbildung 9 und Abbildung 10 sind dabei hilfreich, um auf die Spur der Ursachen dieser unterschiedlichen Bilanzresultate zu kommen. Abbildung 9 zeigt, dass die Emissionen beider Betriebsgruppen im Bereich der

Tierproduktion durchaus vergleichbar sind (4,4 bzw. 4,2 t CO₂-Äq./ha). Dies ist übereinstimmend mit der Beobachtung, dass die Produktionsintensität beider Gruppen ähnlich ist. Dagegen bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den guten (eff-öko) und schlechteren (neff-nöko) Betrieben im Bereich der Emissionen aus den Betriebsmitteln, aus der Pflanzenproduktion sowie im Bereich der Kohlenstoffspeicherung zugunsten der guten Betriebe.

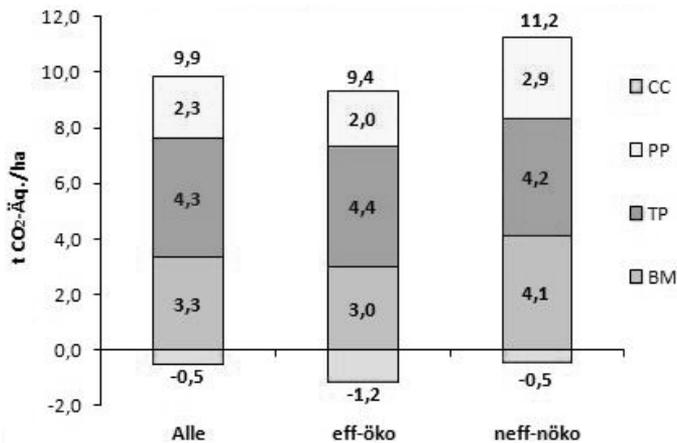


Abb. 9: Durchschnittliche Emissionen und carbon credits der besseren und schlechteren Betriebe im Vergleich zum Gesamtdurchschnitt

Die Betriebe der Gruppe eff-öko schaffen es offensichtlich, ihre Betriebsmittel effizient einzusetzen, besonders in der Pflanzenproduktion (Düngemitelein-satz vor allem). Daneben sind die überdurchschnittlich guten Betriebe auch in der Lage, deutlich mehr Kohlenstoff im Boden zu speichern bzw. mehr Emissionen abzufangen über die Erzeugung von regenerativen Energien (Biogas und Biodiesel-Raps), als die in beiden Bilanzbereichen überdurchschnittlich schlechten Betriebe.

Noch besser werden diese Sachverhalte durch Abbildung 10 unterstrichen: Hier werden die Differenzen der Bilanzergebnisse in beiden Gruppen im Verhältnis zum Gesamtdurchschnitt als Prozente dargestellt. Im Bereich der Betriebsmittel und der Pflanzenproduktion sind die Emissionen der Betriebe mit dem schlechteren Ergebnis 23 % bzw. 27 % höher als der Gesamtdurchschnitt, während die Betriebe mit dem besseren Resultat in denselben Kompartimenten geringere Emissionen von 11 % bzw. 13 % gegenüber dem Gesamtdurchschnitt aufweisen.

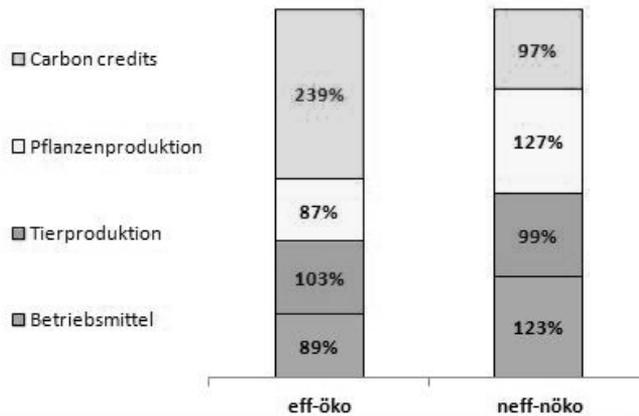


Abb. 10: Durchschnittliche Emissionen und carbon credits der besseren und schlechteren Betriebe in % des Gesamtdurchschnittes

Besonders hoch ist der Unterschied in der Kohlestoffspeicherung (carbon credits), wo die besseren Betriebe fast 2,5 Mal mehr Kohlenstoff speichern als die schlechteren. Solche Situationen weisen eindeutig auf einen Beratungsbedarf bei den Betrieben mit den schlechteren Ergebnissen, um der schlechteren Betriebsmitteleffizienz und der geringeren Kohlenstoffspeicherung entgegenzuwirken.

5. Schlussfolgerungen

Aus den oben dargestellten Sachverhalten lassen sich folgende wesentliche Schlüsse ziehen:

- Flächen- und produktbezogene CO₂-Bilanzen dürfen nicht gegeneinander ausgespielt werden: **Sie sind komplementär!**
- Betriebe sind nur dann besser als der Durchschnitt zu bewerten, wenn sie überdurchschnittlich gut **in beiden Bereichen** abschneiden.
- Produktionsintensität und Viehbesatz von besseren und schlechteren Betrieben sind sehr ähnlich, sie zeigen aber gravierende Unterschiede in der **Betriebsmitteleffizienz** und in der **Kohlenstoff-Speicherung**.
- Vor allem Betriebe mit schlechtem Ergebnis in beiden Bilanzbereichen weisen auf einen erheblichen **Beratungsbedarf** hin.

6. Literaturangaben

Eine Ausführliche Beschreibung der angewendeten Methode zur CO₂-Bilanzierung in deutscher Sprache kann unter www.CONVIS.lu/Beratung gefunden werden (Abschlussbericht zum NEBplus-Beratungsprojekt, Kap. II Material und Methoden).

Weitere methodische Erläuterungen befinden sich unter www.optenerges.lu, wo im „Manuel méthodologique des GES“ auch die angewendeten Allokationsverfahren dargelegt werden. Das Dokument ist in französischer Sprache.

Die Dokumente stehen als PDF-Datei zum downloaden bereit.

Entwicklung und Umsetzung eines Ökobilanzierungskonzeptes für landwirtschaftliche Betriebe in Österreich

M. Herndl¹, T. Guggenberger¹, D.U. Baumgartner², M. Bystricky², G. Gaillard²

¹LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning, Österreich, ²Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich, Schweiz

1. Einleitung

Die Anforderung der westlichen Gesellschaft an die Landwirtschaft ist nicht nur Lebensmittel in ausreichender Menge zu produzieren, sondern diese auch mit hoher Qualität und möglichst umweltschonend zu erzeugen. Dieses hohe Qualitäts- und Umweltbewusstsein drückt sich in Österreich in unterschiedlicher Weise aus. Zum einen werden nachhaltige und umweltfreundliche Produktionsweisen von der öffentlichen Hand gefördert, zum anderen werden in Vermarktungsstrategien neben der Qualität der Lebensmittel auch z. B. der Klimaschutz oder die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen verwendet. Um umweltverträgliche Landbewirtschaftung quantifizieren und qualifizieren zu können, gab es in der Vergangenheit einige Ansätze wie z. B. die Bestimmung der Auswirkungen des Pflanzenschutzes auf Boden und Grundwasser (Reus et al., 2002). Diese Untersuchungen fokussierten sich oft nur auf Teilaspekte, die keine Analyse der Umweltleistung des Produktionssystems zulassen. Um Umweltwirkungen von landwirtschaftlichen Produktionsprozessen und Betrieben bewerten zu können, wurden unterschiedliche Umweltbewertungsverfahren entwickelt wie z. B. KUL (Eckert et al., 1999), REPRO (Hülsbergen, 2003), INDIGO (Girardin et al., 2002) oder SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment; Gaillard und Nemecek, 2009). Diese Bewertungsverfahren richten sich hauptsächlich an Landwirte und Berater, die ihr betriebliches Umweltmanagement nachhaltig optimieren wollen.

2. Problemstellung

Die Unterschiede der jeweiligen Umweltbewertungsmethoden rühren oft daher, dass sie von unterschiedlichen Wissenschaftlergruppen entwickelt worden sind

und an die jeweiligen nationalen Gegebenheiten und Möglichkeiten angepasst wurden. Auch der Erhebungsprozess beim Landwirt, der interne Datenfluss und die Ergebnisinterpretation sind je nach Methode oft sehr unterschiedlich. Bockstaller et al. (2006) bewerteten die Fachlichkeit, die Machbarkeit und den Nutzen hinsichtlich ihrer Stärken und Schwächen bei vier unterschiedlichen, betrieblichen Umweltmanagementmethoden. Als Schlussfolgerung der Bewertung über alle Methoden hinweg zeigte sich, dass das „Nicht-Offenlegen“ des Berechnungswerkzeuges (Transparenz), die mangelnde Vergleichbarkeit und oft auch die mangelnde Benutzerfreundlichkeit (Software) die größten Mankos waren. Da es bis dato noch keine Normierung, weder für Dateneingabe, Annahmen in den Fachmodellen noch für Ergebnisinterpretation gibt, ist es für externe Nutzer oft sehr schwer einzuordnen, welche Methode für welchen Zweck praktikabel ist bzw. vergleichbare und reproduzierbare Resultate liefert. Die Ökobilanzierung als gängiges Verfahren für Umweltbewertungen ist nach den ISO-Normen 14040 und 14044 zwar klar definiert (Finkbeiner et al., 2006). Diese macht aber keine Vorgaben über die Berechnung von Inputs, Emissionen und deren Auswirkungen. Um die Anforderungen an einen offenen und transparenten Prozess der Umweltbewertung zu erfüllen, benötigt es ein Ökobilanzierungskonzept, das von der Eingabe der Daten bis zur Auswertung flexibel und mit nationalen Anpassungen auch international anwendbar ist und zu vergleichbaren Ergebnissen führt.

3. Ökobilanzierungskonzept für landwirtschaftliche Betriebe in Österreich

Im Rahmen des Projektes FarmLife, welches in Kooperation zwischen LFZ Raumberg-Gumpenstein und Agroscope Reckenholz-Tänikon ART 2012 gestartet wurde, ist auf der Basis der Ökobilanzierungsmethode SALCA ein Konzept erarbeitet worden, das durch eine modulare Entwicklungsstrategie die bestehenden Systeme verbessert. Nach dem Grundprinzip „teile und herrsche“ wird der gesamte Workflow in mehrere Teile gesplittet (Tab. 1). Diese Teilbereiche erfahren eine sachliche Begleitung durch wissenschaftliche Experten und in Folge eine technische Umsetzung. Folgende Ebenen wurden eingeführt:

- **Erfassungsebene:** Die Erfassung beginnt immer am landwirtschaftlichen Betrieb. Dort werden die notwendigen Daten in eine speziell entwickelte Web-Anwendung (FarmLife-Capture) eingepflegt. Zum Zweck der zeitli-

chen Abgrenzung beginnt die Erfassung mit der Feststellung von Stichtagsbeständen der variablen Betriebsmittel. Die fixen Bestände an Maschinen und Gebäuden sind einmalig zu definieren. Dies gilt auch für die Definition der Flächennutzung, die mit einem GIS-Plugin ausgestattet wurde. Auf der Basis der Bing-Map-2013 können weltweit beliebig Polygone erfasst und gespeichert werden. Alle laufenden Aspekte der Betriebsbewirtschaftung wurden in einen aktionsorientierten Kontext umgewandelt. Betriebsleiter können so sehr klar strukturiert und rasch alle Ein- und Verkäufe sowie die Aspekte der Feldbewirtschaftung erfassen. Das nach der dritten Normalform entwickelte Datenmodell und die räumlichen Freiheiten einer Web-Seite verhindern mögliche konzeptionelle Schranken. Eine wissenschaftliche Begleitgruppe kann den Aktionsumfang der Erhebung beinahe beliebig ausweiten. Der entwickelte Web-Client orientiert sich an den Bedürfnissen der Erfassung und beinhaltet nur ganz geringe Anteile einer Prüflogik. Diese Maßnahme ermöglicht eine praxisnahe Datenerfassung.

Der Schritt der Datenprüfung und die Umwandlung von Betriebsmitteln in Wirkstoffmengen werden am Ende der Erfassungsperiode durch ein eigenständiges Modul (FarmLife-Control) gewährleistet. Die Prüfung besteht aus einem Rahmenprüfkonzept und weiteren „wenn ... dann“ Fragen. Während das Rahmenprüfkonzept die Vollständigkeit der eingegebenen Daten und deren Wertebereich prüft, kontrolliert das Fragenkonzept die Aktionen der Bewirtschaftung. Fehlerhafte Datensätze werden im Rahmen der Prüfung mit einem Hinweis versehen und dem Landwirt zur Bearbeitung angeboten. Da die Bewertungsebene von SALCA bereits besteht, wandelt eine neu geschaffene Schnittstelle das Ergebnis der Erfassung in ein kompatibles Format um und ergänzt den Datenbestand um Aspekte des nationalen Inventars. Dazu gehören auch standortbezogene Parameter, die durch die Verschneidung der Schlagpolygone mit Klima- und Bodendaten im geographischen Informationssystem gewonnen werden.

- **Bewertungsebene:** Die Methode SALCA bietet mit ihren landwirtschaftlichen Fachmodellen eine für Projektgruppen offene Plattform zur Bewertung der direkten Emissionen an (Nemecek et al., 2010). Die maximale Plattformweite umfasst derzeit Modelle für Emissionen der Tierhaltung, für Stickstoff-, Phosphor- und Schwermetallausträge, sowie für Bodenqualität und Biodiversität. Im Rahmen des Projektes FarmLife werden Anpassungen dieser Modelle unter Rücksprache mit der österreichischen For-

schungsgemeinschaft durchgeführt. Dazu wurde eine wissenschaftliche Begleitgruppe einberufen. Dieser wurden die Modelle vorgestellt und eine intensive Diskussion angeregt. Der nationale Änderungsbedarf wurde gemeinsam definiert und nach Maßgabe wirtschaftlicher und sachlicher Möglichkeiten umgesetzt. Im Rahmen der Umsetzung wird darauf geachtet, dass das logische Gesamtkonzept von SALCA nicht durchbrochen wird und so Ergebnisse auch über nationale Grenzen hinweg vergleichbar bleiben.

Das Ergebnis der Fachmodelle wird gemeinsam mit ausgewählten Erhebungsparametern an die Ökobilanz-Software SimaPro (PRé Consultants, 2013) übergeben. Hier werden die direkten Emissionen durch den Rucksack der Vorleistungen ergänzt und Ergebnisse für die ausgewählten Wirkungskategorien berechnet.

- **Beratungsebene:** Das Ergebnis ist umfangreich und besteht aus Umweltwirkungen, die den einzelnen Produktgruppen zugeordnet werden. Für eine erfolgreiche Betriebsberatung, aber auch für verständliche, wissenschaftliche Publikationen, müssen die Ergebnisse gebündelt und grafisch aufbereitet werden. Dies gelingt im Modul FarmLife-Present durch die Verbindung von ausgewählten Eingabedaten mit den Ergebnissen der Ökobilanzierung.

Tab. 1: Konzept und technische Umsetzung im Projekt FarmLife

	Erfassungsebene	Bewertungsebene	Beratungsebene
Sachebene	Datenerfassung beim Landwirt	Direkte Wirkungen	Betriebsergebnisse
	<ul style="list-style-type: none"> • Flächenbezug • Inventar • Input/Output 	<ul style="list-style-type: none"> • Emissionen Tierhaltung • N/P/Schwermetalle • Bodenqualität • Biodiversität 	<ul style="list-style-type: none"> • Eingangsdaten • Wirkungen • Beziehungen
	Datenkontrolle	Vor-/Folgewirkung	Betriebsvergleich
	<ul style="list-style-type: none"> • Vollständigkeit • Plausibilität 		<ul style="list-style-type: none"> • Erfolgsmethoden
Technik	Ergänzung/Umwandlung		
	<ul style="list-style-type: none"> • Mapping • Transformation • Nationales Inventar 		
	FarmLife-Capture FarmLife-Control	SALCA SimaPro	FarmLife-Present

4. Strukturen und Ablauf

Das dargestellte Konzept muss für die erfolgreiche Umsetzung in geeignete Strukturen eingebettet werden. Neben den notwendigen Kernkompetenzen in der Landwirtschaft und in Ökobilanz-Prozessen benötigt die offene Softwarestruktur mit ihren verschiedenen Teilen auch ausreichende Kompetenzen im Bereich der Informatik. Unumgänglich ist ein Kommunikationskonzept, welches den Landwirt von der Erfassung bis zur Beratung betreut. Bestehende Beratungsstrukturen müssen in dieses Konzept eingebunden werden (Abb. 1).

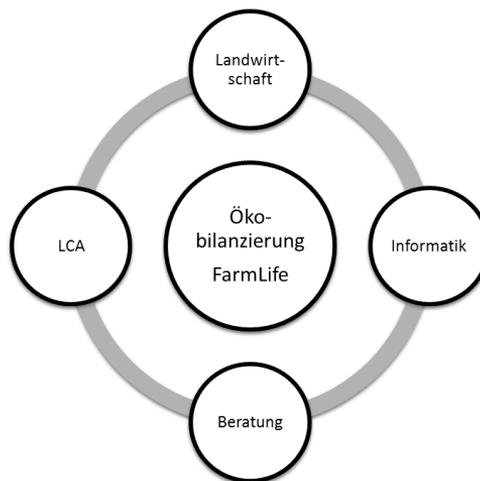


Abb. 1: Kompetenzbedarf zur Einführung der Ökobilanzierung; LCA = Life Cycle Assessment resp. Ökobilanzierung

Die Erfahrung in der Praxis zeigt, dass es nicht ausreicht, eine statische Software zu entwickeln, da diese weder der hohen Variabilität noch dem Kommunikationsbedarf bäuerlicher Betriebe entsprechen kann. FarmLife verfügt durch die Einbettung in zwei wissenschaftliche Arbeitsgruppen über das notwendige Rückgrat, um sowohl die fachliche Breite als auch die sachliche Tiefe abzubilden.

Die Anwendung von FarmLife beginnt mit der Einschulung des Betriebsleiters durch speziell geschulte Berater. Diese bringen den Betrieben das Konzept, die Vorteile und die Anwendung von FarmLife-Capture näher. In der Erfassungs-

phase liegt die Kompetenz beim Betrieb, dieser kann bei Bedarf seinen Berater oder das Kernteam konsultieren. Mit Abschluss des Erfassungsjahres übernimmt das Kernteam die Kontrolle und Bewertung der Daten. Als Ergebnis wird der Beratungsbericht erstellt und an den Betrieb sowie die Beratung übergeben. Diese wird fallweise vom Kernteam bei der Betriebsberatung begleitet (Abb. 2).

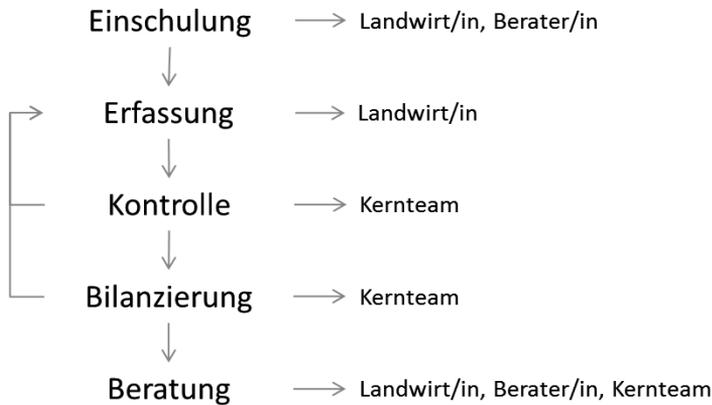


Abb. 2: Ablauf einer Betriebsberatung nach FarmLife

-
-

5. Zusammenfassung

In einer Forschungs Kooperation zwischen der Schweiz und Österreich wird im Rahmen des Forschungsprojektes FarmLife die Ökobilanzierungsmethode SALCA in ihrem Anwendungsbereich erweitert und an österreichische Bedingungen angepasst. Das erarbeitete Ökobilanzierungskonzept wurde gemeinsam mit der breiten Unterstützung durch die nationale Forschungsgemeinschaft entwickelt und wird im Jahr 2013-2014 an landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzt. Die dafür notwendigen Strukturen und Abläufe zeigen, dass eine korrekte Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe und deren Produkte eine anspruchsvolle Aufgabe darstellt.

6. Literaturangaben

- Bockstaller, C., Gaillard, G., Baumgartner, D., Freiermuth Knuchel, R., Reinsch, M., Brauner, R., Unterseher, E., 2006: Betriebliches Umweltmanagement in der Landwirtschaft: Vergleich der Methoden INDIGO, KUL/USL, REPRO und SALCA. Abschlussbericht zum Projekt 04 – „COMETE“, ITADA Arbeitsprogramm III, Colmar, Frankreich, 134.
- Eckert, H., Breitschuh, G., Sauerbeck, D., 1999: Kriterien umweltverträglicher Landwirtschaft (KUL): ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben. *Agrobil.*, Res. 52, 57-76.
- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R.B.H., Christiansen, K., Klüppel, H.J., 2006: The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *Int. Jour. of Life Cycle Assessment* 11, 80-85.
- Gaillard, G., Nemecek, T., 2009: Swiss Agricultural Life Cycle Assessment (SALCA): An integrated environmental assessment concept for agriculture. In: *Int. Conf. « Integrated Assessment of Agriculture and Sustainable Development, Setting the Agenda for Science and Policy »*, Egmond aan Zee, The Netherlands, AgSAP Office, Wageningen University, 134-135.
- Girardin, P., Bockstaller, C., 2002: INDIGO, Méthode d'évaluation des systèmes de production à la parcelle. Quels diagnostics pour quelles actions environnementales, Toulouse, Solagro, 119-124.
- Hülsbergen, K.J., 2003: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker Verlag (Halle, Univ., Habil.-Schr., 2002), Aachen.
- Nemecek, T., Freiermuth Knuchel, R., Alig, M., Gaillard, G., 2010: The advantages of generic LCA tools for agriculture: examples SALCAcrop and SALCAfarm. *Proceedings of the 7th Int. Conference of Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector*, Bari, Italy, 22-24 September 2010, 433-438.
- PRé Consultants, 2013: Life Cycle Assessment SimaPro. Abgefragt unter <http://www.pre-sustainability.com/software> am 11.09.2013.
- Reus, J., Leenderste, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, I., Gutsche, V., Lewis, K., Nilsson, C., Pussemier, L., Trevisan, M., van der Werf, H., Alfarroba, F., Blümel, S., Isart, J., McGrath, D., Seppälä, T., 2002: Comparing and evaluating eight pesticide environmental risk indicators developed. *Agric., Ecosys. and Environ.* 90, 177-187.

Umweltverträgliche Protein- und Aminosäurenversorgung von Geflügel und Schwein nach dem Konzept des Idealproteins

C. Wecke, F. Liebert

Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutztierwissenschaften, Tierernährungsphysiologie, Göttingen

1. Einleitung

In vielen Betrieben mit Mastgeflügel- und Mastschweinehaltung wurde in den letzten Jahren der Nachweis erbracht, dass durch die bedarfangepasste Proteinversorgung auf der Grundlage von Mehr- bzw. Multiphasenfütterung eine beachtliche Reduzierung der Stickstoff(N)-Ausscheidung zu erreichen ist. Dieser Effekt basiert auf der Tatsache, dass die Tiere mit zunehmendem Alter mehr Futter aufnehmen und der Proteinbedarf je Lebendmasse-Einheit abnimmt. Da Geflügel und Schwein eigentlich keinen Bedarf an Protein, sondern einen Bedarf an ihren Bausteinen, den Aminosäuren (AS), haben, steht nicht nur die quantitative Absenkung des Proteingehaltes, sondern vor allem das qualitative Angebot an Futter-AS im Mittelpunkt des Interesses. Je besser die AS-Zusammensetzung des Futters mit dem AS-Bedarf der Tiere übereinstimmt (optimale AS-Balance), desto günstiger sind die Auswirkungen auf Proteinverwertung und Stoffwechselentlastung (Tierwohl), verbunden mit bedeutsamen umweltrelevanten Vorzügen, zu beurteilen. In einem solchen Fall wird vom „idealen Futterprotein“ oder von „idealen AS-Verhältnissen“ im Futter ausgegangen.

2. Hintergrund

Die ernährungsphysiologische und ökologische Effizienz bedarfsangepasster Fütterungsstrategien wird sehr wesentlich von den Stellgrößen Futtermittelauswahl und Futteroptimierung bestimmt. Unsere im letzten Jahr vorgestellten Untersuchungsergebnisse (Liebert und Wecke, 2012) unterstreichen, dass die N-Ausscheidungen über den Kot insgesamt einen relativ geringen Anteil an den N-Gesamtverlusten aus dem Prozess der Stoffwandlung beim Mastschwein ausmachen. Zudem ist eine weitere Reduzierung dieses Anteils durch Maßnahmen der Verdaulichkeitssteigerung von Futtermitteln nur in sehr begrenztem

Umfang realistisch. Demgegenüber kommt einer weiteren Reduzierung intermediärer N-Verwertungsverluste durch Optimierung der AS-Balance im Futter ein deutlich höheres Potenzial zur Minimierung der N-Verluste zu.

Seit der Erkenntnis, dass die Qualität der Futterproteine ganz entscheidend von der AS-Zusammensetzung bestimmt wird, gibt es Bemühungen, die traditionellen Proteinbewertungskennzahlen durch AS basierte Qualitätsmaße zu ersetzen. Neben dem „Chemical score“ (MITCHELL u. BLOCK), der nur die erstlimitierende AS einbezog, erlangte Mitte des letzten Jahrhunderts der EAAI (Essentieller AS-Index) von OSER Aufmerksamkeit, der bereits auf eine Relativierung der Futter-AS-Verhältnisse im Vergleich zur AS-Zusammensetzung des Volleiproteins (als Idealprotein) orientierte. Allerdings fand auch dieser Maßstab, genau wie entsprechende Weiterentwicklungen (z. B. das Produkt der AS-Funktionen durch MENKE) keine praxisrelevante Anwendung, da es nicht gelang, enge Korrelationen zum tatsächlichen Futterproteinwert herzustellen. Des Weiteren war keine Additivität der für verschiedene Einzelfuttermittel abgeleiteten Werte nachweisbar, wenn entsprechende Mischungen beurteilt werden sollten. Schließlich musste erkannt werden, dass sich das EPV (Eiprotein-Verhältnis) – ebenso wie das MPV (Milchprotein-Verhältnis) – nicht für jede Tierart und Altersstufe eignet. In der Folge spielte und spielt heute noch das „Bedarfs-Verhältnis“ eine zunehmende Rolle, indem die AS-Gehalte des Futters mit den als AS-Bedarf ausgewiesenen, validierten Werten relativiert werden.

In Abbildung 1 erfolgt eine exemplarische Darstellung dieser Vorgehensweise, indem die AS-Gehalte von 3 Futtermischungen für Mastschweine mit unterschiedlichen Rohprotein(RP)-Gehalten in Relation zu den Versorgungsempfehlungen (AS-Bedarfswerten) gesetzt wurden. Die relative AS-Zusammensetzung eines herkömmlichen Schweinemastfutters mit 17 % RP (graue Säulen) wurde so bilanziert, dass die leistungsbegrenzende AS Lysin (Lys) das bedarfsgerechte Niveau (100 %) erreicht. Die restlichen unentbehrlichen (essentiellen) AS liegen unter dieser Prämisse im Überschuss vor (über 100 % im Vergleich zu den empfohlenen Mindestgehalten).

Während die schwefelhaltigen AS Methionin+Cystin (Met+Cys), Threonin (Thr) und Tryptophan (Try) die erforderlichen Futterkonzentrationen um ca. 20 % übertreffen, ergeben sich für die verzweigt-kettigen AS Isoleucin (Ile), Leucin (Leu) und Valin (Val) um etwa 40 % erhöhte Gehalte. Die AS Histidin (His) und Phenylalanin+Tyrosin (Phe+Tyr) übersteigen die Versorgungsempfehlungen

sogar um 60-80 %. Die in dieser Mischung vorhandenen überschüssigen AS können entsprechend den genetisch fixierten Gesetzmäßigkeiten nicht für die Körperproteinsynthese genutzt werden. Sie müssen demzufolge im Rahmen energieaufwendiger Stoffwechselprozesse katabolisiert und ihre NH_2 -Gruppen im Wesentlichen in Form von Harnstoff (Schwein) bzw. Harnsäure (Geflügel) über den Harn ausgeschieden werden.

Prozent der Versorgungsempfehlungen

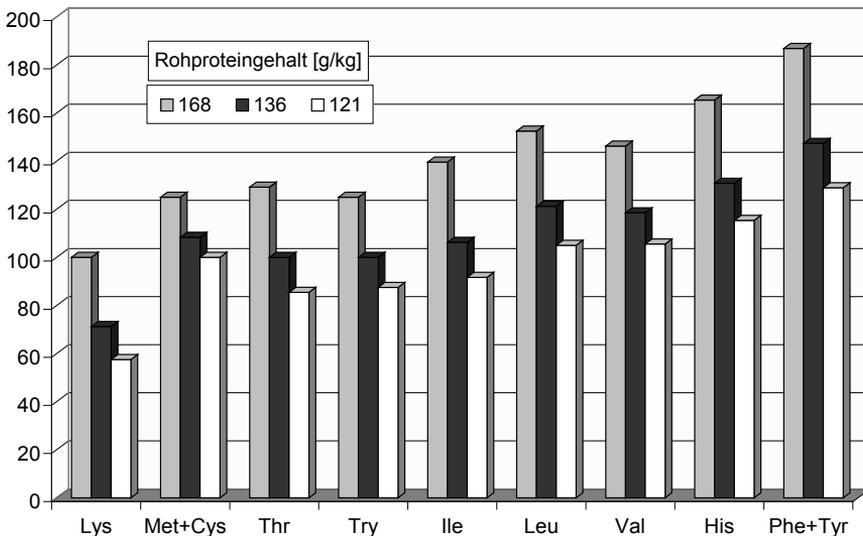


Abb. 1: Aminosäurenverhältnisse im Schweinemastfutter mit unterschiedlichen Proteingehalten

Durch Absenkung des Futterproteinniveaus auf knapp 14 % (schwarze Säulen) wird ein deutlicher Abbau dieser AS-Überschüsse erreicht, wenn das Lysindefizit durch supplementiertes Futterlysin ausgeglichen wird. Eine weitere Reduzierung des Proteingehaltes auf ca. 12 % (weiße Säulen) würde zusätzliche Supplementierungen von Thr, Try und Ile – jeweils auf das Niveau von 100 % – erfordern, sodass in dieser proteinabgesenkten Mischung nur noch His und Phe+Tyr im Überschuss vorhanden sind. Damit kommt das Protein dieser Futtermischung dem angestrebten „Idealprotein“ sehr nahe. Da für das wachsende Geflügel grundsätzlich die gleichen Zusammenhänge bestehen, wurde das Ziel verfolgt, ideale AS-Verhältnisse für das Geflügel- und Schweinemastfutter abzuleiten.

3. Material und Methoden

Durchgeführt wurden N-Bilanzversuche an Masthähnchen (4 Versuchskomplexe) im Verlauf der Starterperiode (2.-3. Lebenswoche) und Growerperiode (4.-5. Lebenswoche) sowie an wachsenden Börghen (2 Versuchskomplexe) innerhalb verschiedener Lebendmasse(LM)-Bereiche. Unter Berücksichtigung von Literaturempfehlungen wurden mit Hilfe eines computergestützten Optimierungsprogramms zunächst Futtermischungen konzipiert, die ein weitestgehend ausgeglichenes AS-Angebot für beide Tierarten gewährleisten sollten, indem Überschüsse einzelner AS nicht zugelassen bzw. in Grenzen gehalten wurden. Tabelle 1 vermittelt beispielhaft einen Überblick über die erreichten AS-Relationen (Lys = 100) in ausgewählten Kontrollmischungen im Vergleich zum Mittelwert, der aus Literaturdaten kalkuliert wurde (Wecke und Liebert, 2013).

Tab. 1: AS-Verhältnisse in den Kontrollmischungen (Beispiel: Masthähnchen, Versuchskomplex 3, Versuche I, II, III)

	Mittelwert (Literatur)	Starterfutter			Growerfutter		
		I	II	III	I	II	III
Lys	100	100	100	100	100	100	100
Met	40	40	40	40	40	40	40
Met+Cys	74	75	75	74	75	75	74
Thr	66	65	66	67	65	66	67
Try	16	18	19	19	18	19	19
Arg	105	105	106	105	105	107	105
Ile	69	67	69	69	67	69	69
Val	80	81	82	82	81	82	82
His	34	52	53	51	52	53	51
Leu	110	141	143	137	140	143	137
Phe+Tyr	120	132	136	136	132	136	136

Zusätzlich wurden die jeweiligen AS-balancierten Kontrollmischungen mit Weizenstärke verdünnt und mit kristallinen Futter-AS wieder aufgefüllt, außer der zu prüfenden AS, die auf diese Weise als limitierende AS (LAS) eingestellt werden sollte. Detaillierte Angaben zur Zusammensetzung der unterschiedlichen Versuchsfuttermischungen und zur Methodik der Versuchsdurchführung sind bereits an anderer Stelle publiziert worden (Wecke und Liebert, 2010; Wecke et

al., 2013a,b). Aus den erhaltenen N-Bilanzergebnissen wurde auf der Grundlage eines exponentiellen N-Verwertungsmodells (Liebert und Wecke, 2006; Samadi und Liebert, 2008; Wecke und Liebert, 2009) die Wirkung der LAS auf die Leistung Proteinansatz gemessen und deren Ergebnisse (Modellparameter für die individuelle LAS-Wirksamkeit) schließlich in Relation zur Wirksamkeit der Referenz-AS Lysin gesetzt (Samadi und Liebert, 2008; Wecke und Liebert, 2010, 2013a,b).

4. Ergebnisse und Diskussion

Die Tabellen 2 und 3 enthalten erste Ergebnisse zu den aus vorliegenden Untersuchungen abgeleiteten idealen AS-Verhältnissen im Broiler- und Schweinemastfutter für die wichtigsten unentbehrlichen AS. Aus den beobachteten Mittelwerten (Tab. 2) ergeben sich für Met : Lys = 40 : 100, Thr : Lys = 65 : 100, Try : Lys = 18 : 100 und Arg : Lys = 105 : 100 ideale AS-Verhältnisse, die relativ gut mit den Literaturdaten für Masthähnchenfutter (Tab. 1) übereinstimmen.

Tab.2: Ideale AS-Verhältnisse im Broilermastfutter, abgeleitet aus den gemessenen LAS-Wirksamkeiten (Lysin = 100)

Versuchs-komplex	Alters- periode	Lys	Met	Thr	Try	Arg	Ile	Leu	Val
1	Starter	100	39						
	Grower	100	40						
2	Starter	100		69					
	Grower	100		70					
3	Starter	100		60	19	105	55		63
	Grower	100		62	17	105	65		79
4	Starter	100					55	94	65
	Grower	100					56	106	72
Mittelwert		100	40	65	18	105	58	100	70

Dagegen liegen die Relativwerte für die verzweigt-kettigen AS Ile, Leu und Val jeweils um etwa 10 Einheiten niedriger als die Vergleichswerte aus der Literatur. Tendenziell ist für Thr, Ile, Leu und Val ein Anstieg der individuellen Verhältnisse mit zunehmendem Alter festzustellen. In der Literatur sind hierzu recht widersprüchliche Ergebnisse zu finden, die eine zweifelsfreie Beurteilung erschwe-

ren. Die Ergebnisse zum idealen Thr : Lys-Verhältnis, die aus den Untersuchungen mit Mastschweinen differenzierter LM abgeleitet wurden (Tab. 3, Versuchskomplex 1), entsprechen den Empfehlungen der GfE (2006). Eine Altersabhängigkeit für das Verhältnis dieser beiden AS im Schweinemastfutter ließ sich aus den vorliegenden Daten nicht nachweisen. Im Schrifttum ist sowohl eine äußerst hohe Variabilität der Daten bezüglich des Thr : Lys-Verhältnisses (zwischen 55 bis 75 : 100) als auch hinsichtlich der durch das Alter der Tiere vorgegebenen Richtung zu finden (Wecke und Liebert, 2010). Die ermittelten Ile : Lys bzw. Val : Lys-Verhältnisse übertreffen die von der GfE (2006) empfohlenen Richtwerte, ordnen sich aber durchaus gut in die Palette der in der Literatur publizierten Werte ein (Wecke und Liebert, 2013b).

Tab.3: Ideale AS-Verhältnisse im Schweinemastfutter, abgeleitet aus den gemessenen LAS-Wirksamkeiten (Lysin = 100)

Versuchskomplex	Lebendmasse (kg)	Lys	Thr	Ile	Val
1	30	100	64		
	50	100	60		
	70	100	61		
	90	100	59		
	110	100	62		
2	55	100		55	69
Mittelwert		100	61		
GfE (2006)		100	60	49	65

5. Schlussfolgerungen

Der vorgestellte Modellansatz eignet sich für die Ableitung idealer AS-Verhältnisse im Futter, um die Protein- und AS-Versorgung von Geflügel und Schwein insbesondere qualitativ mit dem Ziel der Minimierung von N-Verlusten zu verbessern und damit gezielt für Vermeidungsstrategien zu nutzen. Die AS-Bewertung erfolgt dabei auf der Grundlage der Wirksamkeit individueller LAS für die Leistung Proteinansatz im Vergleich zur Wirksamkeit der Referenz-AS (Lysin) innerhalb der gleichen Diät mit konstanter AS-Zusammensetzung. Die auf der Basis von AS-Wirksamkeiten abgeleiteten idealen AS-Verhältnisse für Geflügel- und Schweinemastfutter ergänzen die aktuelle Datenbasis. Die Bewertungsgrundlage „Wirksamkeit“ umfasst im vorliegenden Modell sowohl

die Ebene der Verdaulichkeit als auch die post-absorptive AS-Verwertung als methodische Weiterentwicklung mit deutlich reduzierten Aufwendungen.

Weitere Untersuchungen sind generell erforderlich, um die festgestellten, zum Teil sehr erheblichen Variabilitäten, die ganz wesentlich von den Einflussfaktoren

- Tier (Tierart, Genotyp, Geschlecht, Alter, Leistungsniveau),
- Futter (Futtermittelart und -herkunft, Proteingehalt, AS-Balance, AS-Verdaulichkeit, AS-Verwertbarkeit),
- Versuchsmethode (Wachstumsversuch, Verdaulichkeitsversuch, N-Bilanzversuch, Stoffwechselfersuch)
- Referenzkriterium (LM-Zunahme, Futtermittelverwertung, Proteinansatz, Stoffwechselfaktor, Produktqualität) und
- Auswertungsmethode (lineare bzw. nichtlineare Funktion, maximaler bzw. optimaler Bezugspunkt)

abhängen, weiter einzugrenzen bzw. besser zu quantifizieren. Dies gilt für alle methodischen Ansätze zur Bewertung optimaler AS-Verhältnisse im Futter von Schwein und Geflügel.

6. Literaturangaben

GfE, 2006: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. Hrsg.: Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, DLG-Verlag Frankfurt/M.

Liebert, F., Wecke, C., 2006: Grundsätze eines exponentiellen N-Verwertungsmodells zur Bewertung von Proteinansatzvermögen, Aminosäurewirksamkeit und leistungsabhängigem Aminosäurebedarf beim wachsenden Schwein. In: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. Hrsg.: Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, DLG-Verlag Frankfurt/M., 221-232.

Liebert, F., Wecke, C., 2012: Zur Modellierung von N-Stoffwechselfaktoren als Basis für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Ausschöpfungsstrategien für Wachstumspotentiale bei Masthähnchen und Mastschweinen. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 68, 753-759, Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Verlag Darmstadt.

- Samadi, Liebert, F., 2008: Modelling the optimal lysine to threonine ratio in growing chickens depending on age and efficiency of dietary amino acid utilisation. *Br. Poult. Sci.* 49, 45-54.
- Wecke, C., Liebert, F., 2009: Lysine requirement studies in modern genotype barrows dependent on age, protein deposition and dietary lysine efficiency. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 93, 295-304.
- Wecke, C., Liebert, F., 2010: Optimal dietary lysine to threonine ratio in pigs (30 to 110 kg BW) derived from observed dietary amino acid efficiency. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* e277-e285.
- Wecke, C., Liebert, F., 2013: Improving the reliability of optimal in-feed amino acid ratios based on individual amino acid efficiency data from N balance studies in growing chicken. *Animals*, 3, 558-573.
- Wecke, C., Pastor, A., Liebert, F., 2013a: Ideal in-feed amino acid ratios for growing broiler chicken based on individual amino acid efficiency data derived from N balance studies. *Proc. 19th Europ. Symp. on Poult. Nutr. Potsdam*, p. 152, file 180.
- Wecke, C., Pastor, A., Liebert, F., 2013b: Ideal isoleucine and valine to lysine ratios in low protein diets for growing pigs. In: Oltjen, J.W., Kebreab, E., Lapierre, H. (ed.): *Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production. 4th Int. Symp. on Energy and Protein Metab. and Nutr. Sacramento, California, USA, EAAP publication No. 134*, 193-194.

Der Einsatz von Rapsextraktionsschrot in der Intensivmast von männlichen B.U.T. 6-Mastputen

P. Plesch¹, S. Carrasco¹, B. Schade², G. Bellof¹

¹Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Land- und Ernährungswirtschaft, Fachgebiet Tierernährung, Freising, ²Tiergesundheitsdienst Bayern e. V., Pathologie, Poing

1. Einleitung und Fragestellung

Sojaextraktionsschrot (SES) aus importierten Sojabohnen stellt das dominierende Eiweißfuttermittel für die Geflügelfütterung in Deutschland dar. Als Proteinträger aus heimischem Rapsanbau wird vermehrt Rapsextraktionsschrot (RES) eingesetzt. In einem Fütterungsversuch der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) im Lehr- und Versuchsbetrieb Zurnhausen mit insgesamt 360 männlichen B.U.T.6 Mastputen sollte untersucht werden, zu welchen Anteilen RES in der Putenmast verfüttert werden kann ohne nennenswerten Einfluss auf die Mastleistung und die Gesundheit der Tiere zu haben. Außerdem sollte die Wirtschaftlichkeit einer Mast mit erhöhten RES-Mischungsanteilen im Alleinfutter beurteilt werden.

2. Material und Methoden

Es wurden 360 männliche Eintagsküken der Herkunft B.U.T. 6 in 4 Gruppen (eine Kontrollgruppe und drei Versuchsgruppen (RES-1, RES-2, RES-3)) mit jeweils 6 Wiederholungen eingeteilt. Die Versuchsanordnung ist der Tabelle 1 zu entnehmen. In der Kontrollgruppe wurde in allen Phasen HP-Sojaextraktionsschrot als Hauptproteinträger eingesetzt.

Die sechsphasige Mast bestand aus 2 Aufzuchtphasen (Phase 1 (14 d), Phase 2 (21 d)) und 4 Mastphasen (Phase 3 (27 d), Phase 4 (27 d), Phase 5 (24 d), Phase 6 (20 d)). Die Tiere wurden in einem klimatisierten Feststall (24 Boxen mit je 15 Tieren) gehalten.

Die Alleinfuttermischungen entsprachen in ihrer Energie- sowie Aminosäureausstattung weitestgehend den Anforderungen von Aviagen

Turkeys (2009). Die Mineralstoffausstattung wurde nach GfE-Empfehlungen (2004) eingestellt (Tab. 2).

Tab. 1: Versuchsanordnung Mischungsanteile an RES

Gruppe	Fütterungsphase						
	P-1 (14 Tage)	P-2 (21 Tage)	P-3 (27 Tage)	P-4 (27 Tage)	P-5 (24 Tage)	P-6 (20 Tage)	
Kontrolle	%	0	0	0	0	0	0
RES-1	%	0	0	5,00	5,00	10,0	10,0
RES-2	%	0	5,00	10,0	10,0	15,0	15,0
RES-3	%	5,00	10,0	15,0	15,0	20,0	20,0

Tab. 2: Inhaltsstoffanforderungen an die Alleinfuttermittel

Merkmal	Fütterungsphase						
	1 1-2Wo.	2 3-5Wo.	3 6-9Wo.	4 10-13Wo.	5 14-17Wo.	6 18-21Wo.	
ME***	MJ	11,2	11,4	11,8	12,2	12,4	12,6
Rohprotein	%	28,5	26,5	23,0	21,0	18,0	16,0
Methionin	%	0,60	0,54	0,50	0,48	0,44	0,40
Lysin	%	1,75	1,50	1,30	1,20	1,00	0,90
Lys/ME ***	g/MJ	1,56	1,32	1,10	0,98	0,81	0,71
Met/ME ***	g/MJ	0,54	0,47	0,42	0,39	0,35	0,32
Lys/Met	1:	0,34	0,36	0,38	0,40	0,44	0,44
Calcium**	g/kg	13,0	13,0	12,0	10,0	9,0	7,0
Phosphor~**	g/kg	10,0	10,0	9,0	7,5	6,0	5,0

~Nicht-Phytin-Phosphor, ** nach GfE-Empfehlungen (2004), ***nach Aviagen Turkeys Empfehlungen (2009)

Den Futtermischungen wurden über spezielle Vormischungen freie Aminosäuren zugesetzt, um den hohen Bedarf dieser Aminosäuren sicherzustellen. Die Futtermischungen wurden nach dem Gehalt an verdaulichen Aminosäuren (Lysin, Methionin, Tryptophan, Threonin, Arginin) optimiert (Tab. 3). Hierbei wurden die für die eingesetzten Rohstoffe analysierten Aminosäuregehalte mit den von Aviagen Turkeys (2009) angegebenen Verdaulichkeitswerten multipliziert und mit den Bedarfswerten abgeglichen. Daneben enthielten die Alleinfut-

Tab.3: Zusammensetzung der Alleinfuttermischungen

Futtermittel	Fütterungsphase																					
	P-1 (14 d)		P-2 (21 d)		P-3 (27 d)		P-4 (27 d)		P-5 (24 d)		P-6 (20 d)											
	K	5%	10%	K	5%	10%	15%	K	5%	10%	15%	K	10%	15%	20%							
Sojaextraktions- schrot(HP)	%	35	32	30	27	24	27	25	22	19	26	23	20	17	25	20	16	14	22	16	13	10
Rapsextraktions- schrot	%	0	5	0	5	10	0	5	10	15	0	5	10	15	0	10	15	20	0	10	15	20
Winterweizen, aufg.	%	18,1	14,8	14,4	13,1	12,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Winter- weizen	%	13	12	15	14	12	25,3	21,4	19,1	16,6	26,6	24	21,4	18,8	29,3	23,1	21,8	18,2	37,7	32,5	29,7	27,3
Körner- mais	%	26	28	33	33	33	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	35	35	35	35
Rapsöl	%	0	0,4	0	0,4	1	0,7	1,8	2,1	2,7	1,8	2,5	3,1	3,8	2,2	3,5	4	4,7	2,5	3,8	4,6	5,2
Aminosäure- vormischung	%	2,5	2,5	2,2	2,2	2,2	1,7	1,7	1,7	1,7	1,3	1,3	1,3	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0
Mineralfutter (Pute ¹⁾)	%	3,5	3,5	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,2	3,1	2,8	2,7	2,7	2,5
Mono- calciumphosphat	%	1,9	1,8	2,1	2	1,9	2	1,8	1,8	1,7	1,2	1,1	1,1	1,1	1	0,4	0,3	0	0	0	0	0
supplementierte Aminosäuren	g/kg	7,1	7,1	6	6	6	4,5	4,5	4,5	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	0,78	0,78	0,7	0,68
Lysin	g/kg	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3	3	3	3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,55	1,55	1,4	1,35
Methionin	g/kg	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tryptophan	g/kg	3	3	3	3	3	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Threonin	g/kg	4	4	3,5	3,5	3,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0
Arginin	g/kg	4	4	3,5	3,5	3,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0
¹⁾ P-1 + P-2 (Ausstattung pro kg): Ca 210 g; P 70 g; Na 40 g; Mg 25 g; Cl 50 g; Zn 1800 mg; Mn 2900 mg; Cu 400 mg; Co 12 mg; J 50 mg; Se 5 mg; Vit A 420000 IE; Vit D 145000 IE; Vit E 3000 mg; Vit K 130 mg; Vit B1 100 mg; Vit B2 210 mg; Vit B6 190 mg; Vit B12 700 µg; Nikotinsäure 1800 mg; Pantothersäure 725 mg; Folsäure 100 mg; Biotin 8500 µg P-3 + P-4 (Ausstattung pro kg): Ca 190 g; P 45 g; Na 40 g; Mg 25 g; Cl 50 g; Zn 1000 mg; Mn 2700 mg; Cu 450 mg; Co 15 mg; J 60 mg; Se 4 mg; Vit A 330000 IE; Vit D 92000 IE; Vit E 2500 mg; Vit K 100 mg; Vit B1 25 mg; Vit B2 170 mg; Vit B6 120 mg; Vit B12 650 µg; Nikotinsäure 1250 mg; Pantothersäure 450 mg; Folsäure 70 mg; Biotin 9300 µg P-5 + P-6 (Ausstattung pro kg): Ca 220 g; P 40 g; Na 50 g; Mg 25 g; Cl 50 g; Zn 1000 mg; Mn 2900 mg; Cu 500 mg; Co 10 mg; J 60 mg; Se 4 mg; Vit A 270000 IE; Vit D 67000 IE; Vit E 1600 mg; Vit K 100 mg; Vit B1 8 mg; Vit B2 170 mg; Vit B6 80 mg; Vit B12 700 µg; Nikotinsäure 1100 mg; Pantothersäure 400 mg; Folsäure 70 mg; Biotin 6500 µg																						

termischungen über das Mineralfutter zugesetzte Enzyme (Phytase und 1,4- β -Xylanase).

Für den eingesetzten RES wurden die Glucosinolatgehalte nach ISO-NORM 9167-1 (1992) ermittelt.

Zu Beginn sowie zum Ende jeder Phase wurden Proben der Futtermittel entnommen und auf relevante Inhaltsstoffe untersucht. Die Erfassung der Gewichte und des Futtermittelsverbrauches der Tiere erfolgte nach jedem Phasenwechsel. Alle Tierverluste wurden dokumentiert. Das Gewicht, der Futtermittelsverbrauch und die Tierverluste dienten der Berechnung des Kraftfuttersaufwandes/kg Zuwachs.

Nach Abschluss der sechsten Mastphase wurden aus jeder Box, jeweils 2 Mastputen (insgesamt 48 Tiere), welche in ihrem Gewicht dem Mittelwert der Box entsprachen, entnommen und nach tierschutzrechtlichen Vorgaben geschlachtet. Nach Wiegung der Schlachtkörper, fand die Zerlegung in die wertvollen Teilstücke statt, deren Gewicht, auf das des Schlachtkörpers bezogen wurde. Weiter wurden den Tieren am Tag der Schlachtung die Blinddärme abgebunden, entnommen und auf Salmonellen untersucht.

Die makroskopische Untersuchung der Lebern diente der Beurteilung der Stoffwechselbelastung der Tiere. Um einen möglichen strumigenen Effekt des RES zu erfassen, wurden die Schilddrüsen der Tiere histologisch untersucht.

Die Beurteilung der Fußballengesundheit der Mastputen wurde mit Hilfe eines Pododermatitisscores (score 0 = keine sichtbaren Läsionen; score 3 = tiefe Pododermatitis) nach BERK (2009) vorgenommen.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wurde der European Efficiency Factor (EEF) herangezogen, welcher aus der Überlebensrate, den Tageszunahmen sowie der Futtermittelsverwertung berechnet wird ($EEF = \text{Überlebensrate (\%)} \times \text{Tageszunahmen (g)} / \text{Futtermittelsverwertung (kg/kg)} \times 10$). Die Kosten für die Alleinfuttermischungen wurden aus dem 5-jährigen Mittel (2008-2012) der jeweiligen Rohstoffpreise errechnet und dienten in Verbindung mit den durchschnittlichen Futteraufnahmen der weiteren Berechnung der durchschnittlichen Futterkosten pro Tier. Der Erlös ergab sich aus der Verrechnung der Lebendgewichte der Tiere vor der Schlachtung mit einem Preis von 1,42 €/kg Lebendgewicht. Der Überschuss über Futterkosten wurde aus der Differenz zwischen Erlös und Futterkosten pro Mastpute errechnet.

Die erhobenen Einzeltierdaten wurden mit dem Programm SPSS V. 20.0 (2011) nach dem Gesamt-linearen Modell (GLM) statistisch ausgewertet. Es wurde ein lineares Modell mit dem Einflussfaktor ‚Rapsextraktionsschrot im Alleinfutter‘ verwendet. Differenzen wurden jeweils mit dem Tukey Test geprüft.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Untersuchung der Glucosinolatgehalte ergab Werte von $7,69 \mu\text{Mol/g}$. Auch die für den RES analysierten Inhaltsstoffe wiesen eine typische Zusammensetzung auf.

Bezüglich der Ausstattung mit Mineralstoffen, Umsetzbarer Energie (ME) und Aminosäuren konnten die geplanten Werte sowohl für die Aufzuchtphasen als auch für die Mastphasen bis auf wenige Ausnahmen realisiert werden.

Die Verluste betragen während der Aufzuchtphasen 3,61 % und in den Mastphasen 1,85 %. Es waren keine statistisch abgesicherten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen zu erkennen.

Die vom TGD Grub durchgeführte bakteriologische Untersuchung auf Salmonellen führte bei allen beprobten Blinddärmen zu einem negativen Ergebnis.

Tabelle 4 beschreibt die durchschnittliche Futteraufnahme in den Aufzucht- und Mastphasen. Signifikante Abweichungen traten erst in Phase 5 und 6 auf ($p < 0,05$). In beiden Phasen zeigte die Kontrollgruppe die höchste Futteraufnahme. In Phase 5 hatten die Tiere der Gruppe RES-1 und RES-3 die geringste und RES-2 die zweithöchste Futteraufnahme. Dies kehrte sich in Phase 6 um. Eine mögliche Erklärung der im Vergleich zur Kontrollgruppe gesunkenen Futteraufnahme in Phase 5 ist die Umstellung auf den jeweils um 5 % angestiegenen Gehalt an RES im Alleinfutter dieser Phase. Das Absinken der Futteraufnahme der Tiere aus Gruppe RES-2 von Phase 5 auf Phase 6 könnte mit den auffälligen Leberbefunden dieser Gruppe erklärt werden, da 91,6 % dieser Tiere verschiedenste Ausprägungen einer Leberverfettung aufwiesen (58,3 % Leberverfettungen in den anderen Gruppen). Die kumulative Futteraufnahme wies keine statistisch abgesicherten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen auf ($p > 0,05$).

Tab. 4: Durchschnittliche tägliche Futtermittelaufnahme (g/Tier/d)

Merkmal	Fütterungsgruppe					
	Kontrolle	RES-1	RES-2	RES-3	p ¹⁾	SEM
Futtermittelaufnahme P-1 (14 d)	g/d 35,4	35,6	36,5	31,9	0,164	± 1,49
Futtermittelaufnahme P-2 (21 d)	g/d 113	111	116	111	0,494	± 2,58
Futtermittelaufnahme P-3 (27 d)	g/d 273	264	280	272	0,278	± 5,73
Futtermittelaufnahme P-4 (27 d)	g/d 500	501	511	524	0,274	± 9,55
Futtermittelaufnahme P-5 (24 d)	g/d 681 ^a	633 ^b	669 ^{ab}	635 ^b	0,029	± 12,4
Futtermittelaufnahme P-6 (20 d)	g/d 705 ^a	707 ^a	647 ^b	660 ^{ab}	0,018	± 15,0
Futtermittelaufnahme P-1-6 (133 d)	g/d 410	399	403	398	0,470	± 5,47

¹⁾Irrtumswahrscheinlichkeit

Die Mastendgewichte und die kumulativen Tageszunahmen der Tiere zeigten keine signifikanten Unterschiede (Tab. 5).

Anders als in der Studie von MIKULSKI et al. (2012), welche bei einem RES-Anteil von 18 % im Alleinfutter für B.U.T. 6-Hähne eine schlechtere Futtermittelaufnahme feststellten, waren in dem vorliegenden Versuch keine gerichteten Effekte auf den Futtermittelverbrauch pro kg Zuwachs zu erkennen.

Tab. 5: Anfangs-, Mastendgewichte und kumulative Tageszunahmen der Puten

Merkmal	Fütterungsgruppen				
	Kontrolle	RES-1	RES-2	RES-3	p ¹⁾
	SEM	SEM	SEM	SEM	
Anfangsgewicht	g 60,6 ± 0,307	60,6 ± 0,307	60,7 ± 0,307	60,7 ± 0,307	0,998
Gewicht P-6	kg 22,2 ± 0,182	22,2 ± 0,190	22,2 ± 0,184	21,8 ± 0,184	0,198
Tageszunahmen P1-P6	g/d 166 ± 0,002	166 ± 0,002	166 ± 0,002	163 ± 0,002	0,356

¹⁾Irrtumswahrscheinlichkeit

Auch wenn keine Unterschiede in den Endgewichten (P-6) gefunden wurden, zeigten die Lebendgewichte vor der Schlachtung sowie die Karkassengewichte signifikante Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen (Tab. 6). Die geringsten Gewichte zeigten Tiere der Gruppe RES-3, die höchsten, Tiere der Gruppe RES-2. Der Grund hierfür könnte die hohe Rohfaseraufnahme der Gruppe RES-3 bedingt durch die hohen Gehalte an RES und die damit verbundenen höheren Nüchterungsverluste vor der Schlachtung sein. Diese Unterschiede schlugen sich allerdings nicht in der Schlachtausbeute nieder. Hinsichtlich der Keulengewichte waren die Tiere der Gruppe RES-2 Tieren aus der Gruppe RES-3 signifikant überlegen ($p < 0,05$). Der Gewichtsunterschied zur Kontrollgruppe betrug 5,1 %.

Tab.6: Schlachtkörpergewicht und Teilstückanteile des Schlachtkörpers (LS-Mittelwerte und Standardfehler)

Merkmal	Fütterungsgruppen						SEM
	Kontrolle	RES-1	RES-2	RES-3	p ¹⁾		
Lebendgewicht vor Schlachtung	kg	21,6 ^{ab}	21,3 ^{ab}	21,8 ^a	21,1 ^b	0,031	± 165
Schlachtkörpergewicht (kalt)	kg	18,1 ^{ab}	18,1 ^{ab}	18,3 ^a	17,7 ^b	0,050	± 162
Schlachtausbeute	%	84,0	84,6	84,1	84,0	0,348	± 0,264
Brust	kg	6,80	6,65	6,73	6,55	0,603	± 133
Keule	kg	5,10 ^a	5,10 ^a	5,12 ^a	4,84 ^b	0,033	± 73,9
Flügel	kg	1,78	1,73	1,78	1,78	0,571	± 26,9

¹⁾Irrtumswahrscheinlichkeit

In Fütterungsversuchen von Palander et al. (2004) mit männlichen und weiblichen B.U.T. 8-Puten wurden bei Tieren, die 15 % RES-Anteil im Alleinfutter erhielten, höhere Herz- sowie Schilddrüsengewichte nachgewiesen. Ähnliche Effekte werden auch in der älteren Literatur (Fenwick und Curtis, 1980) berichtet. Diese Ergebnisse lassen sich durch den vorliegenden Versuch nicht bestätigen. Da sich bei weit mehr als der Hälfte der Tiere aller Gruppen eine lymphozytäre Thyroiditis als pathologischer Befund manifestierte, lässt sich über eine mögliche hyperplastische Wirkung sekundärer Pflanzenstoffe des Rapses keine Aussage treffen.

Mehr als 50 % aller Tiere außer der Gruppe RES-2 (41,7 %), waren von einer Pododermatitis (Grad 3) betroffen. Hohe Gehalte an RES im Alleinfutter hatten keine negativen Effekte auf das Pododermatitisgeschehen. Im Gegenteil zeigten die Tiere der Kontrollgruppe mit 83 % der Tiere, die einen Score 3 aufwiesen, die schlechteste Fußballengesundheit. Hingegen dominierten in Gruppe RES-2 Tiere mit oberflächlichen Pododermatiden und bei 8,30 % der Puten ließen sich keine sichtbaren Läsionen erkennen. Diese Gruppe schnitt bei der Bewertung der Fußballengesundheit somit am besten ab.

Auch in Gruppe RES 3 waren mehr als die Hälfte aller Tiere vom Pododermatitissgrad 3 betroffen, gegenüber den Kontrolltieren waren es aber nur 66,7 %. Es bestand kein signifikanter Unterschied im Pododermatitisscore zwischen den Fütterungsgruppen.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von RES in der intensiven Putenmast lässt sich festhalten, dass der EEF für die Gruppe RES-2 die höchsten Werte aufweist (Tab. 7). Dies lässt sich mit der prozentual höheren Überlebensrate (statistisch nicht abgesichert) der Gruppe RES-2 erklären. Da die Überlebensrate allerdings eine betriebsspezifische Größe darstellt, ist die Verallgemeinerung des EEF-Wertes nicht möglich. Jedoch belegt auch die Futterkostenkalkulation die wirtschaftliche Überlegenheit der Gruppe RES-2 gegenüber den anderen Fütterungsgruppen. Zwar ergeben sich für die Gruppe RES-3 geringere Futterkosten (-0,60 €/Tier gegenüber der Kontrolle). Die Gruppe RES-2 weist aber aufgrund höherer Erlöse den höchsten Überschuss über die Futterkosten auf.

Tab. 7: Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zum Fütterungsversuch

Merkmal		Fütterungsgruppen			
		Kontrolle	RES-1	RES-2	RES-3
EEF ¹⁾		66704	67562	68384	65324
Kosten Alleinfuttermischung (P1-P6)	€/dt	29,22	29,11	29,00	28,90
Futterkosten	€/Tier	15,83	15,37	15,46	15,23
Erlös	€/Tier	30,67	30,25	30,96	29,96
Überschuss über Futterkosten	€/Tier	14,84	14,87	15,50	14,73

¹⁾EEF = European Efficiency Factor

4. Schlussfolgerungen

Aus den vorliegenden Ergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

Anteile von bis zu 20 % RES im Alleinfutter für Mastputenhähne (P5 und P6) üben keine nachteiligen Effekte auf die Futterraufnahme, die Mastendgewichte sowie die Futtermittelverwertung aus. Putenhähne, die mit bis zu 15 % RES im Alleinfutter (P5 und P6) versorgt wurden, weisen den höchsten Schlachtkörperwert auf. Weiterhin haben Gehalte bis zu 20 % RES keinen Einfluss auf den Gesundheitsstatus (Stoffwechsel, Pododermatitis, Verluste) von Putenhähnen. Aus wirtschaftlicher Sicht (Überschuss über Futterkosten) können allerdings, für die intensive 6-Phasenmast von Putenhähnen folgende Mischungsanteile an RES (mit durchschnittlichen Glucosinolatgehalten) empfohlen werden: P2: 5 %; P3 u. P4: 10 %; P5 u. P6: 15 %.

5. Literaturangaben

- Aviagen Turkeys, 2009: Feed Programmes For B.U.T. Commercial Turkeys- Key Points. http://www.aviagenturkeys.com/media/25290/atl_commercial_nutrit_004d.pdf, Download 1.04.2012.
- Berk, J., 2009: Effekte der Einstreuart auf Tiergesundheit und Tierleistungen bei Putenhennen. *Praxis trifft Forschung*, 23-29.
- Fenwick, G.R., Curtis, R.F., 1980: Rapeseed meal and its use in poultry diets. A review. *Animal Feed Science and Technology* 5(4), 255-298.
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE), 2004: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastputen. DLG-Verlag, Frankfurt/M.
- ISO 9167-1, 1992: Rapeseed-Determination of glucosinolates content-, Part 1: Method using high -performance liquid chromatography (ISO 9167-1:1992(E)).
- Mikulski, D., Jankowski, J., Zdunczyk, Z., Juskiewicz, J., Slominski, B., 2012: The effect of different dietary levels of rapeseed meal on growth performance, carcass traits, and meat quality in turkeys. *Poultry Science* 91(1), 215-223.
- Palander, S., Näsi, M., Ala-Fossi, I., 2004: Rapeseed and soybean products as protein sources for growing turkeys of different ages. *British poultry science* 45(5), 664-671.

Danksagung

Diese Arbeit wurde von der UFOP (Union zur Förderung von Öl und Proteinpflanzen) und dem Freistaat Bayern gefördert.

Feldstudie zur Praktikabilität der Jungebermast

M. Freitag¹, U. Meierfrankenfeld², G. Freisfeld², B. Walgern³,
M. Ziron¹

¹Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest²Erzeugungerring Westfalen, Senden, ³AGRAVIS Raiffeisen AG, Münster

1. Einleitung

Aus Tierschutzgründen wird die betäubungslose Kastration ab 2019 nicht mehr zulässig sein. Als Alternative bietet sich die Mast intakter männlicher Schweine an. Frühere Versuche haben gezeigt, dass Eber im Vergleich zu Kastraten potenziell ein höheres Muskelfleisch-Bildungsvermögen bei reduzierter Fetteinlagerung haben (Claus, 1993). Bei entsprechendem Nährstoffangebot zeigen Eber auch zum Ende der Mast noch ein hohes Wachstumspotenzial (Weis et al., 2004; Schulze Langenhorst et al., 2010; Quiniou et al., 2010), so dass die anfangs geringeren Tageszunahmen im Verlauf der Mast kompensiert werden können und über den gesamten Mastverlauf betrachtet mit denjenigen der Kastraten vergleichbar sind (Kallweit et al., 1999; Quiniou et al., 2010; Müller, 2010; Schulze Langenhorst et al., 2010) oder sogar darüber liegen (Neupert et al., 1995). Da Eber eine geringe Futtermittelaufnahme bei gleichzeitig hoher Muskelfleischbildung haben, sollte der Aminosäuregehalt im Futter erhöht werden (Susenbeth, 2012). Zahlreiche Untersuchungen in wissenschaftlichen Institutionen, Forschungseinrichtungen und Feldversuchen haben sich in den letzten Jahren mit der Ermittlung der optimalen Aminosäureversorgung beschäftigt (Tab. 9), wobei die Wachstumsleistung zum Teil mit derjenigen von Kastraten und zum Teil mit Sauen verglichen wurde.

In der vorliegenden Untersuchung sollte überprüft werden, in wie weit die Mast von Ebern unter praktischen landwirtschaftlichen Bedingungen von der von Sauen in Bezug auf die Nährstoffversorgung abweicht. Dazu wurden in einem kommerziellen Schweinemastbetrieb Futterrationen mit gleichem Energie- und Rohproteingehalt, aber unterschiedlichem Aminogramm auf Mast- und Schlachtleistung von Jungebern im Vergleich zu Sauen ermittelt.

Tab. 1: Empfehlungen zu Lysingehalten (g/MJME) für Mastfutter

	30 kg	40 kg	70 kg	90 kg
DLG 2010, allgemein	0,90	0,83	0,65	0,56
DLG 2010, hoher Proteinansatz, ♀	0,94	0,88	0,73	0,65
DLG 2010, 850g TZ, ♂	0,90	0,80	0,75	0,60

2. Material und Methoden

Im Rahmen eines Feldversuchs wurden in den Jahren 2011/12 auf einem kommerziellen landwirtschaftlichen Betrieb Sauen und Eber unter betriebsüblichen Bedingungen gemästet. Insgesamt gingen in zwei Durchgängen (DG) 1339 Schweine der Genetik Topigs 20 in den Versuch ein (DG1: 716, DG2: 623 Tiere). Alle Tiere eines DG stammten aus einem Erzeugerbetrieb und einer Wurfwoche. Die Aufstallung erfolgte getrennt geschlechtlich (9-15 Tiere/Bucht, Vollspalten), die Fütterung Sensor gesteuert *ad libitum*, wobei sich jeweils zwei Buchten ein Futtermittelteilten. Der Versuch erstreckte sich über die Mastperiode ab ca. 32 kg im DG1 und 25 kg im DG2, mit Zwischenwiegungen bei 45 und 80 kg. Gefüttert wurde in drei Phasen: Vormast (VM) bis ca. 40 kg, Mittelmast (MM) bis 80 kg und Endmast (EM) bis ca. 110 kg. Sauen (S) und Eber1 (E1) erhielten jeweils das gleiche Futter, Eber2 (E2) eine Ration mit dem gleichen Energie- und Rohproteininhalt bei erhöhtem Aminogramm. Die Inhaltsstoffe des Futters aus Getreide (Weizen, Gerste, Triticale, Roggen ab MM), Sojaextraktionsschrot, Rapsextraktionsschrot, Weizenkleber und Pflanzenöl sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2: Futterinhaltsstoffe für die Tiergruppen

		Sauen/Eber 1			Eber 2		
		VM	MM	EM	VM	MM	EM
MJME/kg		13,5	13,4	13,4	13,5	13,4	13,4
Rohprotein	g/kg	175	170	165	175	170	165
Lysin	g/kg	11,5	10,5	9,5	13,0	12,5	11,5
Meth + Cys	g/kg	6,5	6,0	5,5	7,3	7,1	6,2
Threonin	g/kg	7,8	7,1	6,5	8,9	8,5	7,8
Tryptophan	g/kg	2,2	2,0	1,8	2,5	2,4	2,2
Lysin/MJME	g/MJ	0,86	0,78	0,71	0,98	0,93	0,86

Die Aminosäuregehalte des Kontrollfutters für S und E1 waren etwas geringer (-2 bis -5 %) als die DLG Empfehlungen 2010 für Eber (Tab. 1). Für E2 lag sie in der AM um 9 %, in der MM und EM um 15 % höher.

Datenerhebung: Die Tageszunahmen (TZ) wurden durch Einzeltierwie- gung von mindestens 60 Tieren pro Gruppe ermittelt, der Futteraufwand pro kg Zuwachs durch Gruppenwiegungen aller Tiere an einem Ventil und anhand des Futterverbrauchs zwischen den Wiegezeitpunkten. Die Ermittlung der Mastlei- stung wurde zeitabhängig mit Erreichen des 90. Masttags beendet.

3. Ergebnisse

Die Gewichtsentwicklung der Eber1 war in beiden Durchgängen den Sauen überlegen, die der Eber2 nur im Durchgang1. Im DG2 waren die Tageszunah- men denen der Sauen vergleichbar (Tab. 3). Die Ebergruppen unterschieden sich im DG1 nur geringfügig, im DG2 jedoch signifikant ($p < 0,05$). Die höchsten TZ erzielten die E1 dabei in beiden Durchgängen in der VM, die geringsten in der EM. Bei den E2 war keine Systematik in der Gewichtsentwicklung zu erkennen.

Tab. 3: Entwicklung der Tageszunahmen (TZ, $\bar{x} \pm s$)

	TZ(g) VM	TZ(g) MM	TZ(g) EM	TZ(g) ges.
DG 1				
S (64)	851 ± 288 ^a	904 ± 122 ^a	802 ± 132 ^a	859 ± 77 ^a
E1 (60)	975 ± 333 ^b	947 ± 343 ^{ab}	934 ± 490 ^b	944 ± 104 ^b
E2 (61)	826 ± 239 ^a	1008 ± 107 ^b	937 ± 135 ^b	951 ± 84 ^b
DG 2				
S (60)	973 ± 108 ^a	968 ± 86 ^a	852 ± 56 ^a	936 ± 67 ^a
E1 (60)	1042 ± 116 ^b	978 ± 93 ^a	925 ± 65 ^b	983 ± 79 ^b
E2 (60)	962 ± 94 ^a	964 ± 113 ^a	871 ± 61 ^a	938 ± 74 ^a

a,b in einer Spalte: $p < 0,05$ (): Anzahl Tiere

Die Futteraufnahme der Eber war in beiden Durchgängen in allen Mastabschnit- ten tendenziell bzw. signifikant geringer als die der Sauen (Tab. 4). Zur Ermitt- lung des Futteraufwands pro kg Zuwachs wurden alle Tiere an einem Futter- ventil gewogen. Bei den Ebern musste in beiden Durchgängen weniger Futter aufgewendet werden. Die Differenzen waren im DG2 in der Mittel- und Endmast

sowie in der Gesamtmast signifikant. Im DG1 waren nur die E2 den Sauen überlegen ($p < 0,05$) (Tab. 5).

Tab. 4: Futtermittelaufnahme pro Tag ($\bar{x} \pm s$)

	VM	MM	EM	gesamt
DG 1				
S (9)	2,0±0,3 ^a	2,7±0,2 ^a	2,9±0,2 ^a	2,6±0,2 ^a
E1 (10)	1,8±0,3 ^b	2,5±0,3 ^a	2,7±0,3 ^b	2,4±0,3 ^b
E2 (9)	1,7±0,1 ^b	2,5±0,2 ^a	2,8±0,3 ^{ab}	2,5±0,2 ^{ab}
DG 2				
S (10)	1,8±0,6 ^a	2,4±0,2 ^a	2,7±0,2 ^a	2,4±0,2 ^a
E1 (7)	1,6±0,2 ^b	2,2±0,2 ^b	2,8±0,3 ^b	2,2±0,2 ^b
E2 (7)	1,5±0,1 ^b	2,1±0,1 ^b	2,6±0,2 ^b	2,1±0,1 ^b

a,b in einer Spalte: $p < 0,05$

Tab. 5: Futteraufwand (kg) pro kg Zuwachs (FA/kg; $\bar{x} \pm s$)

	FA/kg VM	FA/kg MM	FA/kg EM	FA/kg ges.
DG 1				
S (9)	2,35±0,25	2,76±0,23 ^a	3,61±0,43	2,98±0,24 ^a
E1 (10)	2,22±0,35	2,59±0,21 ^{ab}	3,32±0,58	2,85±0,28 ^{ab}
E2 (9)	2,16±0,24	2,48±0,28 ^b	3,29±0,33	2,73±0,25 ^b
DG 2				
S (10)	1,89±0,24	2,52±0,39 ^a	3,39±0,57 ^a	2,65±0,35 ^a
E1 (7)	1,59±0,21	2,18±0,30 ^b	2,86±0,13 ^b	2,27±0,20 ^b
E2 (7)	1,58±0,16	2,20±0,15 ^b	2,85±0,22 ^b	2,28±0,16 ^b

a,b in einer Spalte: $p < 0,05$ (): Anzahl Ventile pro Gruppe

4. Diskussion

In beiden Durchgängen lagen die Tageszunahmen sowohl bei den Ebern als auch bei den Sauen für kommerzielle Schweinemastbetriebe auf einem hohen Niveau, wobei die E1 in der AM, der EM und in der gesamten Mast höhere TZ als die S ($p < 0,05$) aufwiesen, während dies für E2 nur im DG1 und auch nicht in der

AM zutraf. Dabei wurde durch die höheren Aminosäuregehalte des Futters für die E2 die Mastleistung nicht verbessert. Damit war ein AS-Gehalt entsprechend der Empfehlungen DLG (2010) ausreichend. In beiden Durchgängen lagen die TZ der Eber in der Vormast und Mittelmast höher als in der EM. Dies ist bemerkenswert, da in früheren Versuchen auch unter aktuellen Bedingungen bei Ebern in der Vormast die geringsten Tageszunahmen ermittelt wurden (Tab. 6). Aufgrund der geringen Futteraufnahme bereits zu Mastbeginn ist neben der ausreichenden Aminosäurenversorgung offensichtlich auch ein hoher Energiegehalt im Futter erforderlich.

Tab. 6: Überblick über Versuchsergebnisse zur Ebermast

Institution	30 kg	40 kg	70 kg	90 kg	TZ AM	Ø TZ	FA/kg
Haus Düsse	0,95	0,85	0,85	0,85	719	906	2,41
(Schulze Langen- horst, 2010)	0,95	0,85	0,75	0,75	723	893	2,49
	0,95	0,85	0,85	0,71	737	901	2,46
LFL Bayern (Lin- dermayer et al., 2012)	0,84	0,68		0,58	680	708	2,56
	0,92	0,70		0,59	695	701	2,57
Verbundprojekt		0,86	0,69	0,69	k. A.	961	2,32
Eberfütterung (Müller, 2012)		1,00	0,80	0,80	k. A.	966	2,30
		1,12	0,90	0,90	k. A.	958	2,32

Der Lysingehalt von 0,86 g/MJME in der VM war ausreichend für hohe Leistungen. Höhere Gehalte sind unter Praxisbedingungen für die verwendete Genetik nicht erforderlich, möglicherweise sogar negativ, da in der vorliegenden Untersuchung in beiden DG die Eber mit der höheren AS-Versorgung signifikant schlechtere TZ aufwiesen. Ob in der EM ein Lysingehalt von 0,71 g/MJ ME erforderlich ist, ist durch weitere Untersuchungen abzuklären und fraglich, da in kürzlich durchgeführten Studien bereits mit 0,63 g Lysin/MJME in der EM TZ von 953 g erreicht wurden (Kraft et al., 2012).

Die FA der Eber war trotz der hohen Tageszunahmen deutlich geringer als die der Sauen, wobei eine Erhöhung der AS Versorgung nur im DG1 zu einer Steigerung der FA um 100 g pro Tag führte. Auch Lanferdini et al. (2013) konnten durch Erhöhung der AS-Zufuhr keine Steigerung der FA bzw. des FA/kg Zuwachs erzielen. Die hohen TZ bei geringer FA unterstreichen die hohe Nährstoffeffizi-

ens der Eber. Diese differierte in der vorliegenden Untersuchung deutlich zwischen den DG. Da im DG1 um die Tröge herum Futterreste auftraten, wurden diese im DG2 verlängert, so dass jedem Tier 0,33 cm zur Verfügung standen. Möglicherweise ist der hohe Futteraufwand im DG1 durch Futterverluste zu erklären.

5. Fazit

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass mit einem Futter mit von der DLG 2010 für Eber empfohlenem Aminogramm bei erhöhter Energiekonzentration auf kommerziellen Betrieben sehr gute Mastleistungen erzielt werden können, wobei die Mastleistung der Eber die der Sauen übertrifft. Bei gleichzeitig geringer Futteraufnahme ist die Umsetzung von Energie und Nährstoffen bei Ebern sehr effizient. Somit kann die Ebermast zur Reduzierung von Nährstoffemissionen beitragen. Eine Erhöhung der Aminosäuregehalte über die Empfehlungen der DLG (2010) für Eber ist nicht erforderlich.

6. Literaturangaben

- Claus, R., 1993: Die unendliche Geschichte der Ebermast. Fleischwirtschaft 73(4), 449-453.
- DLG, 2010: Erfolgreiche Schweinefütterung. DLG KOMPAKT, DLG e. V. Frankfurt a. M., 80.
- Kallweit, E., Parvizi, N., Klobasa, F., Henning, M., Böhme, H., 1999: Ebermast mit unterschiedlicher Proteinversorgung. Arch. Tierz. 42(6), 583-591.
- Kraft, K., Grün, P., Rodehutsord, M., 2012: Optimierung der Lysinversorgung in der Ebermast. Versuchsbericht des LSZ Boxberg, 3.
- Lanferdini, E., Lovatto, P.A., Melchior, R., Orlando, U.A.D., Ceccantini, M., Poleze, E., 2013: Feeding surgically castrated, entire male and immunocastrated pigs with different levels of amino acids and energy at constant protein to energy ratio with or without ractopamine. Livestock Sci. 151(2-3), 246-251.
- Lindermayer, H., Preißinger, W., Propstmeier, G., Schedle, K., 2012: Ebermast – Fütterungsversuch mit Lysinanhebung und Inulingaben zur Reduzierung des Ebergeruchs (Skatol). Versuchsbericht VPS 28 des Instituts für Tierernährung und Futterwirtschaft, ITE 2 – Schweinefütterung, 22.

- Müller, S., 2010: Ebermast – was erwartet den Schweineproduzenten? Schweinezucht aktuell 37, 42-44.
- Müller, S., 2012: Wie viel Lysin brauchen Eber? SUS 4, 40-43.
- Neupert, B., Claus, R., Herbert, E., Weiler, U., 1995: Einfluss von Geschlecht, Fütterung und Lichtprogrammen auf Mastleistung und Schlachtkörperwert sowie die Androstenon- und Skatolbildung beim Schwein. Züchtungskunde 67(4), 317-331.
- Schulze Langenhorst, C., Büttfering, L., Adam, F., 2010: In einem Fütterungsversuch im Landwirtschaftszentrum Haus Düsse ist die Frage der bedarfsgerechten Aminosäureversorgung sowie der optimalen Gestaltung der Mastabschnitte in der Jungebermast geprüft worden. Landwirtschaftszentrum Haus Düsse, Fachbereich Schweinehaltung, Versuchsberichte 2010, 10.
- Susenbeth, A., 2012: Fütterung in der Ebermast. Krafftutter 3, 19-23.
- Weis, R.N., Birkett, S.H., Morell P.C.H., de Lange, C.F.M., 2004: Effects of energy intake and body weight on physical and chemical body composition in growing entire male pigs. J. Anim. Sci. 82, 109-212.
- Quiniou, N., Courboulay, V., Slanün, Y., Chevillon, P., 2010: Impact of the non castration of male pigs on growth performance and behaviour – comparison with barrows and gilts. 61st annual meeting of the European Association for Animal Production, August 23rd- 27th, Heraklion, Grete Island, Greece, Session 17th Symposium: Alternatives to castration in pigs, 1-7.

Danksagung

Die Autoren danken der Rentenbank für die finanzielle Unterstützung.

Auswirkungen einer N-reduzierten Fütterung beim Schwein auf Mast- und Schlachtleistungen, Stallluftqualität und Gülleinhaltsstoffe

W. Preißinger, H. Lindermayer, G. Propstmeier

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futtermittelerwirtschaft, Schwarzenau, Poing

1. Einleitung

Die N-reduzierte Phasenfütterung der Mastschweine ist das Gebot der Stunde. Denn wer die Eiweißversorgung seiner Tiere möglichst nahe am Bedarf ausrichtet, entlastet die Umwelt, unterstützt die Tiergesundheit, optimiert die Stallluft für Mensch und Tier und senkt dabei zwangsläufig die Futterkosten. Darüber hinaus wird importiertes Sojaextraktionsschrot eingespart, die Nährstoffbilanz verbessert und die Betriebsentwicklung hinsichtlich Baugenehmigungsverfahren, Flächensparnis etc. gestärkt.

Die N-reduzierte Fütterung ist seit etwa 20 Jahren etabliert. Zahlreiche Studien und Versuche mit Mastschweinen (Relandeau, 1999; Preißinger et al., 2011; Preißinger et al., 2013a) sowie Ergebnisse aus der Praxis (LKV-Bayern, 2012) belegen, dass bei einer N-reduzierten Phasenfütterung mit keinen Leistungseinbußen gerechnet werden muss. Oftmals sind die Mast- und Schlachtleistungen gegenüber der Universalmast sogar verbessert. Zu den Auswirkungen der Phasenfütterung auf die Qualität der Stallluft und die Zusammensetzung der Gülle liegen jedoch kaum Untersuchungen vor. In vorliegenden Versuchen wurden deshalb in zwei Mastabteilen die NH_3 -Gehalte in der Stall- und Abluft sowie die Inhaltsstoffe der Gülle bei einer 2-phasigen Fütterung mit Vor- und Endmastfutter bzw. einer Universalmast getrennt erfasst. Dies wurde sowohl unter Winter- als auch Sommerlufttraten geprüft. Der Rohproteingehalt des Universalmastfutters war dabei bewusst etwas überzogen worden, um die möglichen Auswirkungen auf Stallluft und Gülle besser darstellen zu können.

2. Material und Methoden

Für die Untersuchung wurden zwei Fütterungsversuche mit Mastschweinen am Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Schweinehaltung Schwarzenau durch-

geführt. Dazu wurden jeweils 224 Ferkel der Rasse Pi x (DL x DE) nach Lebendmasse, Abstammung und Geschlecht ausgewählt und gleichmäßig auf zwei Gruppen (Phasenfütterung bzw. Universalmast) aufgeteilt. Die Mastschweine wurden in zwei identisch aufgebauten Mastabteilen mit jeweils vier Buchten zu je 28 Tieren auf Betonspalten ohne Einstreu gehalten. Die Fütterung erfolgte am Kurztrug mit Trogsensor und Flüssigfütterung (Fa. Meyer-Lohne). Die Flüssigfuttermengen wurden für jede Bucht automatisch verwogen. Die Lebendmassen wurden bei der Ein- und Ausstallung sowie alle drei Wochen erfasst. Beim Erreichen von ca. 115 kg LM wurden die Tiere nach den Vorgaben der Mastleistungsprüfung an drei Terminen im Versuchsschlachthaus Schwarzenau geschlachtet. Die Versuchsmischungen wurden in der Versuchsmahl- und Mischanlage Schwarzenau hergestellt. Die Futteruntersuchen wurden im Labor der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub nach Methoden des VDLUFA (2012) durchgeführt. Zur Bestimmung der Preiswürdigkeiten wurden die zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung aktuellen Zukaufspreise zugrunde gelegt. Nach Mastende wurden für jede Behandlungsgruppe Gülleproben gezogen und der Gülleanfall ermittelt. Die Analyse der Gülleproben wurde im Labor der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen in Freising nach VDLUFA-Richtlinien (VDLUFA 2008, 2011) durchgeführt. Die NH₃-Messung im Tierbereich und Abluftsystem erfolgte fotoakkustisch (Fa. Innova Air Tech Instrumenst). Die NH₃-Werte wurden zusätzlich mit Kurzzeitprüfröhrchen (Fa. MSA) überprüft. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programmpaket SAS (Varianzanalyse, Mittelwertsvergleich). Signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) sind mit unterschiedlichen Hochbuchstaben gekennzeichnet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Versuchsrationen basierten auf Weizen, Gerste und Sojaextraktionsschrot und waren energetisch gleichwertig. Sie waren geeignet für hohe Mast- und Schlachtleistungen. Bei der 2-Phasenfütterung wurde durch ein Mineralfutter mit mehr Aminosäuren eine deutliche Einsparung an Sojaextraktionsschrot mit weniger Rohprotein im Futter erreicht. Vom Anfangs- zum Endmastfutter ist die Reduzierung von Aminosäuren deutlich erkennbar (Tab. 1). Beide Mastdurchgänge liefen ohne größere Probleme ab.

Tab. 1: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe bei 88 % TM sowie die Kosten der Versuchsrationen

		2-Phasenfütterung		Universal-
		Anfangs-	Endmast	mast
Weizen	%	30	42	38
Gerste	%	39	42	37
Mais	%	10	--	
Soja 48	%	18	14	22
Mineralfutter I ¹⁾	%	3	2	--
Mineralfutter II ²⁾	%			3
ME	MJ	13,33	13,29	13,34
Rohprotein	g	178	172	195
Lysin	g	11,1	9,0	11,3
Methionin	g	3,0	2,9	3,2
Threonin	g	6,8	6,6	7,1
Tryptophan	g	2,1	1,8	2,3
Rohfett	g	23	19	24
Rohfaser	g	36	36	35
Stärke	g	454	461	431
Rohasche	g	49	48	52
Ca	g	8,8	8,1	8,5
P	g	4,4	4,3	4,7
Na	g	2,2	2,3	2,4
Preis/dt	€/dt	24,15	23,20	24,65

¹⁾7 % Lysin, 1,5 % Met, 1 % Thr, ²⁾5 % Lysin, 1 % Met, 1 % Thr

Im Winterdurchgang lagen die täglichen Zunahmen bei der Phasenfütterung mit 891 g gegenüber 858 g signifikant höher als bei der Universalmasst. Im Sommer wurde mit 863 g bzw. 878 g kein Effekt der Fütterung auf die täglichen Zunahmen beobachtet (vgl. Tab. 2). Auch auf Futtermittelverzehr und Futtermittelaufwand je kg Zuwachs wurde in beiden Durchgängen kein Einfluss der Fütterung festgestellt. Im Mittel der Versuche lag der Futtermittelverzehr bei 2,4 kg (Winter) bzw. 2,3 kg (Sommer) pro Tier und Tag.

Tab. 2: Mastleistungsergebnisse bei Phasenfütterung und Universalmast

		Phasen- fütterung	Universalmast	Sign. p < 0,05
Durchgang Winter				
Tiere	n	112	112	
LM, Beginn	kg	40,1	40,2	n.s.
LM, Ende	kg	115,2	113,0	n.s.
Zunahmen	g/d	891	858	0,026
Futteraufnahme	kg/d	2,4	2,4	n.s.
Futteraufwand	kg/kg	2,70	2,83	n.s.
Durchgang Sommer				
Tiere	n	112	111	
LM, Beginn	kg	34,4	34,5	n.s.
LM, Ende	kg	113,2	113,9	n.s.
Zunahmen	g/d	863	878	n.s.
Futteraufnahme	kg/d	2,3	2,3	n.,s.
Futteraufwand	kg/kg	2,30	2,33	n.s.

Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, wurde in beiden Versuchsdurchgängen keiner der in die Untersuchung einbezogenen Fleischleistungsparameter durch die Fütterung beeinflusst. Im Mittel wurde ein Muskelfleischanteil von 59,9 % (Winter) bzw. 58,8 % (Sommer) ermittelt.

Der Gülleanfall sowie die Zusammensetzung der Gülle sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Aufgrund des späteren Mastbeginns (40 kg gegenüber 34 kg LM) lag der Gülleanfall im Winterdurchgang im Mittel knapp 0,1 m³ pro Tier niedriger. Die ermittelten Güllemenge stimmen gut mit den Ergebnissen weiterer Mastversuche aus Schwarzenau überein (Preißinger et al. 2013a, b). Mit Ausnahme der Gesamt- und NH₄-N-Gehalte zeigten sich zwischen den Behandlungsgruppen beider Durchgänge keine gravierenden Unterschiede bei den analysierten Gülleinhaltsstoffen. Bezüglich Gesamt- und NH₄-N-Gehalt wurde ein höherer Gehalt in der Gülle der Universalmastgruppe vorgefunden. Dies ist möglicherweise in der überhöhten N-Zufuhr begründet.

Tab. 3: Schlachtleistungsergebnisse bei Phasenfütterung und Universalmast

		Phasen- fütterung	Universal- mast	Sign. p < 0,05
Durchgang Winter				
Schlachtgewicht	kg	92,0	90,8	n.s.
Fleischfläche	cm ²	57,3	57,5	n.s.
Fettfläche	cm ²	17,1	16,9	n.s.
Fleisch/Fett	1:	0,30	0,30	n.s.
Speckmaß	mm	14,3	13,9	n.s.
Fleischmaß	mm	70,5	70,0	n.s.
Fleisch i. Bauch	%	57,3	57,3	n.s.
Muskelfleisch	%	59,8	59,9	n.s.
Durchgang Sommer				
Schlachtgewicht	kg	89,9	90,0	n.s.
Fleischfläche	cm ²	53,8	53,8	n.s.
Fettfläche	cm ²	17,1	18,0	n.s.
Fleisch/Fett	1:	32,4	34,2	n.s.
Speckmaß	mm	14,7	14,9	n.s.
Fleischmaß	mm	67,9	67,7	n.s.
Fleisch i. Bauch	%	56,7	56,6	n.s.
Muskelfleisch	%	58,9	58,7	n.s.

In Tabelle 5 sind die fotoakustisch ermittelten NH₃-Konzentrationen im Tierbereich und in der Abluft relativ zu den NH₃-Konzentrationen bei der Phasenfütterung im Tierbereich dargestellt. Im Winter lag die NH₃-Konzentration bei Phasenfütterung im Tierbereich bzw. in der Abluft gegenüber der Universalmast um 18 % bzw. 25 % höher. Im Sommer konnte nur in der Abluft eine um 15 % erhöhte NH₃-Konzentrationen bei der Universalmast ermittelt werden. Demgegenüber war die NH₃-Konzentration im Tierbereich bei der Phasenfütterung sogar höher. Die Überprüfung der NH₃-Konzentrationen mittels Kurzeitprüfröhrchen ist ebenfalls in Tabelle 5 dargestellt und führte zu vergleichbaren Ergebnissen wie die fotoakustische Dauermessung.

Tab. 4: Güllemenge und Güllezusammensetzung bei Phasenfütterung und Universalmast

		Phasen- fütterung	Universalmast
Winterdurchgang			
Gülle	m ³ /Tier	0,38	0,39
pH		7,3	7,5
Trockenmasse	%	6,3	5,5
Org. Substanz	kg/m ³	38,0*	36,7*
N-gesamt	kg/m ³	5,8*	6,6*
NH ₄ -N	kg/m ³	4,5*	5,4*
K ₂ O	kg/m ³	2,8*	2,9*
MgO	kg/m ³	1,0*	0,9*
CaO	kg/m ³	1,7*	1,6*
Na	kg/m ³	0,4*	0,5*
P ₂ O ₅	kg/m ³	2,4*	2,4*
S	kg/m ³	0,3*	0,3*
Cu	mg/kg TM	112	107
Zn	mg/kg TM	696	670
Mn	mg/kg TM	726	686
Fe	mg/kg TM	1 617	1 578
Sommerdurchgang			
Gülle	m ³ /Tier	0,46	0,49
pH		7,5	7,5
Trockenmasse	%	5,7	4,1
Org. Substanz	kg/m ³	37,3*	36,0*
N-gesamt	kg/m ³	5,8*	7,7*
NH ₄ -N	kg/m ³	4,7*	6,5*
K ₂ O	kg/m ³	3,0*	3,3*
MgO	kg/m ³	1,1*	1,2*
CaO	kg/m ³	1,8*	1,6*
Na	kg/m ³	0,5*	0,6*
P ₂ O ₅	kg/m ³	2,7*	2,8*
S	kg/m ³	0,3*	0,3*
Cu	mg/kg TM	120	139
Zn	mg/kg TM	761	865
Mn	mg/kg TM	787	839
Fe	mg/kg TM	1 694	1 864

*umgerechnet auf 5% TM

Tab. 5: NH₃-Konzentrationen im Tierbereich und Abluft bei Phasenfütterung und Universalmast

		Phasenfütterung		Universalmast	
		Tierbereich	Abluft	Tierbereich	Abluft
Winter					
photoakustisch ¹⁾	%	100*	130*	118*	154*
Prüfröhrchen	ppm	19,6	21,8	20,9	23,6
Sommer					
photoakustisch ¹⁾	%	100*	104*	78*	119*
Prüfröhrchen		14,8	15,4	14,8	17,6

*Angaben relativ zum Tierbereich bei Phasenfütterung

Die Summe der Volumenströme war sowohl im Winter (7277 vs. 6680 m³/h) als auch im Sommer (16 486 vs. 12 804 m³/h) in den Abteilen mit Universalmast höher. Die mittleren Abteilterperaturen lagen im Winter bei ca. 21 °C und im Sommer bei ca. 25 °C.

4. Schlussfolgerungen

Die Phasenfütterung zeigte keine negative Beeinflussung der Mast- und Schlachtleistung. Die erhöhte Stickstoffzufuhr bei rohproteinreicher Fütterung fand sich in der Gülle und nicht im Fleischansatz wieder. Mehr Rohprotein im Futter bei 1-phasiger Fütterung reicherte die Stallluft mit N-Abbauprodukten (NH₃) an. Betroffen davon war hauptsächlich die Abluft.

Somit hat Phasenfütterung gegenüber Universalmast unschlagbare Umwelt-, Tierwohl- und Kostenvorteile!

5. Literaturangaben

Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e. V. (LKV) (Hrsg.), 2012: Fleischleistungsprüfung in Bayern 2012.

- Preißinger, W., Lindermayer, H., Propstmeier, G., 2011: „Einfache“ Phasenfütterung in der Ferkelaufzucht und in der Mast. In Tagungsband 10. BOKU-Symposium Tierernährung, 244-248.
- Preißinger, W., Lindermayer, H., Propstmeier, G., 2013a: „Einfache“ Multiphasenfütterung in der Schweinemast durch Verschneiden mit Weizen. In: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2013, Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 126-129.
- Preißinger, W., Lindermayer, H., Propstmeier, G., 2013b: Schweinemast mit Rapsextraktionsschrot. In Tagungsband 12. BOKU-Symposium Tierernährung, 77-82.
- Relandeau, C., 1999: Aktuelle Fütterungskonzepte zur Vermeidung der Stickstoffausscheidung beim Schwein. Lohman Information 4/99, 1-6.
- VDLUFA-Methodenbuch Band II.1: Die Untersuchung von Düngemitteln. 4. Auflage 1995, 5. Ergänz.lief. 2011, VDLUFA-Verlag Darmstadt.
- VDLUFA-Methodenbuch Band II.2: Die Untersuchung von Sekundärrohstoffdüngern, Kultursubstraten und Bodenhilfsstoffen. 1. Aufl. 2000, 1. Ergänz.lief. 2008, VDLUFA-Verlag Darmstadt.
- VDLUFA-Methodenbuch Band III: Die Untersuchung von Futtermitteln 3. Aufl. 1976, 8. Ergänz.lief. 2012, VDLUFA-Verlag Darmstadt.

Pflegewirksamkeit der Schafbeweidung in Heiden Brandenburgs

M. Jurkschat¹, D. Lüttschwager², C. Ewald²

¹Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung des Landes Brandenburg, Groß Kreutz, ²Leibnitz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF e. V.), Müncheberg

1. Einleitung

Auf einem Großteil ehemaliger Militärflächen in Brandenburg haben sich Heiden und Sandtrockenrasen etabliert. Allein 9630 ha davon entsprechen dem Lebensraumtyp „Trockene Heiden“. Diese sind als FFH-Flächen bei der EU gemeldet und müssen aus naturschutzfachlicher Sicht im Zustand erhalten bzw. verbessert werden. Sie sind Lebensgrundlage für viele vom Aussterben bedrohte Tier- und Pflanzenarten. Diese sind auf die Existenz verschiedener Altersstadien von Besenheide (*Calluna vulgaris*) spezialisiert. Nährstoffzufuhren über Luft und Niederschläge stören das Gleichgewicht im Heideökosystem und fördern das Fortschreiten der Sukzession. Die Nährstoffe müssen über Pflegemaßnahmen wieder abgeführt werden. Die am häufigsten angewendete Methode der Heidepflege ist derzeit die Schafbeweidung. In einem von der DBU (Deutsche Bundesumweltstiftung) finanzierten Projekt wurden neben der Schafbeweidung auch die Wirkung der Heidemahd und der Energieholzgewinnung im Rahmen des Offenlandmanagements untersucht. Die Untersuchungen sind von 2007 bis 2011 durchgeführt worden. Im vorliegenden Beitrag werden die Untersuchungsergebnisse zur Wirksamkeit unterschiedlicher Beweidungsverfahren mit Schafen in Bezug auf den Biomasseentzug, die Verbisswirkung an Gehölzen und den Entzug von Nährelementen und dargestellt.

2. Material und Methode

Der Biomasseverzehr konnte mittels unterschiedlicher Methoden geschätzt werden. Zum einen wurden Transekte in den von den jeweiligen Pflanzenarten dominierten Arealen (Besenheide – *Calluna vulgaris* oder Landreitgras – *Calamagrostis epigejos*) eingerichtet. Aus den Differenzen vor und nach der Beweidung ist der Biomasseverzehr errechnet worden. Zum anderen sind Weide-

körbe auf die Weidegebiete verteilt worden. Hierbei war pro Weidekäfig jeweils ein Flächenausschnitt von 1,0 m² von der Beweidung ausgeschlossen. In unmittelbarer Nachbarschaft wurde zu Beweidungsbeginn und Beweidungsende Teilflächen von jeweils 0,25 m² beerntet. Nach Beweidungsabschluss erfolgte ebenfalls eine Beerntung im Bereich unmittelbar am Weidekorb und unter dem Weidekorb. Im Unterschied zur ersten Methode konnte hierbei der Zuwachs berücksichtigt werden.

Aus dem von den Beprobungsstellen geernteten Pflanzenmaterial wurden Mischproben gebildet und im Rahmen einer Weender Futteranalyse getrocknet. Auf der Basis der ermittelten Trockensubstanzgehalte wurde der jeweils geschätzte Frischmasseverzehr auf den Trockenmassverzehr umgerechnet. Aus den gemessenen N-Gehalten und dem Trockensubstanzverzehr konnte die N-Aufnahme durch die Schafe berechnet werden.

Mittels Regenmesser wurden Niederschlagsmengen erfasst. Aus den N-Konzentrationen des aufgefangenen Regenwassers und den Niederschlagsmengen konnten die atmosphären N-Einträge kalkuliert werden. Des Weiteren wurde zur Einschätzung des Rückeintrages von N über die Exkremente auf den Beprobungsstellen die Kotmenge in Stichproben erfasst. Detaillierte Erläuterungen zur Methodik der Ermittlung des Biomasseverzehrs durch die Schafe und zur Berechnung der N-Bilanz sind bei Lüttschwager und Ewald (2012) veröffentlicht.

Die an der Versuchsdurchführung beteiligten Mitarbeiter der Bundesforst richteten insgesamt 8 Dauerbeobachtungsflächen (8 x 8 m) ein, die umzäunt und somit von der Beweidung ausgeschlossen gewesen waren. Jährlich einmal – Anfang Juni – ermittelten die Projektbearbeiter vor der ersten Beweidung Aufwuchshöhe und Aufwuchsmenge (jeweils Mittelung von 3 Beprobungsstellen inner- und außerhalb des umzäunten Bereiches). Der Vergleich der Entwicklung der Vegetation innerhalb und außerhalb des umzäunten Bereiches sollte den Einfluss der Schafbeweidung über mehrere Jahre verdeutlichen. Zusätzlich sind die Auswirkungen der Beweidung auf Stockausschlägen von Birke und Espe fotografisch dokumentiert worden.

Aus dem Weidetagebuch des Schäfers waren die Daten zu Beweidungszeiträumen und die Herdengrößen dokumentiert. Hieraus ergaben sich Beweidungsdauer und Besatzdichten für die einzelnen Weidegebiete. Die Kenndaten der Beweidungsintensität konnten in der Auswertung mit dem geschätzten Biomasseentzug in Beziehung gesetzt werden.

3. Ergebnisse**3.1 Biomasseentzug und Verbiss des Landreitgrases**

Der Biomasseentzug variierte erheblich in Abhängigkeit von Besatzdichte und Beweidungsdauer (Tab. 1). Bei eintägiger Kopplung und einer Besatzdichte von 116,3 GV/ha (entspräche 1163 Mutterschafen/ha) war dieser ungefähr so hoch wie beim 16-tägigen Hüten und einer Besatzdichte von 0,9 GV/ha (9 Muttern/ha). Hingegen betrug der Biomasseentzug bei 42-tägigem Hüten und einer Besatzdichte von 0,5 GV/ha lediglich 200 kg/ha.

Tab. 1: Übersicht zu Daten zur Beweidung sowie zum geschätzten Biomasseentzug in den Transekten auf Landreitgras (*Calamagrostis epigejos*, TS = Trockensubstanz)

Weideverf. / Beweidungs- beginn	Flächen -größe (ha)	Bewei- dungsdauer (Tage)	Besatzd. (GV/ha)	Aufwuchs vor Auftrieb (kg TS/ha)	Entzug Biom. (kg TS/ ha)
Koppelhtg.					
28.07.08	4,7	6	15,7	5.160	910
14.05.09	0,7	1	116,3	2.800	1.088
18.05.10	0,7	1	109,6	753	370
Hütehtg.					
15.05.09	91	16	0,9	2.960	993
18.09.09	164	42	0,5	1.553	200
08.08.10	14	6	5,5	1.052	822

Zur Öffnung einer aufgelassenen Landreitgrasdominanzfläche wurde bei der ersten Beweidung scharf beweidet (Kopplung, hohe Besatzdichte – 600 Schafe mit Lämmern für 8 h auf 0,7 ha, Beweidungsdauer 1 Tag – Tab. 1 bzw. Abb. 1). Anschließend wurde wiederholt locker überhütet. Dabei ist zunächst überständiges, für die Schafe unattraktives Gras eingetreten worden. Hierdurch verbesserten sich in den Folgejahren die Bedingungen für das Nachwachsen von jungem Landreitgras. Dieses ist rohfaserärmer, energie- und proteinreicher und wird von den Schafen sehr gut verbissen. Innerhalb von 3 Jahren konnte auf diese Weise das Landreitgras auch aus den Dominanzbereichen deutlich zurückgedrängt werden (Abb. 2).



Abb. 1: Landreitgras (*Calamagrostis epigejos*) vor der ersten Kopplung (28.07.2008 - links) und nach der folgenden Kopplung im Mai 2009 (rechts)



Abb. 2: Die Fläche aus Abb. 1 nach einer achtstündigen Kopplung im Mai 2010

Anhand der Entwicklung der Vegetation in den beweideten bzw. unbeweideten Bereichen der Dauerbeobachtungsflächen wurde deutlich, welche Folgen das Einstellen der Beweidung in Bezug auf den Pflegezustand der Heideflächen hat (Abb. 3). Nach 4 Jahren Beweidungsdauer lag der Trockenmassertrag im beweideten Bereich um 12,4 dt/ha unter dem im unbeweideten Bereich.



Abb. 3: Dauerbeobachtungsfläche auf Landreitgras (*Calamagrostis epigeios*) am 07.06.2010 nach 4 Versuchsjahren in einem seit ca. 10 Jahren gehüteten Weidegebiet

3.2 Verbiss der Besenheide (*Calluna vulgaris*)

Ein wichtiges Ziel der Heidpflege besteht neben der Verdrängung von Gräsern in der Verjüngung der Besenheide. Altheide muss intensiv verbissen werden. Dadurch wird die Bildung neuer Triebe angeregt. Der Tritt der Schafe führt außerdem zum Bodenschluss der ausgefallenen Samen und fördert das Auflaufen neuer Besenheide. Die Besenheide erwies sich in vorliegenden Untersuchungen als sehr vital. Auch beim Koppeln mit hohen Besatzdichten war bereits nach 3 Jahren der Anteil frischer Triebe an der Gesamttrockenmasse der Besenheide im beweideten Bereich mit 55 % deutlich höher gegenüber dem nicht beweideten Bereich der Dauerbeobachtungsflächen mit lediglich 42 % (Abb. 4).

Nach Grant et.al. (1982) sollten zumindest bei Altheide nicht mehr als 80 % der vorhandenen jungen Triebe abgefressen werden. Ansonsten leidet die Regenerationsfähigkeit in diesem Altersstadium. Dieser Schwellenwert wurde in vorliegenden Untersuchungen nicht unterschritten. Das zeigten sowohl die Daten bei den Transekten als auch an den Weidekäfigen. Die Transektbeprobungen zeigten erwartungsgemäß, dass die Beweidung den fressbaren Anteil am Heidekraut reduzierte, jedoch verblieben bei dem hier praktizierten Weideregime

mehr als 20% der fressbaren Anteile an der Pflanze.

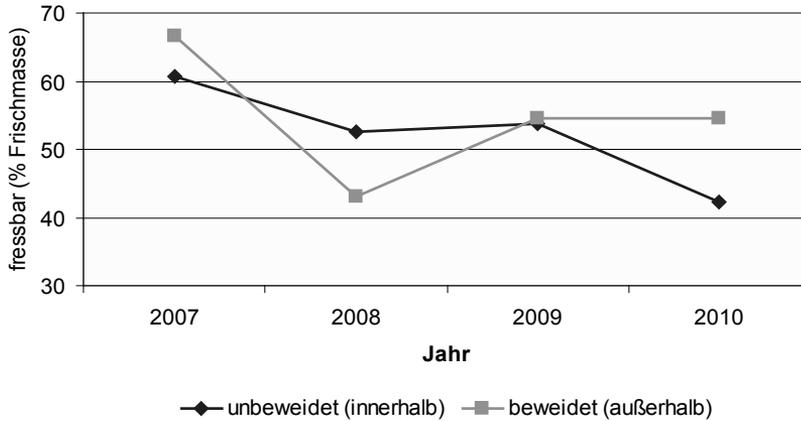


Abb. 4: Entwicklung der fressbaren Anteile innerhalb und außerhalb der Dauerbeobachtungsflächen in Arealen der Besenheide (Mittelwerte von jeweils 4 Dauerbeobachtungsflächen)



Abb. 5: Besenheide (*Calluna vulgaris*) im Naturschutzgebiet Prösa nach mehrjähriger Schafbeweidung in gut gepflegtem Zustand

3.3 Verbiss an Gehölzen

Auf den untersuchten Heidestandorten wurde insbesondere der Verbiss an der Birke und der Espe (*Populus tremula*) dokumentiert. Allerdings ist der Beweidungserfolg bei der Birke (*Betula pendula*) geringer. Eine einmalige scharfe Beweidung von Birkenstockausschlägen konnte die Birken nicht nachhaltig beeinträchtigen. Erfolgreicher war die Beweidung in Bezug auf die Espe – Abb. 6).



Abb. 6: Stockausschlag von Espen (*Populus tremula*) vor der Beweidung durch die Schafe am 15.09.2009 (links) und nach der Beweidung am 23.09.2009 (rechts)

3.4 N- Bilanzen und Pflegeerfolg

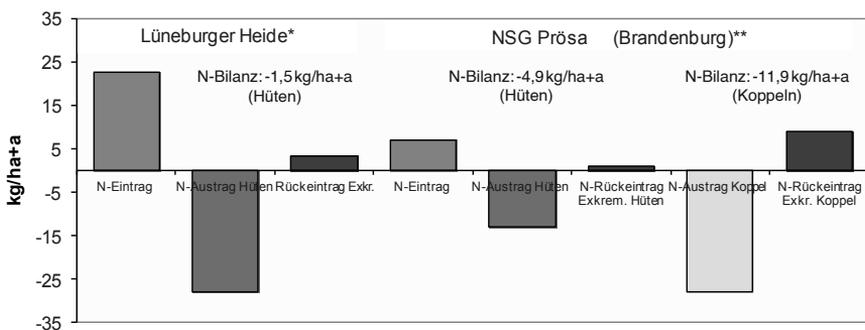


Abb. 7: Stickstoffeintrag, Stickstoffaustrag über Verzehr, Rückeinträge über Exkremente sowie Stickstoffbilanz in der Lüneburger Heide und im NSG Prösa in Brandenburg (*Werte von Härdtle et. al., 2009; **Werte von Lüttschwager und Ewald, 2012)

Vergleichende Biotopkartierungen im Naturschutzgebiet Prösa vor und nach 10 – jähriger Schafbeweidung zeigten, dass im Gegensatz zu den nordwestdeutschen Heiden allein durch eine kontinuierliche Schafbeweidung Besenheide und Silbergrasfluren ausgeweitet und Gräser zurückgedrängt werden konnten. Der Nährstoffeintrag über die Luft lag deutlich unter dem in den nordwestdeutschen Heiden (Abb. 7). Bei ähnlich hohen N-Austrägen über die Schafbeweidung wie in Nordwestdeutschland aber deutlich geringeren N-Einträgen wird in nordostdeutschen Heiden eher eine Aushagerung erzielt. Sofern der anzustrebende Sollzustand bereits erreicht ist, erfüllt bereits eine ausgeglichene Bilanz zwischen N-Zufuhr und N-Austrag das Pflegeziel. Ein zusätzlicher Nährstoffaustrag über eine Nachtpferchhaltung außerhalb der Heideflächen ist dann nicht notwendig.

4. Fazit

Die Schafbeweidung stellt ein Pflegeverfahren dar, das den unterschiedlichen Anforderungen der Heidepflege auf vielfältige Weise gerecht wird. So kann über die Wahl des Beweidungsverfahrens (Hüten oder Koppeln), die Einstellung der Besatzdichte, durch die Wahl des Beweidungszeitpunktes oder die Einstellung der Beweidungsdauer die Intensität von Verbiss und Tritt an beliebiger Stelle im Pflegeareal gesteuert werden. Aufgrund geringerer N-Einträge in Nordostdeutschland ist hier der Aushagerungseffekt der Schafbeweidung höher im Vergleich zu nordwestdeutschen Heiden.

5. Literaturangaben

- Grant, S. Milne, J., Barthram, G., Souter, W., 1982: Effect of season and level of grazing on the utilization heather by sheep: 3. Longer term responses and sward recovery. *Grass and Forage Science* 37, 311-320.
- Härdtle, W., v. Oheim, G., Fottner, S., Niemeyer, T.M., 2009: Zur Wirkung verschiedener Pflegeverfahren auf den Stickstoff- und Phosphorhaushalt von Heideökosystemen. In: Sächsische Landesstiftung Natur und Umwelt (Hrsg.) *Natura 2000-Heiden in Sachsen*.
- Lüttschwager, D., Ewald, C., 2012: Dynamik von Nährelementen in einer ostdeutschen Heidelandschaft. *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie*, Band 46(1), 20-27.

Ein- oder zweiphasige Trockensteherfütterung

B. Streuff¹, M. Pries², A. Menke², C. Hoffmanns³,
C. Verhülsdonk³, K. Hünting³, M. Hoedemaker¹

¹Tierärztliche Hochschule Hannover, ²Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster, ³Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick, Kleve

1. Einleitung

Die GfE (2001) empfiehlt für die bedarfsgerechte Versorgung von trockenstehenden Milchkühen eine zwei geteilte Fütterung. Diese Empfehlung wird von der DLG (2001, 2012) aufgegriffen, und entsprechende Anforderungen an den Nährstoffgehalt von Rationen für Früh trockensteher und Kühe in der Vorbereitungs fütterung werden formuliert. Für Früh trockensteher gilt eine Energiedichte von 5,2-5,5 MJ NEL/kg TM als bedarfsgerecht. Für die Vorbereitungs fütterung ist eine Energiekonzentration von 6,5-6,7 MJ NEL/kg TM festgelegt. Aus Gründen der Betriebsorganisation sowie ungünstiger Stallkonzepte verzichten einige Landwirte auf die differenzierte Versorgung der Trockensteher. Stattdessen setzen sie eine mit Stroh verdünnte Ration der laktierenden Kühe über die gesamte Trockensteherzeit ein. Der mittlere Energiegehalt einer solchen Ration bewegt sich in Abhängigkeit der Energiedichte der Ausgangsration und des tatsächlichen Strohanteils zwischen 5,8 und 6,2 MJ NEL/kg TM. Dadurch ändern sich weder die Futterkomponenten in der Trockensteherzeit noch ist der Wechsel in eine andere Gruppe erforderlich. Es stellt sich die Frage, ob eine solche Vorgehensweise zu vergleichbaren Leistungen wie die zwei geteilte Fütterung der Trockensteher führt.

2. Material und Methode

Im Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick wurde von April bis Oktober 2012 ein Fütterungsversuch mit 2 x 50 trockenstehenden Kühen der Rasse Deutsche Holstein durchgeführt. Der Prüfzeitraum dauerte vom Beginn der Trockensteherzeit bis zum 49. Laktationstag. In der Gruppe „einphasig“ erhielten die Kühe eine mit Stroh verdünnte Ration der laktierenden Kühe über die gesamte Trockensteherzeit (s. Tab. 1). In der Gruppe „zweiphasig“ wurde bis 14 Tage vor dem Kalbetermin eine Mischration aus Grassilage, Mais-

silage, Stroh und Mineralfutter verabreicht. In der Vorbereitungsphase wurde eine mit Konzentratfutter angereicherte Ration verfüttert.

Tab. 1: Zusammensetzung, Nährstoff- und Energiegehalt der verschiedenen Rationen

		einphasig	zweiphasig		Laktation
			Früh- trocken	Vorbe- reitung	
Grassilage	% der TM	29,4	68,3	27,8	18,7
Maissilage	„	34,9	12,0	34,5	42,6
Stroh	„	21,2	18,7	6,3	-
Luzerneheu	„	-	-	-	3,2
RES	„	13,8	-	18,8	16,7
MLF	„	-	-	11,9	16,2
Mineral+ sonstiges	„	0,8	1,1	0,8	2,7
Nährstoffgehalte					
TM	g/kg	466	458	511	477
nXP	g/kg TM	133	118	152	155
RNB	g/kg TM	-0,5	-1,7	0,5	0,2
aNDFom	g/kg TM	491	534	414	371
unbeständige XS+XZ	g/kg TM	155	99	190	202
NEL	MJ/kg TM	5,95	5,55	6,60	6,95

Die Einteilung in die Futtergruppe erfolgte mit Beginn der Trockenstehzeit nach den Kriterien Milchleistung in der Vorlaktation sowie Lebendmasse. Färsen wurden 6 Wochen vor dem erwarteten Kalbetermin den Gruppen gleichmäßig in einem Anteil von etwa 25 % zugeteilt.

In der Trockenstehzeit wurden die tierindividuelle Futteraufnahme täglich, Lebendmasse und BCS wöchentlich festgestellt. In der anschließenden Laktation wurden Wasser- und Futteraufnahmen sowie Lebendmassen und Milchmengen täglich ermittelt. Die Milchinhaltsstoffe wurden wöchentlich gemäß den MLP-Routinen gemessen. Blutentnahmen wurden in wöchentlichen Abständen sowohl vor als auch nach der Kalbung durchgeführt.

Alle eingesetzten Futtermittel wurden chemischen Analysen durch die LKS, Lichtenwalde gemäß den Methoden des VDLUFA unterzogen. Die Blutuntersuchungen auf Glucose, Insulin, freie Fettsäuren (FFS), β -Hydroxybuttersäure (β -HBS) sowie Ca, P und Mg wurden in der Tierärztlichen Hochschule Hannover durchgeführt. Bei der statistischen Auswertung kam für die Produktionsmerkmale, die Körperkondition und die Stoffwechselfdaten ein lineares, gemischtes Wiederholbarkeitsmodell zum Einsatz. Die Auswertungen wurden mit SAS-Prozeduren von der TiDa Tier und Daten GmbH, Kiel vorgenommen.

3. Ergebnisse

Im Mittel der Trockenstehzeit haben die einphasig versorgten Tiere eine tägliche TM-Aufnahme von 13,5 kg (s. Tab. 2). Mit 11,1 kg TM fressen die Tiere der zweiphasigen Versorgung signifikant weniger. Die geringere Trockenmasseaufnahme führt zu einer signifikant niedrigeren Nährstoff- und Energieaufnahme. Bezüglich der Lebendmasse bestehen keine Unterschiede. Einphasig versorgte Tiere bringen Kälber mit einer um 3,5 kg höheren Lebendmasse zur Welt (47,6 kg vs. 44,1 kg).

Tab.2: Least Square Means der täglichen Futter-, Energie- und Nährstoffaufnahme sowie der Lebendmasse in der Trockenstehzeit und des Geburtsgewichts der Kälber

Merkmal		einphasig	zweiphasig	F-Test
Futteraufnahme	kg TM	13,5	11,1	0,001
nXP	g	1.800	1.358	0,001
RNB	gN	-5	-16	0,001
XS+XZ	g	2.312	1.344	0,001
aNDFom	g	6.741	5.809	0,001
Ca	g	74	52	0,001
P	g	51	46	0,001
DCAB	meq	1.749	2.021	0,001
Energieaufnahme	MJNEL	80	63	0,001
Lebendmasse	kg	757	760	0,781
Geburtsgewicht	kg	47,6	44,1	0,002

In den ersten 49 Laktationstagen bestehen zwischen einphasig oder zweiphasig versorgten Tieren keine Unterschiede in der Wasser-, Futter-, Nährstoff- und Energieaufnahme (s. Tab. 3). Ebenso bestehen keine Unterschiede bei der Milchmenge und dem Milchfettgehalt. Bezüglich des Milcheiweißgehaltes haben die zweiphasig gefütterten Tiere mit 3,29 % einen signifikant höheren Wert als die Tiere der Gruppe einphasig. Die Lebendmassen der einphasig versorgten Tiere sind geringer als die der zweiphasig gefütterten Kühe.

Tab. 3: Least Square Means der täglichen Futter-, Wasser- und Energieaufnahme sowie der Milchleistung und Lebendmasse in den ersten 49 Laktationstagen

Merkmal		einphasig	zweiphasig	F-Test
Futteraufnahme	kg TM	16,6	17,0	0,347
Wasseraufnahme	kg	76	77	0,872
Energieaufnahme	MJNEL	116	119	0,346
Milchmenge	kg	34,7	33,7	0,340
Fettgehalt	%	4,32	4,34	0,787
Eiweißgehalt	%	3,12	3,29	0,005
ECM	kg	34,7	34,1	0,558
Lebendgewicht	kg	646	665	0,051

Der geburtsnahe Zeitraum ist durch sehr dynamische Prozesse hinsichtlich Futter- und Nährstoffaufnahme sowie Auf- und Abbau von Körpermasse und Entwicklung der Milchabgabe gekennzeichnet, so dass diese Größen im zeitlichen Verlauf dargestellt werden. Wie der Abbildung 1 entnommen werden kann, ist die Entwicklung der Futteraufnahme in der Trockenstehphase zwischen den beiden Futtergruppen sehr verschieden. Bei den einphasig versorgten Tieren ist über die gesamte Trockenstehdauer eine abnehmende TM-Aufnahme zu beobachten, wobei der Rückgang insbesondere in der letzten Woche vor der Kalbung besonders groß ausfällt. Zweiphasig gefütterte Kühe zeigen mit Beginn der Vorbereitungsfütterung einen deutlichen Anstieg der TM-Aufnahme. Auch bei diesen Kühen sinkt in der letzten Woche vor der Kalbung die Futteraufnahme ähnlich stark wie bei der einphasigen Fütterung. Wegen der höheren Nährstoffkonzentration der Vorbereitungsration und der höheren Futteraufnahme in den letzten 14 Tagen vor der Kalbung ergibt sich insgesamt eine bessere Energie- und Nährstoffversorgung der zweiphasig gefütterten Tiere im geburtsnahen

Zeitraum. Der Verlauf der Futteraufnahme nach der Kalbung unterscheidet sich zwischen den Gruppen nicht.

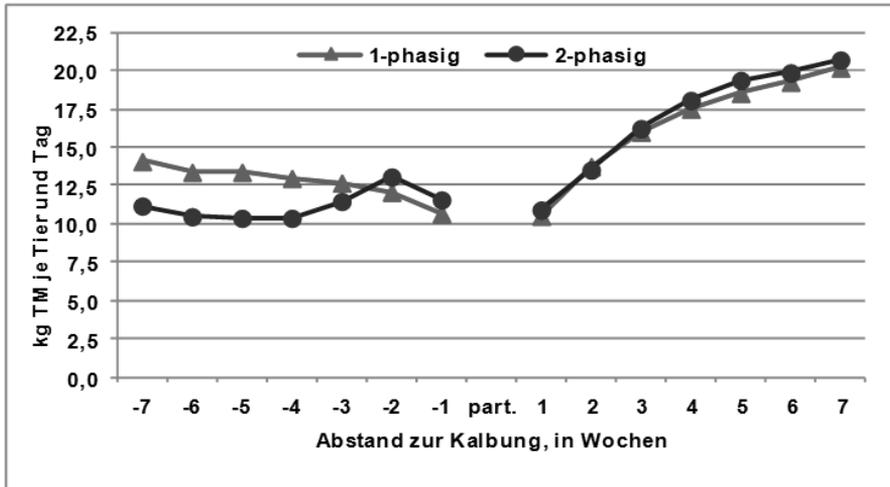


Abb. 1: Entwicklung der täglichen Futteraufnahme

Die unterschiedliche Futteraufnahme vor der Kalbung hat eine differente Entwicklung der Lebendmasse zwischen den beiden Gruppen zur Folge (s. Abb. 2). Einphasig versorgte Tiere nehmen vor der Kalbung 13 kg mehr an Lebendmasse zu als die Tiere der Gruppe zweiphasig.

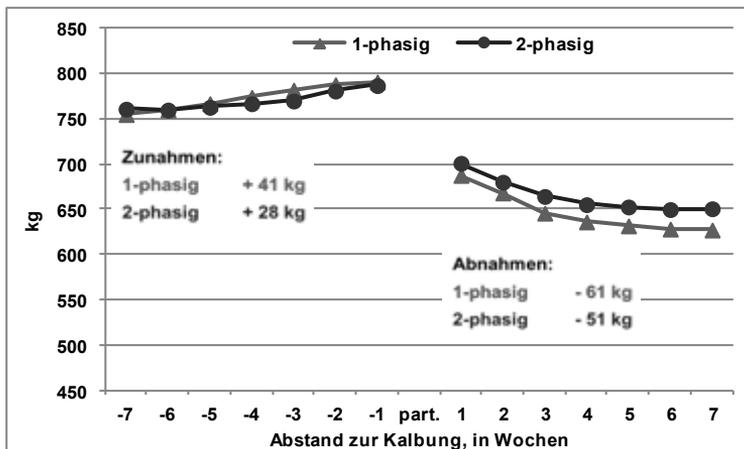


Abb. 2: Entwicklung der Lebendmasse

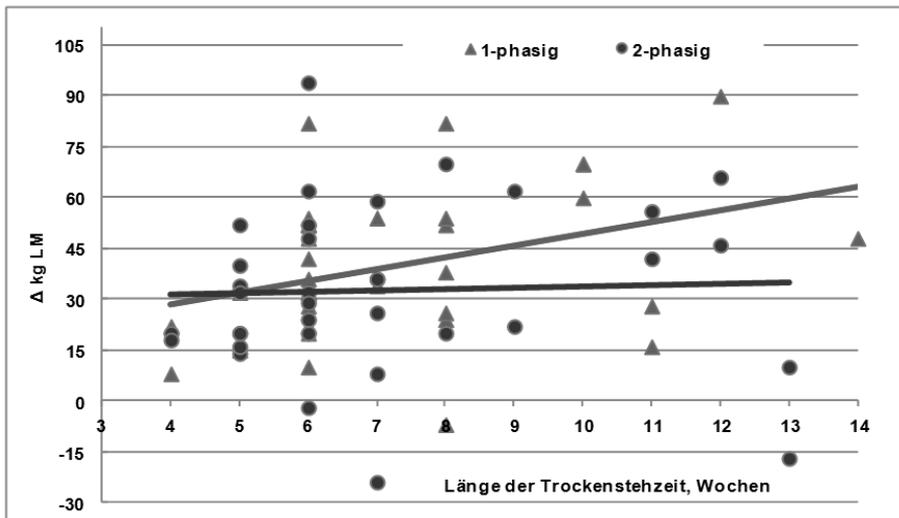


Abb. 3: LM-Änderungen in Abhängigkeit der Trockenstehdauer, nur Mehrkalbskühe, n = 35 pro Gruppe

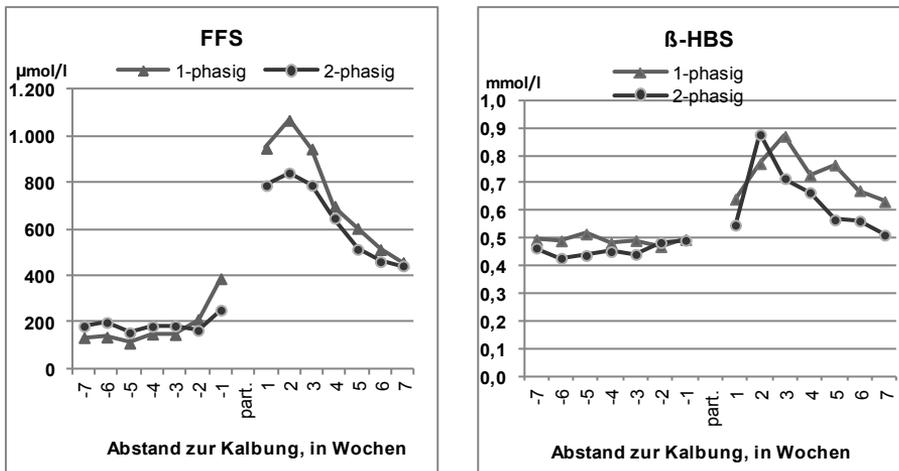


Abb. 4: Entwicklung der FFS und β-HBS

Des Weiteren zeigt die Gruppe einphasig eine um 10 kg höhere Mobilisation von Körpermasse nach der Kalbung. Der Auf- und Abbau von Körperreserven ist demnach im einphasigen Fütterungskonzept stärker ausgeprägt. Bei dieser Fütterung ergibt sich zusätzlich eine Abhängigkeit der Lebendmasseänderung in

der Trockenstehperiode von der Länge der Trockenstehzeit, wie der Abbildung 3 entnommen werden kann. Der große Auf- und Abbau von Körpermasse im einphasigen Fütterungskonzept spiegelt sich auch in signifikant höheren Blutwerten hinsichtlich FFS und β -HBS wieder (s. Abb. 4). Insbesondere im geburtsnahen Zeitraum überschreiten die einphasig versorgten Tiere die Referenzbereiche für FFS und β -HBS deutlich öfter als die Tiere der zweiphasigen Fütterung.

4. Zusammenfassung

Im Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick wurde von April bis Oktober 2012 ein Fütterungsversuch mit 2 x 50 trockenstehenden Kühen der Rasse Deutsche Holstein durchgeführt. Der Prüfzeitraum umfasste die gesamte Trockenstehzeit und die ersten 49 Tage der Laktation. In der Gruppe einphasig erhielten die Kühe eine mit Stroh verdünnte Ration der laktierenden Kühe mit einem Energiegehalt von 5,95 MJ NEL je kg TM über die gesamte Trockenstehzeit. In der Gruppe zweiphasig wurde bis 14 Tage vor dem erwarteten Kalbetermin eine Mischration aus Grassilage, Maissilage, Stroh und Mineralfutter mit 5,55 MJ NEL/kg TM verabreicht. In der anschließenden Vorbereitungsphase wurde eine mit Konzentratfutter angereicherte Mischration mit einem Energiewert von 6,6 MJ NEL/kg TM verfüttert. Nach der Kalbung erhielten die Tiere beider Gruppen die gleiche Mischration, deren Energiegehalt auf 6,95 MJ NEL eingestellt war.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

Die einphasige Trockenstehfütterung führte zu höherer Trockenmasse-, Nährstoff- und Energieaufnahme im Mittel der Trockenstehzeit. Mit Umstellung auf die Vorbereitungsration kam es zu einer deutlichen Erhöhung der Futteraufnahme, so dass in den letzten 14 Tagen vor der Kalbung zweiphasig versorgte Kühe eine höhere Futter- und Nährstoffaufnahme besitzen.

Die Lebendmassezunahme und die Geburtsgewichte der Kälber sind im einphasigen Fütterungskonzept erhöht. Die Lebendmassezunahme ist bei dieser Vorgehensweise zudem von der Länge der Trockenstehphase abhängig.

Bezüglich der Futteraufnahme nach der Kalbung, der Milchmenge und der Milchinhaltsstoffe ergeben sich keine Unterschiede zwischen den Fütterungsstrategien.

In der Trockenstehzeit einphasig gefütterte Tiere zeigen nach der Kalbung eine größere Mobilisation von Körperreserven, was in höheren Werten für freie Fettsäuren und β -Hydroxybuttersäure im Blut zum Ausdruck kommt. Demnach ist die ketogene Belastung dieser Tiere höher.

Wenn eine einphasige Trockensteherfütterung praktiziert wird, sollte die Trockenstehzeit auf maximal sechs Wochen begrenzt sein.

5. Literaturangaben

DLG 2001: Empfehlungen zum Einsatz von Mischrationen bei Milchkühen.
DLG-Information 1/2001, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.

DLG 2012: Fütterungsempfehlungen für Milchkühe im geburtsnahen Zeitraum.
DLG-Verlag, Frankfurt/Main.

GfE 2001: (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder 2001. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.

Einfluss von Klinoptilolith und dem Milchsäurebakterien-Präparat Kombioflor-F auf Futteraufnahme und Milchleistung sowie Nährstoffverdaulichkeit von Milchkühen

L. Gruber¹, A. Patz², A. Schauer¹, J. Häusler¹, W. Somitsch³, M. Frühwirth⁴, B. Steiner¹, M. Urdl¹

¹Institut für Nutztierforschung, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irtding, ²Institut für Nutztierwissenschaften, Universität für Bodenkultur, Wien, ³Firma IPUS Mineral- und Umwelttechnologie GmbH, Rottenmann, ⁴Human Research Institut für Gesundheitstechnologie und Präventionsforschung GmbH, Weiz

1. Einleitung

Ziel dieser Untersuchung war die Prüfung der Wirkung von natürlichem Zeolith (Klinoptilolith) und eines Kräuterextrakts mit den Milchsäurebakterienstämmen *L. rhamnosus* und *L. paracasei* auf Futteraufnahme, Verdaulichkeit, Milchleistung und Milchqualität sowie Zellzahlgehalt. Klinoptilolith ist ein natürliches aluminosilikatisches Mineral, dessen Kristallstruktur ein Netz an Kanälen definierter Größe aufweist, in denen bestimmte Ionen und kleine Moleküle temporär eingelagert werden können. Im natürlichen Mineral sind neben Wasser auch Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium und weitere Spurenstoffe eingelagert, die im Austausch gegen andere Stoffe wie insbesondere Ammonium abgegeben werden. Dadurch wirkt das Mineral als chemischer Puffer, der in Abhängigkeit von seiner Umgebung das Pansenmilieu entscheidend verändern kann. Die Sorptionsfähigkeit des Klinoptiloliths lässt sich durch bestimmte Vermahlungstechnologien noch deutlich verbessern, sodass man beim gezielten Einsatz in biologisch reaktiven Systemen von mineralischen Bioregulatoren (sog. Migulatoren) spricht. Klinoptilolith sedimentären Ursprungs darf als Bindemittel, Fließhilfsstoff und Gerinnungshilfsstoff verwendet werden. Vorläufig wurde Klinoptilolith als Zusatzstoff für Mastschweine, Masthühner und Masttrüthühner sowie für Rinder und Lachs zugelassen. Diskutiert wird auch eine senkende Wirkung auf die Zellzahl der Milch sowie eine steigernde Wirkung auf Milchleistung, Milchinhaltstoffe und Futteraufnahme.

Aus rechtlicher Sicht sind Probiotika und Präbiotika mikroorganismenhaltige Futterzusatzstoffe, deren Einsatz in der EU-Verordnung VO (EG) 1831/2003

geregelt ist. Nach Fuller (1989) sind Probiotika Futtermittelzusatzstoffe, die lebende Mikroorganismen beinhalten, welche einen positiven Effekt auf die Balance des Verdauungstraktes haben. Häufig genutzte Spezies sind *Lactobacillus* (*L.*) *bulgaricus*, *L. acidophilus*, *L. casei*, *L. helveticus*, *L. lactis*, *L. salivarius*, *L. plantarum*, *Streptococcus thermophilus*, *Enterococcus faecium*, *E. faecalis*, *Bifidobacterium* spp. und *E. coli* (Fuller, 1989). Nach einer Definition der FAO/WHO (2002) sind Probiotika „Lebende Mikroorganismen, welche, wenn sie in ausreichender Menge verabreicht werden, dem Wirt einen gesundheitlichen Nutzen bringen“. Die Bedenken bezüglich der Verwendung von Antibiotika und anderen Wachstumsförderern in der Futtermittelindustrie haben zugenommen, wie Krehbiel et al. (2003) in einer Übersichtsarbeit feststellten. Damit hat sich auch das Interesse an den Auswirkungen von Mikroorganismen auf die Tiergesundheit und Leistung erhöht. Bei Wiederkäuern werden mikrobielle Kulturen verwendet, um den Einsatz von Antibiotika zu ersetzen oder zu verringern. Angewendet werden diese direct-fed microbials (DFM) beispielsweise bei neugeborenen Kälbern, um die Milchproduktion bei Milchkühen zu steigern sowie die Futtermittelverwertung und die tägliche Gewichtszunahme bei Mastrindern zu verbessern (Krehbiel et al., 2003). Kombioflor-F ist ein Futterzusatzstoff zur Aufwertung des Grund- und Kraftfutters. Es handelt sich um einen fermentierten Kräuterextrakt mit natürlich enthaltenen Gärssäuren, der eine Steigerung der Fresslust und Bekömmlichkeit des Futters zur Folge haben soll. Das Produkt besteht aus Zuckerrohrmelasse, Meersalz und Milchsäurekulturen (*L. rhamnosus* und *L. paracasei*).

2. Material und Methoden

Die Kühe für den Fütterungsversuch wurden aus der Herde des LFZ Raumberg-Gumpenstein bestehend aus den Rassen Holstein und Fleckvieh sowie Kreuzungen von Holstein, Fleckvieh und Brown Swiss ausgewählt. Die Tiere wurden in die drei Gruppen „Kontrolle“, „Klinoptilolith“ und „Kombioflor-F“ (n = 11 je Gruppe, n = 33) eingeteilt. Die Ration war bezogen auf die Trockenmasse wie folgt gestaltet: 40 % Grassilage, 35 % Maissilage, 25 % Heu, Kraftfutter konstant (25 % der Futteraufnahme). Das Kraftfutter war aus folgenden Komponenten zusammengesetzt: 24 % Gerste, 25 % Mais, 8 % Weizen, 8 % Trockenschnitzel, 5 % Kleie, 15 % Sojaextraktionsschrot 50, 15 % Rapsextraktionsschrot. Die Deckung des Bedarfs an Natrium, Mineralstoffen und Vitaminen erfolgte mittels Viehsalz und einer Mineral-Wirkstoff-Mischung. Im Auslauf wurde ein Leckstein

angeboten. Die Futterzusatzstoffe wurden auf die Maissilage aufgebracht, um eine vollständige Aufnahme sicher zu stellen (150 g Klinoptilolith, 10 ml Kombioflor-F). Die Lebendmasse der Tiere wurde mit einer automatischen Wiegeeinrichtung im Kraftfutterstand mehrmals täglich festgestellt. Am Ende des Fütterungsversuches wurden von den 33 Kühen 6 Tiere für einen Verdauungs- und Bilanzversuch ausgewählt (n = 2 pro Gruppe, 5 Tage). Diese Tiere waren in einem Anbindestall untergebracht, der Vorrichtungen für die quantitative Sammlung von Kot und Harn aufwies. Die Ausscheidung an Kot und Harn wurde den ganzen Tag über festgestellt (24 Stunden). Von den Exkrementen wurden aliquote Proben gezogen und diese gekühlt. Der Harn wurde zur Vermeidung von N-Verlusten angesäuert.

Die Daten wurden mit dem Programm SAS (2010; Version 9.22, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) nach der Procedure *Mixed* statistisch ausgewertet (Varianzkomponentenschätzung Methode REML, Freiheitsgradapproximation *Kenward-Roger*). Das statistische Modell für die Ergebnisse des Fütterungsversuches berücksichtigte die fixen Effekte Gruppe (G), Rasse (R), Laktationszahl (L) und Versuchswoche (W), die Interaktionen Gruppe × Rasse und Gruppe × Laktationszahl sowie die Kovariablen Milchleistung und Futteraufnahme aus der Vorperiode. Die zu Wochenabschnitten (n = 12) zusammengefassten Werte wurden im *Repeated* Statement als wiederholte Messungen am Einzeltier berücksichtigt:

$$Y_{ijklmn} = \mu + G_i + R_j + L_k + W_l + (G \times R)_{ij} + (G \times L)_{ik} + b_1 \text{ECM}_{\text{vor}} + b_2 \text{GESTM}_{\text{vor}} + \epsilon_{ijklmn}$$

3. Ergebnisse und Diskussion

In der Futter- und Nährstoffaufnahme bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (Tab. 1). In allen drei Gruppen lag die Aufnahme an Heu bei 3,2 kg, an Grassilage bei 5,8 kg und an Maissilage bei 5,0 kg TM je Tag sowie an Grundfutter bei 13,9, 13,8 bzw. 13,8 kg TM bzw. an Gesamtfutter an 19,0, 18,2 bzw. 18,5 kg TM in den Gruppen KON, ZEO bzw. MSB. Bezogen auf Lebendmasse nahmen die Kühe 30,1, 26,4 bzw. 28,3 g TM je kg LM auf. Es zeigt sich ein leichter Trend zu geringerer Futteraufnahme in Gruppe ZEO, der vor allem von der niedrigeren Aufnahme an Kraftfutter herührt. Gründe dafür sind nicht bekannt.

Auch in den Untersuchungen von McCollum und Galyean (1983), Cole et al. (2007) sowie Dschaak et al. (2010) wurde kein signifikanter Einfluss von Klinoptilolith auf die Futter- und Nährstoffaufnahme festgestellt. Bezüglich DFM haben Raeth-Knight et al. (2007), Chiquette et al. (2008) sowie West und Bernard (2011) ebenfalls keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zu einer negativen Kontrolle gefunden. Herring et al. (2000) stellten – basierend auf ihren Versuchsergebnissen – die Hypothese auf, dass die Wirkung des DFM-Präparates von der Qualität des Grundfutters abhängt.

Mit Ausnahme des Rohasche-Gehaltes unterschieden sich die drei Gruppen in keinem Parameter bezüglich des Gehaltes an Inhaltsstoffen (Tab. 1). Der Gehalt an Rohprotein betrug 131, 129 bzw. 128 g XP je kg TM in den Gruppen KON, ZEO bzw. MSB. Ebenso war der Gehalt an Gerüstsubstanzen (390, 391 bzw. 392 g NDF) sowie an Energie (6,47, 6,39 bzw. 6,44 MJ NEL) nahezu identisch. Der Gehalt an RNB lag für alle Gruppen nahe Null. Das bedeutet, dass die Pansenmikroben ausreichend und bedarfsgerecht mit pansenabbaubarem Stickstoff (RDP) versorgt waren (GfE, 2001).

In der Lebendmasse und Körperkondition sowie in der täglichen Veränderung dieser Parameter während des Versuches bestanden zwischen den Versuchsgruppen keine signifikanten Unterschiede. Die Lebendmasse betrug in den Gruppen KON, ZEO bzw. MSB 626, 693 bzw. 659 kg und die Körperkondition 2,98, 3,04 bzw. 3,11 BCS-Punkte (Tab. 1). Weder in der Milchleistung noch im Gehalt bzw. in der Leistung an Milchinhaltsstoffen unterschieden sich die Gruppen signifikant. Die Milchleistung belief sich in den Gruppen KON, ZEO bzw. MSB auf 22,6, 22,6 bzw. 23,4 kg sowie 24,7, 25,0 bzw. 26,0 kg ECM. Somit ist ein leichter Trend zu einer höheren Milchleistung in Gruppe MSB erkennbar ($P = 0,388$). Der Gehalt an somatischen Zellen (Zellzahl) war in der Kontrollgruppe signifikant niedriger als in den beiden Versuchsgruppen (77,9, 159,3 bzw. 132,6 Tsd. Zellen je ml). Somit ist die Zellzahl mehr oder weniger der einzige Parameter des Versuches, bei dem signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen auftraten (Tab. 1).

Der Effekt der Supplementierung von Klinoptilolith bei Milchkühen ist vor allem auf Gebärpärese, Mykotoxikosen, Durchfall, Ketose und diverse Blutparameter untersucht worden (Katsoulos et al., 2005; Papaioannou et al., 2005). Hinsichtlich Milchleistung sowie Gehalt an Milchinhaltsstoffen fanden auch Bosi et al. (2002) sowie Dschaak et al. (2010) keinen signifikanten Einfluss von

Tab. 1: Ergebnisse des Fütterungs- und Bilanzversuches mit Kühen

Parameter	Einheit	KON	ZEO	MSB	RSD	P-Wert
Futter- und Nährstoffaufnahme (n = 11 pro Gruppe)						
Grundfutter	kg TM/d	13,91	13,75	13,83	1,38	0,953
Kraftfutter	kg TM/d	4,90	4,16	4,51	0,99	0,205
Gesamtfutter	kg TM/d	18,95	18,16	18,50	1,72	0,486
nXP	g/d	2756	2586	2654	267	0,262
NEL	MJ/d	123,2	116,0	119,4	11,9	0,298
Rationszusammensetzung und Konzentration an Inhaltsstoffen						
XP	g/kg TM	131	129	128	18	0,876
XL	g/kg TM	29	29	29	2	0,945
XF	g/kg TM	209	211	211	10	0,892
XX	g/kg TM	537	531	536	10	0,194
XA	g/kg TM	80	87	81	7	0,010
NDF	g/kg TM	390	391	392	14	0,900
ADF	g/kg TM	234	236	235	10	0,920
ADL	g/kg TM	26	26	26	1	0,996
NFC	g/kg TM	356	351	355	13	0,486
RNB	g/kg TM	-0,12	-0,17	-0,32	0,73	0,649
NEL	MJ/kg TM	6,47	6,39	6,44	0,14	0,421
Lebendmasse, BCS und Milchleistung (n = 11 pro Gruppe)						
Lebendmasse	kg	626	693	659	66	0,304
LM-Zunahme	g/d	515	747	803	301	0,251
BCS	BCS-Pkte.	2,98	3,04	3,11	0,17	0,904
BCS-Zunahme	BCS-Pkte.	0,0019	0,0012	0,0020	0,0005	0,904
Milchleistung	kg/d	22,62	22,64	23,44	4,54	0,906
ECM-Leistung	kg/d	24,71	25,00	25,96	2,90	0,388
Fettgehalt	%	4,77	4,72	4,85	0,66	0,861
Proteingehalt	%	3,50	3,58	3,70	0,44	0,577
Laktosegehalt	%	4,71	4,64	4,70	0,11	0,177
Harnstoff	mg/100 ml	26,9	25,0	25,9	4,6	0,363
Zellzahl	Tsd/ml	77,9	159,3	132,6	62,4	0,001
Verdauungs- und Bilanzversuch mit Kühen (n = 2 pro Gruppe)						
Gesamtfutter	kg TM	22,13	23,69	21,16	1,25	0,031
Kotmenge	kg TM	6,06	6,28	6,03	0,88	0,704
Harnmenge	kg FM	21,8	25,0	19,5	4,1	0,321
VK der OM	%	74,9	76,0	74,1	4,4	0,763
VK der XF	%	68,2	69,3	67,7	6,2	0,912
VK der NDF	%	64,3	65,8	64,7	6,4	0,914
VK der ADF	%	63,5	65,6	62,3	6,5	0,704
VK der XX	%	81,3	81,3	79,6	3,4	0,644
VK der NFC	%	92,0	91,2	89,0	1,9	0,185
N-Bilanz	g/d	11,8	30,6	41,0	25,0	0,179

KON = Kontrollgruppe, ZEO = Klinoptilolith, MSB = Milchsäurebakterien-Präparat Kombioflor-F

Klinoptilolith. Dokovic et al. (2011) stellten eine Steigerung des Milchfettgehaltes bei hoher Supplementierung von Zeolith fest, allerdings wurde die Milchleistung nicht erhoben (4,28, 4,26, 4,62 % Fett bei 0, 2 und 4 % Zeolith). Hinsichtlich DFM-Präparaten stellten Herring et al. (2000) sowie Raeth-Knight et al. (2007) keine signifikanten Unterschiede in der Milchleistung fest, während West und Bernhard (2011) eine Steigerung der Milchleistung von etwa 2 kg beim Einsatz von *Lactobacillus acidophilus* erzielten. Von den drei genannten Untersuchungen fanden nur Herring et al. (2000) signifikante Unterschiede in den Milchinhaltsstoffen, und zwar bei Milchfett. Bei Bosi et al. (2002) wurde kein signifikanter Unterschied bei der Zahl somatischer Zellen in der Milch zwischen den Versuchsgruppen festgestellt. Dschaak et al. (2010) stellten geringe Unterschiede, aber keine Signifikanzen, in Bezug auf den Gehalt an Milchharnstoff fest. Bei Bosi et al. (2002) war der Harnstoff-Gehalt bei Zeolith-Gabe signifikant höher, was von der auf Luzernesilage basierenden Ration hergeleitet wurde. Allerdings zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Ammoniakgehalt in der Pansenflüssigkeit, was den erhöhten Milchharnstoff-Gehalten in der Versuchsgruppe widerspricht.

Bei der Interpretation der Ergebnisse des Verdauungsversuchs ist zu beachten, das pro Gruppe nur zwei Tiere geprüft wurden ($n = 6$). Wie auch beim Fütterungsversuch traten in keinem der Parameter des Verdauungs- und Bilanz-Versuches signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen auf. Die Verdaulichkeit der OM betrug 74,9, 76,0 und 74,1 % in den Gruppen KON, ZEO und MSB ($P = 0,763$). In Gruppe ZEO war ein leichter Trend zu etwas höherer Verdaulichkeit der Faser (XF, NDF, ADF) zu erkennen (64,3, 65,8 und 64,7 % dNDF), wogegen die Nichtfaser-Kohlenhydrate (NFC) etwas schlechter verdaut wurden (92,0, 91,2 und 89,0 % dNFC). Die Verdauungskoeffizienten der Gruppe MSB waren im Trend etwas niedriger. Raeth-Knight et al. (2007) sowie Dschaak et al. (2010) stellten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in der Verdaulichkeit zwischen Kontrollgruppe und Klinoptilolith fest (Tab. 1).

Die Stickstoff-Bilanz war in allen Gruppen leicht positiv, in ZEO und MSB in einem höheren Ausmaß (11,8, 30,6 und 41,0 g/d). Bei Phosphor und Kalium war die Bilanz deutlich positiv (ohne signifikantem Unterschied zwischen den Gruppen). Dagegen lagen die Bilanz an Calcium, Magnesium und Natrium bei Null. Daraus ist der Schluss zu ziehen, dass sich die Futterzusatzstoffe ZEO und MSM auf die Verdaulichkeit und Nährstoffbilanz nicht signifikant auswirkten.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass durch den Einsatz des Futtermittelzusatzstoffes Klinoptilolith (ZEO) und des Milchsäurebakterienpräparates Kombioflor-F (MSB) unter den gegebenen Versuchsbedingungen kein signifikanter Einfluss auf die Parameter Milchleistung ($P = 0,906$) sowie die Menge an Milchfett ($P = 0,203$) und Milchprotein ($P = 0,200$) festgestellt wurde. Auch bezüglich des Gehaltes an Milchinhaltsstoffen sowie beim Harnstoffgehalt ($P = 0,363$) traten keine signifikanten Unterschiede auf. Die Zellzahl war bei Einsatz von Klinoptilolith und Kombioflor-F signifikant erhöht ($P = 0,001$). Auch in Bezug auf die Aufnahme an Grundfutter ($P = 0,953$), Kraftfutter ($P = 0,205$) sowie Gesamtfutter ($P = 0,486$) zeigte sich kein signifikanter Einfluss der Futtermittelzusatzstoffe. Schlussfolgernd ist festzustellen, dass der Einsatz der Futtermittelzusatzstoffe Klinoptilolith und Kombioflor-F keine steigernde Wirkung auf die Milchleistung, die Milchinhaltsstoffe sowie die Futteraufnahme hat. Die Zellzahl wurde ebenfalls nicht positiv beeinflusst. Auch hinsichtlich der Verdauungsvorgänge und Nährstoffbilanz wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt. Bezüglich Klinoptilolith entsprechen diese Ergebnisse weitgehend den Angaben in der Literatur, wenngleich wissenschaftliche Publikationen zu diesem Thema nicht sehr zahlreich sind. Hinsichtlich DFM sei auf die Meta-Analyse von Desnoyers et al. (2009) zum Einfluss von *Saccharomyces cerevisiae* auf Pansenparameter und Milchproduktion verwiesen. Aus dieser zusammenfassenden Analyse von 110 Publikationen (157 Versuche, 376 Behandlungen) können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden. Es gibt nur marginale Einflüsse auf den Pansenstoffwechsel (Erhöhung des pH-Wertes um 0,03 und der Konzentration der flüchtigen Fettsäuren um 2,17 mmol, Verringerung der Milchsäure um 0,9 mmol), eine geringe Verbesserung der Verdaulichkeit der OM um 0,8 %, eine geringe Steigerung der Futteraufnahme um 0,3 kg TM (bei 700 kg LM) sowie der Milchleistung um 0,8 kg (bei 700 kg LM). Eine detailliertere Beschreibung dieses Versuches mit umfangreicher Literatur findet sich bei Gruber et al. (2013).

4. Literaturangaben

Bosi, P., Creston, D., Casini, L., 2002: Production performance of dairy cows after the dietary addition of clinoptilolite. Italian J. Anim. Sci. 1, 187-195.

- Chiquette, J., Allison, M.J., Rasmussen, M.A., 2008: *Prevotella bryantii* 25A used as a probiotic in early-lactation dairy cows: effect on ruminal fermentation characteristics, milk production, and milk composition. *J. Dairy Sci.* 91, 3536-3543.
- Cole, N.A., Todd, R.W., Parker, D.B., 2007: Use of fat and zeolite to reduce ammonia emissions from beef cattle feedyards. *Int. Symp. Air Quality Waste Management for Agriculture*. Broomfield (Colorado, USA), CD-Rom, 6S.
- Desnoyers, M., Giger-Reverdin, S., Bertin, G., Duvaux-Ponter, C., Sauvant, D., 2008: Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *J. Dairy Sci.* 92, 1620-1632.
- Dokovic, R., Ilic, Z., Petrovic, M.P., Pesev, S., Ristanovic, B., 2011: Effect of zeolite on the chemical composition of milk from Serbian spotted dairy cattle. *Biotechnology in Animal Husbandry* 27, 993-1000.
- Dschaak, C.M., Eun, J.-S., Young, A.J., Stott, R.D., Peterson, S., 2010: Effects of supplementation of natural zeolite on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactational performance of dairy cows. *Prof. Anim. Sci.* 26, 647-654.
- Fuller, R., 1989: Probiotics in man and animals. *J. Appl. Bacteriol.* 66, 365-378.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Frankfurt am Main, DLG-Verlag, 135 S.
- Gruber, L., Patz, A., Schauer, A., Häusler, J., Somitsch, W., Frühwirth, M., Steiner, B., Urdl, M., 2013: Einfluss von Zeolith und einem Milchsäurebakterien-Präparat auf Futteraufnahme und Milchleistung sowie Nährstoffverdaulichkeit von Milchkühen. 40. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 18.-19. April 2013, 41-56.
- Herring, A.D., Larremore, M.B., Hughens, L.J., Richardson, C.R., 2000: Effects of a commercial direct-fed microbial on weight change, milk yield, and milk composition in lactating beef cows: A case study. *Prof. Anim. Sci.* 16, 54-58.
- Katsoulos, P.D., Roubies, N., Panousis, N., Arsenos, G., Christaki, E., Karatzias, H., 2005: Effects of long-term dietary supplementation with clinoptilolite on incidence of parturient paresis and serum concentrations of total calcium, phosphate, magnesium, potassium and sodium in dairy cows. *American J. Vet. Research* 66, 2081-2085.

- Krehbiel, C.R., Rust, S.R., Zhang, G., Giliand, S.E., 2003: Bacterial direct-fed microbials in ruminant diets: Performance response and mode of action. *J. Anim. Sci.* 81, 120-132.
- McCollum, F.T., Galyean, M.L., 1983: Effects of clinoptilolite on rumen fermentation, digestion and feedlot performance in beef steers fed high concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 56, 517-524.
- Papaioannou, D., Katsoulos, P.D., Panousis, N., Karatzias, H., 2005: The role of natural and synthetic zeolites as feed additives on the prevention and/or the treatment of certain farm animal diseases: A review. *Microporous and Mesoporous Materials* 84, 161-170.
- Raeth-Knight, M.L., Linn, J.G., Jung, H.G., 2007: Effect of direct-fed microbials on performance, diet digestibility and rumen characteristics of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 1802-1809.
- SAS Institute Inc., 2010: SAS/STAT 9.22 User's Guide. Cary, NC (USA): SAS Institute Inc., 8460 S.
- West, J.W., Bernard, J.K., 2011: Effects of addition of bacterial inoculants to the diets of lactating dairy cows on feed intake, milk yield, and milk composition. *Prof. Anim. Sci.* 27, 122-126.

Eiweißergänzung zu Grassilage mit Sojaextraktionsschrot oder Rapsextraktionsschrot

¹T. Jilg, ²E. Stamer

¹Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW), Aulendorf, ²TiDa Tier und Daten GmbH, Kiel

1. Einleitung

Die Beratung in Grünlandstandorten empfiehlt häufig Sojaextraktionsschrot (SES) zur Verbesserung der Versorgung mit nutzbarem Rohprotein (nXP). Bis heute gibt es in der Praxis Vorbehalte gegen Rapsprodukte, während SES eine hohe Wertschätzung genießt.

In der Praxis werden noch immer höhere UDP-Gehalte für SES unterstellt. Molkerieen fordern GVO-freie Fütterung im Zusammenhang mit der Vermarktung spezieller Produktlinien. Der Versuch sollte demzufolge eine Fragestellung aus der Praxis beantworten und dazu beitragen, Vorbehalte gegen Alternativen zu Sojaextraktionsschrot abzubauen. Während der Einsatz von Rapsprodukten zur Proteinergänzung von Grassilage-/Maissilage-Rationen gut dokumentiert ist, gibt es in Deutschland keine aktuelle Studie, in der Rapsextraktionsschrot (RES) als Hauptproteinträger eingesetzt wurde.

2. Material und Methoden

Für den Versuch wurden Versuchsrationen mit mindestens 155 g/kg TM nXP und 6,7 MJ/kg TM NEL konzipiert. Der Versuch wurde im Cross-Over-Design mit 33 Fleckviehkühen durchgeführt. Zirka 20 % der Kühe waren in der ersten Laktation. Die älteste Kuh war in der neunten Laktation (Tab. 1).

In einer insgesamt 12-tägigen Gewöhnungsphase wurde ab dem sechsten Tag an die Tiergruppe 11 die Ration V und an die Tiergruppe 12 die Ration K gefüttert.

Die Futterrationen wurden als TMR (Totalmischration) vorgelegt. Die Versuchsphase 1 dauerte 6 Wochen. Anschließend erfolgte der Futterwechsel. Der Tier-

gruppe 11 wurde nun die Ration K und der Tiergruppe 12 die Ration V gefüttert. Die Umstellungsphase dauerte 7 Tage. Die darauf folgende Versuchsphase 2 dauerte ebenfalls 6 Wochen (Tab. 2).

Tab. 1: Informationen zu den Versuchskühen

Tiergruppe	Laktationsnummer				Anzahl Kühe
	1	2	3	4 bis 9	
11	2	3	3	9	17
12	5	2	3	6	16
Summe	7	5	6	15	33

Tab. 2: Versuchsanordnung

Tiergruppe	Angewöhnung	Phase 1	Umstellung	Phase 2
	12 Tage	42 Tage	7 Tage	42 Tage
11		Soja		Raps
12		Raps		Soja

Tab. 3: Nährstoffgehalte der TMR-Komponenten in ml/200mg TM, g/kg TM (MW \pm s)

	TM	GB	XP	XF	ADForig	NDForig	XA	NEL	UDP	rXP	RNB
Getr.mix	897	59,9	123	99	23	202	154	6,66	21	148	-3,9
	11	4,0	34	35	8,2	111	44	0,8		14,1	3,8
Grassilage	313	50,2	180	299	264	433	121	6,55	15	146	5,6
	12	1,1	3,7	14	16	26	5,5	0,1		2,2	0,4
Heu	906	47,1	125	278	291	520	75	5,83	25	133	-1,3
	17	1,0	8,7	20	19	20	2,9	0,1		3,1	1,0
Mel.- schnitzel	915	74,5	107	146	145	302	84	7,32	30	149	-6,7
	4,7	1,2	8,9	15	8,5	11	2,5	0,0		3,1	1,0
RES	879	44,4	387	124	197	279	78	7,25	35	240	21,5
	2,8	0,6	7,7	4,8	5,7	18	2,4	0,0		33,1	0,7
SES	883	51,8	508	56	109	222	69	8,63	30	293	34,5
	1,9	0,8	19	19	22	13	2,9	0,0		6,0	2,0
Gersten- stroh	907	39,2	39	439	505	785	50	3,83	45	79	-6,5
	5,6	2,6	7,3	26	34	27	8	0,0		3,3	0,6

Täglich wurden Milchmenge (Alpro, deLaval), Futteraufnahme und Wasseraufnahme (RIC, Insentec) erfasst. Die Milchinhaltsstoffe und der TM-Gehalt der Ration wurden wöchentlich einmal ermittelt. Alle 14 Tage wurden die Futterkomponenten auf ihre Nährstoffgehalte hin untersucht. Während der Versuchsphase wurde dreimal die Körperkondition (BCS) visuell beurteilt.

Die Nährstoffgehalte der Komponenten sind in Tabelle 3 dargestellt. Der Rohproteingehalt der Grassilage war mit 180 g/kg TM höher als der Gehalt der mit dem Bohrstock im Vorfeld gezogenen Probe. Dadurch ergab sich eine hohe ruminale N-Bilanz (RNB). Die Situation spiegelt die Verhältnisse in Grünlandregionen durchaus wider.

Tabelle 4 zeigt die Zusammensetzung der Futtrationen. In der Ration V wurden 1,7 kg Sojaschrot eingeplant, in der Ration K 2,6 kg Rapsextraktionsschrot. Die übrigen Komponenten wurden so angepasst, dass gleiche Energiegehalte, Rohproteingehalte, nXP-Gehalte und möglichst gleiche NDF-Gehalte erreicht wurden.

Tab. 4: Rationszusammensetzung

Futtermittel	Kg TM/Kuh und Tag		Anteile in % der TM		
	TM, %	V	K	V	K
Heu	90,6	2,45	1,54	10,9	6,9
Grassilage	31,3	11,67	10,33	52,2	46,6
Getreidemix	89,7	4,75	5,83	21,2	26,3
Mel.schnitzel	91,5	1,83	1,83	8,2	8,3
SES	88,3	1,68		7,5	0,0
RES	87,9		2,64	0,0	11,9
Summe, kg TM bzw. %		22,4	22,2	100,00	100,00

Die statistische Auswertung erfolgte mit einem linearen gemischten Wiederholbarkeitsmodell mit SAS, Version 9.2.

$$y = \mu + \text{TAG} + \text{LNO} + f(\text{I}t\text{g})(\text{LNO}) + \text{GRP} + \text{BEH} + \text{Kuh} + e$$

für Verzehrleistung, Milchleistungsmerkmale und Milchinhaltsstoffe und

$$y = \mu + \text{TAG} + \text{LNO} + \text{LAB} + \text{RP} + \text{BEH} + \text{kuh} + e$$

für BCS.

y	=	Beobachtungswert des jeweiligen Merkmals
μ	=	allgemeines Mittel
TAG	=	fixer Effekt des Beobachtungstags
LNO	=	fixer Effekt der Laktationsnummer (1, 2, 3, ≥ 4)
f(ltg)(LNO)	=	Laktationskurve innerhalb der Laktation (1, 2, 3, ≥ 4) Laktationskurve: $ltg/330 + (ltg/330)^2 + n(330/ltg) + (\ln(330/ltg))^2$
LAB	=	fixer Effekt des Laktationsabschnitts
GRP	=	fixer Effekt der Versuchsgruppe (1, 2) (= Carry-Over-Effekt)
BEH	=	fixer Effekt der Behandlung (= Soja-/Raps-Effekt)
Kuh	=	zufälliger Effekt der Kuh innerhalb Vers. gruppe und Laktation
e	=	zufälliger Restfehler

3. Ergebnisse

Es wurde geplant, die Nährstoffgehalte der Rationen vergleichbar zu machen. Die Ration V mit SES enthielt 45,5 % TM und pro kg TM 6,71 MJ NEL, 156 g nXP, 181 g XP, 4,0 g RNB, und 367 g NDF_{OM}. Die Ration K mit RES enthielt 48,0 % TM und pro kg TM 6,67 MJ NEL, 157 g nXP, 180 g XP, 3,5 g RNB, und 349 g NDF_{OM}. Die Abweichungen sind als gering einzustufen. Weitere Parameter sind in Tabelle 5 gelistet. Die Anforderungen der GfE (in DLG, 2001) werden somit erfüllt.

Tab. 5: Nährstoffgehalte der Futtrationen

Parameter		SES (V)	RES (K)
TM	g/kg	455	480
NEL	MJ/kg TM	6,71	6,67
ME	MJ/kg TM	11,1	11,1
UDP	%	20	21
nXP	g/kg TM	156	157
RNB	g/kg TM	4	3,5
ADF _{OM}	g/kg TM	195	185
NDF _{OM}	g/kg TM	367	349
NFC	g/kg TM	305	323
XF	g/kg TM	224	212
XP	g/kg TM	181	180
XL	g/kg TM	31	29
XA	g/kg TM	116	119

Die Futteraufnahme war bei Verfütterung der RES-haltigen Ration V mit 23,2 kg TM/Tag hochsignifikant höher als bei Verfütterung der SES-haltigen Ration V. Dies gilt auch für die Wasseraufnahme, die Energieaufnahme und die nXP-Aufnahme. Die RNB war bei beiden Varianten mit 86 g N/Tag gleich. Dieser Wert korrespondiert mit den hohen Milchharnstoffgehalten. Im Verzehr von Rohfaser, ADF_{OM} und NDF_{OM} wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt (Tab. 6).

In der zweiten Versuchsphase waren die Unterschiede in der Futteraufnahme zugunsten der RES-haltigen Futtermischung deutlich höher (Abb. 1). Eine schlüssige Erklärung für diese Entwicklung gibt es nicht. Da die Kühe zuvor jahrelang ohne SES gefüttert wurden könnten auch Akzeptanzprobleme als Erklärungsansatz dienen.

Tab. 6: Futterverzehr und Nährstoffaufnahme

	BEH	SES (V)	RES (K)	F-Wert
TM-Verzehr	kg/Tag	21,9	23,2	0,0001
Wasseraufnahme	l/Tag	82,8	84,6	0,0001
NEL-Aufnahme	MJ/Tag	147,8	155,7	0,0001
Rohproteinaufnahme	g/Tag	3956	4177	0,0001
nXP-Aufnahme	g/Tag	3416	3642	0,0001
RNB	gN/Tag	86	86	
Rohfaseraufnahme	g/Tag	4903	4910	n. s.
ADF_{org} -Aufnahme	g/Tag	4264	4288	n. s.
NDF_{org} -Aufnahme	g/Tag	7751	7715	n. s.

Die Milchleistungsdaten und der Status der Körperkondition (BCS) sind in Tabelle 7 dargestellt. Auf alle Milchleistungskriterien mit Ausnahme des Milchharnstoffgehaltes hatte der Einsatz von RES einen signifikanten meist positiven (außer beim Milchfettgehalt) Einfluss.

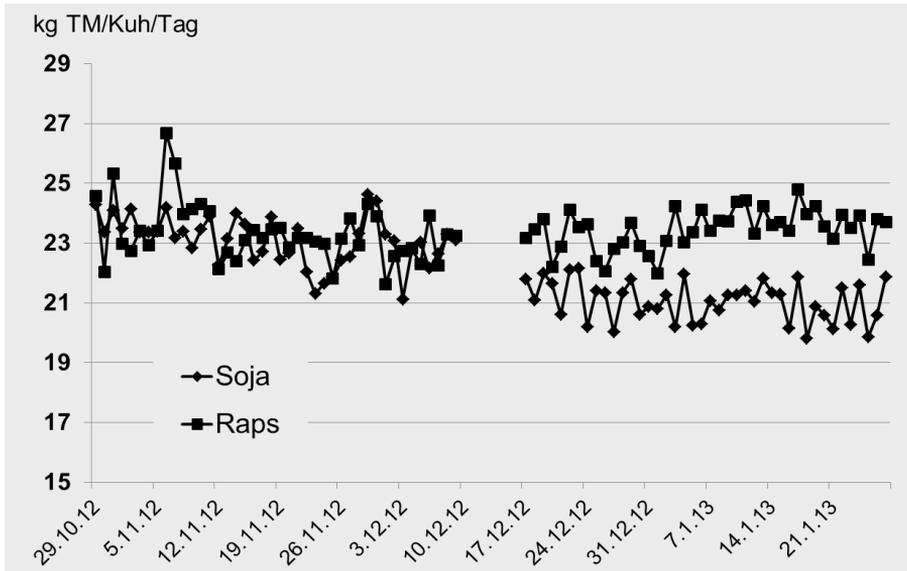


Abb. 1: Futtermittelaufnahme in kg TM/Kuh/Tag

Tab. 7: Milchleistung, BCS und Futterkonvertierung

Parameter	BEH	SES (V)	RES (K)	F-Wert
Milchmenge	kg/Tag	27,0	28,6	0,0001
Milchfett	%	4,64	4,51	0,001
Milcheiweiß	%	3,81	3,85	0,001
Fettmenge	kg/Tag	1,242	1,274	0,005
Eiweißmenge	kg/Tag	1,015	1,086	0,0001
ECM	kg/Tag	29,5	30,8	0,0001
Milchharnstoff	mg/100ml	30,3	29,9	n. s.
Futterkonvertierung	kg ECM/kg TM	1,37	1,34	n. s.
BCS		3,51	3,60	0,01

Die Milchfettmenge war in der Variante K wegen der höheren Milchmenge trotzdem signifikant höher. Die ECM-Leistung wurde um 1,3 kg pro Kuh und Tag gesteigert. Ursache für diese Leistungssteigerung ist sicher die höhere Futteraufnahme. Andererseits waren auch die mit SES gefütterten Kühe mit Nährstoffen über dem Bedarf versorgt (Tab. 7). Die Futterkonvertierung war bei beiden Varianten gleich. Dies ist mit der geringeren Futteraufnahme bei niedrigerer Milchleistung zu erklären.

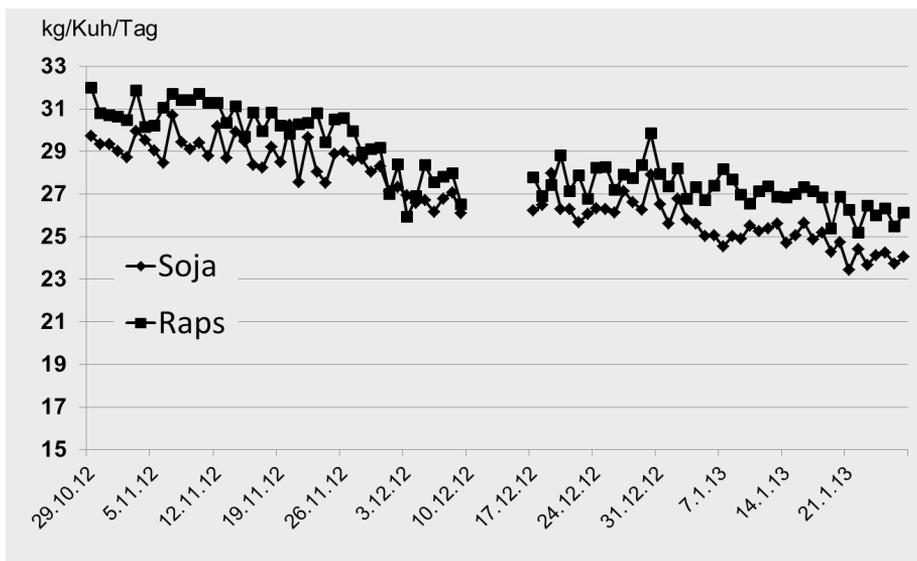


Abb. 2: Entwicklung der ECM im Versuchsverlauf

In Abbildung 2 ist die Entwicklung der ECM im Versuchsverlauf dargestellt. Sie verhält sich fast deckungsgleich wie die Futteraufnahmen (s. Abb. 1). Die höhere Futteraufnahme (1,3 kg TM) bzw. Energieaufnahme (7,9 MJ NEL) ist aber nicht umfänglich in höhere Milchmenge umgesetzt worden. Dies ist die Erklärung für den höheren BCS (3,60 vs. 3,51) bei den Variante K.

Tab. 8: Futterkosten pro kg Milch

Futtermittel	€/dt TM	Mengen in kg TM		Kosten in Euro	
		V	K	V	K
Heu	21,0	2,4	1,5	0,51	0,32
Grassilage	17,0	11,7	10,3	1,98	1,76
Getreidemix	26,0	4,8	5,8	1,24	1,52
Mel.schnitzel	24,3	1,8	1,8	0,44	0,44
SES	70,0	1,7		1,17	0,00
RES	35,0		2,6	0,00	0,92
Summe		22,4	22,2	5,35	4,96
			€/kg	0,24	0,22
			kg Milch/kg TM	1,37	1,34
			Futterkosten/kg Milch	0,17	0,17

Schließlich ist nach der Wirtschaftlichkeit der beiden Futterkonzepte zu fragen. Die Daten und der Rechengang für die Ermittlung der Rationskosten werden in Tabelle 8 dargelegt. Die Rationskosten pro Tag sind für SES-haltige Ration mit 5,35 € um 0,39 € höher. Pro kg TM beträgt die Differenz 2 Cent. Infolge der besseren Futterkonvertierung sind hingegen die Futterkosten pro Liter Milch mit 17 Cent bei beiden Verfahren gleich.

4. Zusammenfassung

Es wurde der Einfluss einer Eiweißergänzung auf der Basis SES bzw. Rapsextraktionsschrot zu einer grasbasierten Ration auf Futteraufnahme, Milchleistung und Wirtschaftlichkeit geprüft. Die Futterrationen hatten 180 g/kg TM Rohprotein und 156 g/kg TM nXP bei einem Energiegehalt von 6,7 MJ NEL/kg TM. Die Futteraufnahme, Nährstoffaufnahme und die Milchleistung waren bei Einsatz von Rapsextraktionsschrot höher. In den Futterkosten/Liter Milch gab es keinen Unterschied.

Energiebestimmung von Grobfuttermitteln aus kleinkörnigen Leguminosen

B. Losand¹, H.-J. Alert², Y. Arrigo³, T. Ettle⁴, H. Kluth⁵, C. Koch⁶, A. Menke⁷, A. Priepke¹, M. Pries⁷, F.-J. Romberg⁶, O. Steinhöfel², J. Trautwein⁸

¹Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Dummerstorf ²Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Köllitsch ³Station de recherche Agroscope Liebefeld-Posieux ALP, Posieux, Schweiz ⁴Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Poing ⁵Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften ⁶Lehr- und Versuchsanstalt Hofgut Neumühle im DLR Westpfalz, Münchweiler an der Alsenz ⁷Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster ⁸Fachhochschule Bingen

1. Problemstellung

Für die laborgestützte Berechnung des Energiegehaltes der Ernteprodukte von Grasaufwüchsen und Silomais wurden in den vergangenen Jahren Schätzgleichungen entwickelt, die auf der Nutzung von *in vitro*-Parametern der Verdaulichkeit der organischen Substanz (ELOS, Gasbildung) und zusätzlich der Rohnährstoffgehalte nach der Weender Analyse sowie ADF_{OM} und der neutralen Detergenzienfaser nach Amylasevorbehandlung ($aNDF_{OM}$) beruhen. Diese lösten Schätzgleichungen ausschließlich auf Basis von Rohnährstoffgehalten ab. Ernteprodukte sowohl aus reiner Luzerne als auch anderen Grobfutterleguminosen sind in die Ableitung der Gräsergleichung nicht einbezogen. Derzeit wird der Energiegehalt (ME) von Praxisproben aus Leguminosengrobfutter oft anhand des Rohnährstoffgehaltes und der Verdaulichkeit (DLG, 1997) unter Nutzung der Gleichung zur Berechnung des Energiegehaltes aus den verdaulichen Nährstoffen (nach DLG, 1997) berechnet. In Nutzung befindet sich auch eine Schätzgleichung auf der Basis der Rohnährstoffe nach der Weender Analyse und des TS-Gehaltes (Weissbach, 2004). Da in die Ableitung der derzeit von der GfE (2008) empfohlenen Schätzgleichungen auch Gras/Leguminosengemenge einbezogen wurden, bietet sich die Prüfung dieser Schätzgleichungen auch für reine Leguminosenaufwüchse und deren Ernteprodukte an. Mittlerweile liegen aus Forschungseinrichtungen in Deutschland und der Schweiz

Ergebnisse aus Verdaulichkeitsuntersuchungen an Luzerne und Kleearten vor, die es erlauben könnten, eine solche Prüfung vorzunehmen oder eigenständige Schätzgleichungen für Grobfutterleguminosen abzuleiten.

2. Material und Methoden

Bundesweit sowie aus der Schweiz wurde aktuelles Datenmaterial aus den letzten 10 Jahren von 74 Verdauungsversuchen am Hammel mit Grünfutter (24), Heu bzw. Trockengrün (14) sowie Silagen (36) reiner Luzerne- (57), Rotklee- (6) und Weißkleebestände (11) zusammengetragen. An der Durchführung der Verdauungsversuche waren sieben Einrichtungen beteiligt (Tab. 1). Die Untersuchung auf die Nährstoffgehalte erfolgte ebenfalls in sieben Futtermittellabors. Die Analyse der *in vitro*-Parameter Gasbildung (HFT) und Enzymunlösliche Organische Substanz (EULOS) erfolgten in nur 5 Labors. Nicht für alle in die Auswertung einbezogenen Materialien liegen Ergebnisse zu ELOS und Gasbildung vor. Bei der Angabe der analysierten Nährstoffgehalte und EULOS wurde der Trocknungsverlust bei der Labortrocknung berücksichtigt. ELOS wurde nach der Korrektur des TS-Gehaltes und der Berücksichtigung des Trocknungsverlustes bei den Nährstoffgehalten und EULOS berechnet ($1000 \cdot X_{A_{\text{kor.}}} - EULOS_{\text{kor.}}$).

Tab. 1: Anzahl der Datensätze nach Konservierungsart und Institution

Institution	Datensätze		gesamt	frisch	getrocknet	siliert
	mit ELOS	mit Gasbildung				
Dummerstorf	29	7	29	14	3	12
ALP	17	17	19	7	8	4
Grub	8	8	12			12
Bingen	8	8	8			8
Köllitsch	4		4	2	2	
Halle	1	1	1			1
HausRiswick	1	1	1		1	
Gesamt	68	42	74	23	14	37

Bei der Ausweisung der Ergebnisse der Gasbildung für die Silagen wurde der Trocknungsverlust nicht berücksichtigt.

Angaben zu Umfang und Streubreite der einbezogenen Daten liefert Tabelle 2.

Tab. 2: Mittelwert und Streuung der einbezogenen Parameter

Kennzahl		n	Mittelwert	s	s%	Min	Max
Trocken-	g/kg	74	399	266	66,7	115	938
masse							
Rohasche		74	123	35,8	29,1	84	282
Rohprotein		74	197	33,7	17,1	137	276
Rohfett	g/kg TS	74	23	8,4	36,1	5	41
Rohfaser							
NDF _{om}		69	396	90,5	22,8	185	554
ADF _{om}		69	313	66,8	21,3	141	424
Gasbildung	ml/200mg TS	42	42	5,2	12,4	30,1	51,3
ELOS	g/kg TS	68	600	63,4	10,6	502	741
VOS	%	74	68,0	7,1	10,4	54,9	82,8
ME	MJ/kg TS	74	9,24	0,85	9,2	7,7	11,3

Die den Futterwert maßgeblich beeinflussenden Nährstoffgehalte haben eine mittlere Streuung (s %) von mindestens 20 % um den jeweiligen Mittelwert. Die Verdaulichkeit der organischen Substanz hat einen Variationskoeffizienten von etwa 10 %.

Für die Ableitung möglicher Schätzgleichungen galten folgende Prämissen:

- Rechengänge mit und ohne Einbeziehung der *in vitro*-Parameter Gasbildung (HFT) oder ELOS
- Rohfaser und die Faserkennzahlen der erweiterten Faseranalytik nach Van Soest schließen sich in der Nutzung aus
- Einbeziehung der einzelnen Parameter mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p_{\text{von}} \leq 0,1$.
- Bevorzugung der einfach linearen Einflussnahme jedes einbezogenen Parameters

3. Ergebnisse

In einem ersten Schritt wurden Korrelationen zwischen den einbezogenen Parametern berechnet, um erfolgversprechende Kandidaten zu erkennen (Tab. 3).

Dabei zeigt sich, dass ADF_{OM} und XF eine enge negative Beziehung zur Gasbildung und zu ELOS haben. Die alternativ bestimmbar Fasergehalte Rohfaser und ADF_{OM} ähneln sich in ihrer Aussage bei einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,95$ sehr. Das Fett steht relativ deutlich in negativer Beziehung zur Gasbildung, nicht aber zu ELOS. Rohprotein steht ebenfalls relativ deutlich in positiver Beziehung zu ELOS. Auffallend ist auch die enge negative Korrelation der Fasergehalte zur Rohasche. Die Fasergehalte sind mit dem Rohproteingehalt negativ korreliert. In Bezug auf die Schätzung des Energiegehaltes aus den *in vitro*-Parametern ist die Beziehung zu ELOS mit $r = 0,83$ enger als zur Gasbildung ($r = 0,74$). Von der Rohfaser oder alternativ etwas schwächer auch von ADF_{OM} sowie vom Rohproteingehalt ist ein eigenständiger Beitrag zur Schätzung des Energiegehaltes zu erwarten.

In einem ersten Schritt wurden die beiden für die Energieschätzung von Grasernteprodukten (einschließlich Gras-Leguminosen-Gemenge) alternativ empfohlenen Gleichungen (GfE, 2008) auf den Datenpool angewendet (Tab. 4).

Bei ausschließlicher Nutzung der Parameter der Weender Analyse und zuzüglich der erweiterten Kohlenhydratanalyse ($aNDF_{OM}$; ADF_{OM}) in den Gleichungen 1 und 2 ergeben sich deutliche Verbesserungen in der Reststreuung s_R gegenüber der Anwendung von GfE (2008), eher aber zugunsten der ausschließlichen Anwendung der Weender Analyse. Bei Einbeziehung des *in vitro*-Parameters ELOS (Gleichungen 11 und 12 versus 1 bzw. 2) konnte mit einem leicht eingeschränkten Datenpool nur eine geringere Verbesserung der Schätzgüte erreicht werden. Allerdings fiel die Verbesserung der Schätzgüte unter Nutzung von ADF (Gleichung 2 versus 1) etwas deutlicher aus. Für eine Schätzung der Energie unter Nutzung des *in vitro*-Parameters Gasbildung kamen nur 42 der insgesamt 74 Datensätze in Frage. Die Verbesserung der Schätzgenauigkeit gegenüber der entsprechenden Gräsergleichung (GfE, 2008) war jedoch sehr deutlich (Gleichung 21 und 22). Wiederum fiel die Genauigkeit bei Nutzung von ADF und NDF gegenüber der ausschließlichen Nutzung der Weender-Nährstoffe etwas ab. Vergleichsweise wurde mit den für die Schätzung aus der Gasbildung einbezogenen Datensätzen über die alternative Nutzung von ELOS eine gleiche Schätzgenauigkeit erreicht (Gleichung 11 und 12 mit $n = 42$).

Tab. 3: Korrelation (r -oberhalb der Diagonale) zwischen Futterwertparametern (Anzahl Datensätze n -unterhalb der Diagonale)

	TM	XA	XP	XL	XF	ADF _{OM}	NDF _{OM}	Gb	ELOS	ME
TM		0,14	-0,26	-0,58	0,17	0,05	0,06	-0,05	-0,34	-0,34
XA	74		0,24	-0,29	-0,67	-0,67	-0,66	0,19	0,09	0,11
XP	74	74		0,09	-0,58	-0,49	-0,54	0,36	0,55	0,45
XL	74	74	74		0,14	0,22	0,22	-0,53	0,08	0,07
XF	74	74	74	74		0,95	0,86	-0,67	-0,71	-0,73
ADF _{OM}	69	69	69	69	69		0,87	-0,70	-0,70	-0,69
NDF _{OM}	69	69	69	69	69	69		-0,60	-0,67	-0,57
Gb	42	42	42	42	42	42	42		0,64	0,74
ELOS	68	68	68	68	68	68	68	68		0,83
ME	74	74	74	74	74	69	69	42	68	

Korrelation r

Tab.4: Regressionsparameter, sowie Bestimmtheitsmaß (r^2) und Reststreuung (s_R)

Gleichung	Konstante	XA	XP	XF	XL	ADF _{OM}	aNDF _{OM}	ELOS	Gasbil- dung	n	r ²	s _R	Stan- dard fehler	Bias
AtB_08 ELOS	5,51	-0,00511			0,02507	-0,00392		0,00828		70	0,62	0,54	5,84	-0,77
1	16,20	-0,01706	-0,00282	-0,01649						74	0,82	0,37	4,02	0
2	15,36	-0,01451			0,01529	-0,01484				69	0,75	0,45	4,89	0
11	13,64	-0,01401	-0,00352	-0,01403			0,00277			68	0,84	0,37	3,97	0
12	10,29	-0,00977				-0,00950		0,00526		68	0,78	0,43	4,59	0
AtB'08Gb	7,81	-0,00384	+0,00565		0,01898	-0,00831			0,07559	42	0,76	0,52	5,63	0,26
21	11,63	-0,01256		-0,01228	0,01435				0,04837	42	0,86	0,34	3,74	0
22	11,86	-0,01230			0,02721	-0,00879	-0,00287		0,05332	42	0,84	0,36	3,96	0
1	16,20	-0,01706	-0,00282	-0,01649						42	0,85	0,36	3,93	0,02
11	13,64	-0,01401	-0,00352	-0,01403			0,00277			42	0,86	0,35	3,81	-0,01
12	10,29	-0,00977				-0,00950		0,00526		42	0,83	0,39	4,23	-0,04

Abbildung 1 zeigt einen Vergleich der berechneten Schätzwerte mit den am Hammel ermittelten Energiegehalten unter Nutzung der nach der Weender-Analyse ermittelten Nährstoffgehalte zuzüglich der alternativ zu nutzenden *in vitro*-Parameter ELOS bzw. Gasbildung.

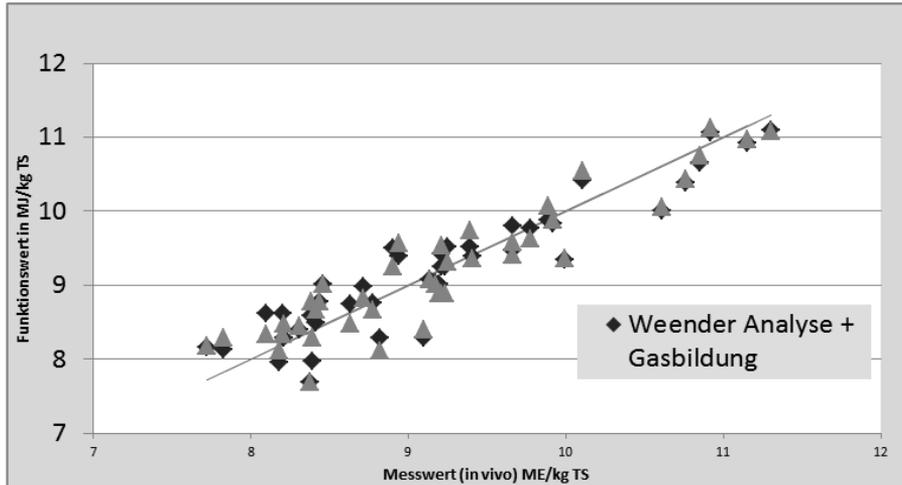


Abb. 1: Vergleich der alternativ berechneten Schätzwerte unter Nutzung der nach der Weender Analyse ermittelten Nährstoffgehalte und der Gasbildung (Gleichung 21) bzw. von ELOS (Gleichung 11)

4. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Nutzung der für Ernteprodukte von Grasaufwüchsen einschließlich der Aufwüchse von Gras-Leguminosen-Gemengen nach GfE (2008) mit einer ähnlichen Schätzgenauigkeit verbunden ist, wie bereits bei der Validierung dieser Gleichungen berichtet wurde. Die Ableitung eigener Schätzgleichungen aus den vorhandenen Ergebnissen von Verdauungsversuchen mit Ernteprodukten aus reinen Leguminosenaufwüchsen ermöglicht aber eine deutliche Erhöhung der Genauigkeit der Energieschätzung, so dass die Ableitung eigener Schätzgleichungen für Grobfutterleguminosen lohnenswert erscheint.

Die Nutzung der Neutralen ($aNDF_{OM}$) bzw. Sauren (ADF_{OM}) Detergentienfaser alternativ zur Rohfaser verringerte die Schätzgüte in allen Varianten mit und ohne die *in vitro*-Parameter ELOS bzw. Gasbildung. Die Einbeziehung von

ELOS wie auch der Gasbildung brachte gegenüber der ausschließlichen Nutzung von Rohnährstoffen für die Schätzung nur eine geringe Verbesserung des Bestimmtheitsmaßes und der Reststreuung. Bei Anwendung der mit ELOS erarbeiteten Schätzgleichung (11 und 12) auf den Datenpool, für den auch die Gasbildung vorliegt, zeigt sich eine sehr ähnliche Aussage beim geschätzten Energiegehalt für beide *in vitro*-Methoden (Abb. 1). Die Reststreuung beim gleichen Wertekollektiv kann als gleich angesehen werden.

5. Zusammenfassung

Grobfutterleguminosen können dazu beitragen, die Proteinbilanz in Futterbaubetrieben deutlich zu verbessern. Für die energetische Bewertung solcher konkreter Futtermittelvorräte fehlt derzeit eine ähnlich genaue Methode wie für die Ernteprodukte von Silomais und Grasaufwüchsen auf der Basis der Rohnährstoffgehalte und eines *in vitro*-Parameters. Immer wieder angeschobene Initiativen zur Nutzung der Luzerne sowie verschiedener Kleearten führten deutschlandweit und in den angrenzenden Ländern auch zur Durchführung von Verdaulichkeitsuntersuchungen. Eine Datenzusammenführung von 74 Verdaulichkeitsversuchen aus 7 Institutionen Deutschlands und der Schweiz ermöglichte die Überprüfung der Nutzbarkeit der von der GfE (2008) vorgeschlagenen Schätzgleichungen für Ernteprodukte von Gras- bzw. Gras-Leguminosenaufwüchsen zur Energieschätzung reiner Leguminosenaufwüchse. Die Präzision der Energieschätzung des Leguminosenraufutters ist dabei ähnlich der aus der Validierung dieser Schätzgleichung an den Grasernteprodukten. In einem zweiten Schritt wurden Regressionsgleichungen zur Berechnung des Gehaltes an ME am Material der 74 Verdaulichkeitsversuche selbst erarbeitet. Die Anpassung an das Datenmaterial war deutlich enger als an die der Gräsergleichungen (GfE, 2008). Ein sehr enger Zusammenhang besteht schon zwischen dem ME-Gehalt und den Parametern der Weender Analyse einschließlich der Rohfaser. Dieser Zusammenhang konnte durch die zusätzliche Nutzung der Enzymlöslichkeit (ELOS) bzw. der Gasbildung (HFT) kaum verbessert werden. Die alternative Nutzung der Fasergehalte nach Van Soest (ADF_{OM} , $aNDF_{OM}$) verschlechterte die Aussagegüte der Regressionsgleichungen. Die alternative Nutzung von ELOS und Gasbildung ist ohne Genauigkeitsverlust möglich.

Literaturangaben

DLG [Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft], 1997: DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. 7. erweiterte und überarbeitete Auflage, DLG-Verlag Frankfurt/M.

GfE, 2008: Communications of the Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology: New Equations for Predicting Metabolizable Energy of Grass and Maize Products for Ruminants. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 17, 191-198.

Weissbach, F., 2004: schriftliche Mitteilungen.

Untersuchungen zur Proteolyse während der Silierung von Weidelgras und Luzerne bei Zusatz tanninhaltiger Pflanzenextrakte

S. Roscher¹, O. Steinhöfel¹, H. Schafft², W. Richardt³, B. Pieper⁴

¹Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Köllitsch, ²Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin, ³LKS-Landwirtschaftliche Kommunikations- und Servicegesellschaft mbH, Lichtenwalde, ⁴Dr. Pieper Technologie- und Produktentwicklung GmbH, Wuthenow

1. Einleitung

Während der Silierung proteinhaltiger Futtermittel findet eine Zunahme des Anteils der Nicht-Protein-Stickstoffe statt. Der Anteil an Nicht-Protein-Stickstoff (NPN) am Rohprotein kann nach der Gärung über 80% betragen (Hvelplund und Weijsberg, 2000). Im frischen Siliergut sind NPN-Gehalte zwischen 20 und 30 % des Rohproteins zu beobachten. Fairbairn et al. (1988) ermittelten einen Anstieg von 18 auf 31 % NPN am Gesamt-N-Gehalt in Luzerne durch die Silierung. Richardt und Steinhöfel (2000, 2008) haben die Effekte der Silierung auf die Stickstofffraktionen untersucht mit dem Ziel Möglichkeiten der Beeinflussung der Proteolyse bei der Silierung zu identifizieren.

Es gibt eine Vielzahl von Hinweisen, dass tanninhaltige Pflanzenextraktstoffe das ruminale Wachstum insbesondere von Bakterienstämmen hemmen, die an der Proteolyse beteiligt sind (Jones et al., 1994), und durch den Einsatz von Tanninen die ruminale Ammoniak-N-Produktion signifikant reduziert werden kann (Driedger und Hatfield, 1972). Insbesondere kondensierte Tannine bewirken eine Reduktion des Abbaus von Futterprotein in den Vormägen (Min et al., 2003). Somit können die kondensierten Tannine zu einer besseren Aminosäureanflutung am Dünndarm beitragen (Getachew et al., 2008). Kondensierte Tannine gehen mit Proteinen komplexe Verbindungen (Tannin-Protein-Komplexe) ein und sind mikrobiell nur gering abbaubar. Postruminal werden die komplexartigen Strukturen zwischen Tanninen und Proteinen, die im Dünndarm zur Verfügung stehen, wieder getrennt (Kariuki und Norton, 2008).

Die Aufnahme von hydrolysierten Tanninen ist aufgrund toxischer Wirkungen im Magen-Darm-Trakt, in der Leber sowie den Nieren in der Tierernährung uner-

wünscht. Durch Polymerisation zu größeren Molekülen können kondensierte Tannine im Gegensatz zu hydrolysierten Tanninen nicht adsorbiert werden (Singleton und Kratzer, 1969).

Silierungsversuche zum Einsatz tanninhaltiger Extrakte mit dem Ziel die Proteolyse während des Silierprozesses zu hemmen, gibt es bislang nur wenige. Informationen über das optimale Dosis-Wirkungs-Verhältnis, über mögliche Interaktionen zu Futteraufnahme und Verdaulichkeit sowie über den Einfluss auf den Fütterungserfolg in hohen Leistungsbereichen von Milchrindern fehlen. Tabacco et al. (2006) setzten Tannine dem Siliergut zu. Sie stellten bei Verfütterung tanninbehandelter Silagen gegenüber der Kontrolle eine signifikante Reduzierung der Nicht-Protein-Stickstoff-Verbindungen von 15 % (des Rohproteins) sowie eine Erhöhung der Fraktion B (leicht bis langsam abbaubares Protein) von 10,2 % (Kontrolle) auf bis zu 18,4 % des Rohproteins in Abhängigkeit von der zugesetzten Tanninmenge im Pansen fest.

2. Material und Methoden

In Silierungsversuchen am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie sowie von der Dr. Pieper Technologie- und Produktentwicklung GmbH wurde der Frage nachgegangen, inwiefern Zusätze mit kondensierten Tanninen in der Lage sind, die Proteolyse während der Silierung zu reduzieren. Als Siliergut wurde Welsches Weidelgras (WW) sowie Luzerne verwendet. Das Siliergut wurde 24 Stunden angewelkt und anschließend auf eine mittlere theoretische Häcksellänge von 30 mm gehäckselt. Anschließend wurde durch Sprühen das gut wasserlösliche tanninhaltige Pflanzenextrakt und entsprechend dem Versuchsdesign (Tab. 1) Siliermittel appliziert. Getestet wurden zwei Tanninprodukte (Quebracho und Mimosa).

Bei Silierungsversuchen mit dem Weidelgras wurden insgesamt sechs Versuchsvarianten und eine Kontrolle mit jeweils 3 Wiederholungen hergestellt, welche zu elf verschiedenen Terminen geöffnet wurden. Die Silierung erfolgte in Weckgläsern (2,5 kg).

Tab. 1: Versuchsplan für die Silierversuche mit Weidelgras

Varianten	Zusätze
K	Kontrolle
CS	Kombinationsprodukt
BS	Biologisches Siliermittel
Q	Quebracho
Q+CS	Quebracho mit Kombinationsprodukt
Q+BS	Quebracho mit biologischem Siliermittel
M	Mimosa

Das eingesetzte biologische Siliermittel beinhaltete *Lactobacillus plantarum* DSM 8866 und 8862 und wurde nach den Herstellerangaben dem Siliergut beigemischt (Impfdichte: 3×10^5 KbE/g Siliergut). Das verwendete Kombinationsprodukt setzte sich aus $75 \pm 2\%$ Ameisensäure, $7 \pm 2\%$ Natrium, $18 \pm 2\%$ Wasser und *Lactobacillus plantarum* DSM 8866 und 8862 zusammen und wurde ebenfalls nach den Angaben des Herstellers getrennt voneinander und nach den entsprechenden Mengeneempfehlungen verwendet. Als Tanningquellen dienten Quebracho (*Quebrachia lorentzii* syn. / *Schinopsis balansae*) und Mimosa (*Acacia negra*, *Acacia molissima*) mit einem angegebenen Gesamtanningehalt von ca. 76 beziehungsweise 72 %. Angestrebt wurde ein Gehalt der tanninhaltigen Pflanzenextrakte von 3 % bezogen auf die Trockenmasse (TM) unter Annahme einer Trockenmasse von 30 %. 27 g der taninhaltigen Pflanzenextrakte wurden je 3 kg Frischmasse in 81 ml Leitungswasser aufgelöst, damit eine bessere Benetzung des Siliergutes mit den Tanninen erreicht werden konnte.

Den drei Varianten ohne zugesetzte Tannine wurde die gleiche Wassermenge zugemischt, um vergleichbare Trockenmassegehalte zu gewährleisten. Zur Vermeidung einer Kreuzkontamination wurde jede Siliervariante in einer separaten Wanne hergestellt und separate Werkzeuge sowie Handschuhe während des Mischens genutzt. Es wurde eine Verdichtung von 200 kg TM/m³ angestrebt. Die Silierdauer betrug jeweils 0, 1, 3, 6 und 12 Stunden sowie 1, 3, 6, 12, 24, 48 und 96 Tage. Die Siliergläser wurden direkt nach dem Befüllen sowie zum Versuchsende gewogen, je nach Variante zeitgleich geöffnet und zur Analytik weitergeleitet bzw. bei -18 °C zwischengelagert. Direkt nach dem Öffnen wurden Messungen zur aeroben Stabilität der Versuchssilagen durchgeführt. Um

die Einflüsse der Auftauphase und des Trocknens der Proben vor der Analytik zu minimieren, wurden die Proben gefriergetrocknet zur Analyse gebracht. Die Bestimmung der Roh Nährstoffe erfolgte mittels Nahinfrarotspektroskopie und der UDP-Gehalt sowie die Proteinfractionen wurden durch Enquete 342 M aus dem Jahr 2003, die sich an den Arbeiten von Licitra et al. (1996) modifiziert nach Shannak et al. (2000) orientiert, bestimmt. Die Gär säuren wurden mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie ermittelt.

Für die Nylonbeutelversuche an gefistelten trockenstehenden Kühen, durchgeführt am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Köllitsch), wurde eine Einwaage von 4 g TM pro Beutel (R1020) vorgenommen bei sechs Wiederholungen pro Variante. Nach dem Waschvorgang in der Waschmaschine (Bosch, WOL 2050) wurden die Beutel moderat abgepresst und zur Bestimmung der Restfeuchte jeweils sechs Beutel für 24 Stunden bei 60 °C im Umlufttrockenschrank getrocknet und davon anschließend zwei Beutel weitere 4 Stunden bei 103 °C. Die restlichen vier Beutel wurden auf die Zusammensetzung der Proteinfractionen nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) hin untersucht.

Die Luzerneversuchspartien wurde erntefeucht sowohl mit dem biologischen Siliermittel als auch dem Kombinationsprodukt und Melasse sowie mit 0,5, 1,5 und 2,5 % Quebracho pro kg TM einsilierte, bei einer angestrebten Verdichtung von 200 kg TM/m³. Jeweils 32 Gläser der insgesamt 64 Silierproben wurden nach 49 und 69 Siliertagen geöffnet und die Gärqualität nach dem DLG-Schlüssel ermittelt.

Für die statistische Auswertung wurde das Statistikprogramm SAS (9.3) verwendet. Die Unterschiede zwischen den Varianten wurden mit dem Tukey-Test ermittelt.

3. Ergebnisse

Die Gärqualität der Weidelgrassilagen war bei allen Versuchssilagen und bei der Kontrolle sehr gut. Die Silagen waren ausnahmslos buttersäurefrei. Die aerobe Stabilität, bestimmt nach Honig (1990), war weder bei den Versuchssilagen noch bei der Kontrolle < 10 Tage. Die Ermittlung des Trockenmassegehaltes wies Unterschiede zum geplanten

Trockenmassegehalt auf, sodass die Konzentration der tanninhaltigen Produkte auf 3,8 %/kg TM korrigiert werden musste. Der Rohproteingehalt wies keine signifikanten Unterschiede auf. Bei den Proteinfractionen nach CNCPS bestanden teilweise deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten (Tab. 2). Die tanninhaltigen und tanninfreien Varianten zeigten die größten Unterschiede in Fraktion A (Nicht Protein-Stickstoff) sowie Fraktion B₃ (langsam abbaubares Protein) auf, hingegen wurden keine Unterschiede in Fraktion B₁ (schnell abbaubares Protein), B₂ (mittel bis langsam abbaubares Protein) und C (nicht abbaubares Protein) gefunden. Die deutlichsten Effekte waren bei der Variante mit Quebracho und dem biologischen Siliermittel auf die Beeinflussung der Proteolyse gegenüber den anderen Varianten festzustellen.

Tab. 2: Mittlere TM-, RP- sowie nRP-Gehalte und Proteinfractionierung nach 96 Siliertagen

		K	CS	BS	Q	Q+ CS	Q+ BS	M
TM	g/kg FM	235	232	227	236	247	240	
RP	g/kg TM	192,9	194,9	192,5	187,3	189,8	186,1	184,2
nRP	g/kg TM	143,7	144,6	144,5	146,6	147,3	147,0	146,7
Fraktion A	% d. RP	64,8 ^c	65,0 ^c	63,6 ^{bc}	56,3 ^{ac}	56,7 ^{ac}	52,8 ^a	55,0 ^{ab}
Fraktion B₁	% d. RP	3,3 ^{ab}	3,1 ^a	3,2 ^a	3,8 ^{ab}	3,4 ^{ab}	3,7 ^{ab}	4,0 ^b
Fraktion B₂	% d. RP	21,9	22,5	22,9	23,9	24,3	24,9	24,3
Fraktion B₃	% d. RP	7,0 ^a	7,0 ^a	7,3 ^a	12,5 ^{ab}	12,6 ^{ab}	15,0 ^b	13,0 ^{ab}
Fraktion C	% d. RP	3,0	2,4	3,0	3,4	2,0	3,6	3,6
Protein-löslichkeit	%	68,1 ^b	68,1 ^b	66,8 ^b	60,1 ^{ab}	60,1 ^{ab}	56,4 ^a	55,0 ^{ab}

a,b,c,d,: Signifikante Unterschiede mit verschiedenen Buchstaben pro Reihe ausgegeben (Tukey-Test, P<0.05)

Die tanninhaltigen Pflanzenextrakte wirkten sich auf die Proteinlöslichkeit (A, B₁) aus. Gegenüber der Kontrolle mit einer Proteinlöslichkeit von 68,1 % konnte diese durch den Einsatz der Tannine auf bis zu 55,0% reduziert werden.

Die Eliminierungsrate des Rohproteins bei Inkubation im Pansen war in der Kontrolle in den ersten Stunden verglichen mit der Silage mit den zugesetzten Tanninen deutlich höher. Nach 16 Stunden Inkubation ergaben sich vergleichbare

Abbauraten des Rohproteins bei der Kontrolle als auch bei der tanninhaltigen Variante (Tab. 3).

Tab. 3: Effekte des Einsatzes tanninhaltiger Pflanzenextrakte auf die Eliminierungsraten des Rohproteins (in % pro Zeiteinheit) bei der Fermentation im Pansen (Nylonbeuteltechnik)

	t [h]							UDP-4 (in %)
Variante	0	2	4	8	16	24	48	
Kontrolle	48,2	62,8	64,1	70,7	90,4	91,4	93,2	18,92
Quebracho	43,1	52,0	55,1	63,4	89,5	89,1	92,7	22,78

Die Gärqualität der Luzernesilagen war durch den Einsatz des tanninhaltigen Pflanzenextraktes nicht beeinflusst. So waren die Trockenmasseverluste (in % TM) innerhalb einer Variante trotz des Einsatzes unterschiedlicher Tanninmengen ähnlich ebenso der pH-Wert (Tab. 4). Lediglich in der Variante mit Quebracho und dem Kombinationsprodukt war der Anteil der koloniebildenden Einheiten (KbE) der Milchsäurebakterien (MSB) niedriger verglichen mit den anderen Varianten.

Tab. 4: Ausgewählte Ergebnisse zur Wirkung tanninhaltiger Silierzusätze auf die Silierqualität in Luzernesilagen

Silierzusatz	Tanningehalt (%)	MSB (KbE/g)	pH-Wert	Masseverlust (%)
Kontrolle	0	18,9 *10 ⁶	4,85	1,1
	2,5	25,3 *10 ⁶	5,03	1,3
BS	0	19,9 *10 ⁶	4,94	1,2
	2,5	16,8 *10 ⁶	5,09	1,3
CS	0	42,3 *10 ⁶	4,46	0,4
	2,5	2,98 *10 ⁶	4,44	0,4

4. Diskussion

Der Zusatz von Tanninen, deren Gehalt an kondensierten Tanninen unbekannt war, scheint die Proteolyse des Rohproteins in den Silagen verringert zu

haben. Kennzeichnend dafür sind geringere Gehalt der Proteinfraction A (nach CNCPS) und eine Erhöhung der Fraction B₃. Diese Effekte können als Hinweis dienen, dass die Zulage von Tanninen den mikrobiellen Abbau des Proteins im Pansen reduziert hat. In Untersuchungen an Schafen konnten auch Kariuki und Norton (2008) zeigen, dass nach Zusatz von kondensierten Tanninen (aus Mimosengewächsen) in die Ration, die Mehrheit der Tannin-Protein-Komplexe postruminal wieder gelöst wurde. Über 90 Prozent der Komplexe wurde in den Untersuchungen im Duodenum wieder hydrolysiert.

Die Nylonbeutelversuche zeigten, dass das Rohprotein im Pansen durch die Tannine langsamer abgebaut wird. Die UDP-Anteile der tanninhaltigen Variante (Quebracho) liegen im Mittel mit 23 % deutlich über der Kontrolle (19 %).

Die Zulage der tanninhaltigen Zusätze während der Silierung hatte keine Auswirkungen auf die anderen Rohnährstoffe im Endprodukt, wie es auch Untersuchungen von Tabacco et al. (2006) bestätigen.

Die in den Untersuchungen gewählte Tanninkonzentration von 3,8 % der Silagetrockenmasse ist aus wirtschaftlicher Sicht zu prüfen. In der Literatur wird von Tanninkonzentrationen zwischen 1 % der TM (Beachemin et al., 2007) und 15 % der TM (Getachew et al., 2008) berichtet. Systematische Dosis-Wirkungsbeziehungen mit tanninhaltigen Silierzusätzen, bei denen der Gehalt an kondensierten Tanninen bekannt ist, fehlen bislang.

5. Fazit

Untersuchungen zur Proteolyse während der Silierung von Weidelgras bei Zusatz von 3,8 % tanninhaltigem Pflanzenextrakt zeigten zunächst eine deutliche Reduktion der Proteolyse in den Silierversuchen. Als Beurteilungsmaß wurde das Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) gewählt und festgestellt, dass durch die Zulage von tanninhaltigem Pflanzenextrakt der Anteil der Proteinfraction A abnimmt und der Anteil der Proteinfraction B₃ im gleichen Verhältnis zunimmt.

Der UDP-Gehalt, ermittelt durch Nylonbeuteluntersuchungen an gefestelten trockenstehenden Kühen, ergab einen Anstieg bei Zusatz von Tanninen.

6. Literaturangaben

- Beauchemin, K.A., McGinn, S.M., Martinez, T.F., McAllister, T.A., 2007: Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 85, 1990-1996.
- Driedger, A., Hatfield, E.E., 1972: Influence of Tannins on the Nutritive Value of Soybean Meal for Ruminants. *Journal of Animal Science* 34, 3, 465-468.
- Fairbairn, R., Alli, I., Backer, B., 1988: Proteolysis Associated with the Ensilage of Chopped Alfalfa. *Journal of Dairy Science* 71, 152-158.
- Getachew, G., Pittroff, W., Putnam, D.H., Dandekar, A., Goyal, S., DePeters, E.J., 2008: The influence of addition of gallic acid, tannic acid, or quebracho tannins to alfalfa hay on *in vitro* rumen fermentation and microbial protein synthesis. *Animal Feed Science and Technology* 140, 444-461.
- Honig, H., 1990: Evaluation of aerobic stability. In: S. Lindgren and K. L. Pettersson (eds): Proc. of the EUROBAC Conference. Uppsala 1986: Gras and Forage Reports, Special issue 3, 76-82.
- Hvelplund, T., Weisbjerg, M.R., 2000: *In situ* techniques for the estimation of protein degradability and postrumen availability. In: Forage evaluation in ruminant nutrition. Givens, D.I. et al. (eds) CABI Publishing, UK, 233-258.
- Jones, G.A., McAllister, T.A., Muir, A.D., Cheng, K.-J., 1994: Effects of Sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) Condensed Tannins on Growth and Proteolysis by Four Strains of Ruminal Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 60(4), 1374-1378.
- Kariuki, I.W., Norton, B.W., 2008: The digestion of dietary protein bound by condensed tannins in the gastro-intestinal tract of sheep. *Animal Feed Science and Technology* 142, 197-209.
- Licitra, G., Hernandez, T.M., Van Soest, P.J., 1996: Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology* 57, 347-358.
- Min, B.R., Hart, S.P., 2003: Tannins for suppression of intestinal parasites. *Journal of Animal Science* 81, E102-E109.
- Richardt, W., Steinhöfel, O., 2000: Untersuchungen zu Rohproteinfraktionen in Grundfuttermitteln. VDLUFA-Schriftenreihe 55, Teil III, 9-15, Kongressband 2000 Stuttgart, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Richardt, W., Steinhöfel, O., 2008: Change of feed value during the process of ensilage, with main focus of fiber, protein quality and carotin. 13th Proc. Int. Silagekonferenz Nitra, 40-43.

- Shannak, S., Südekum, K.-H., Susenbeth, A., 2000: Estimating ruminal crude protein degradation with in situ and chemical fractionation procedures. *Animal Feed Science and Technology* 85, 195-214.
- Singleton, V.L., Kratzer, F.H., 1969: Toxicity and Related Physiological Activity of Phenolic Substances of Plant Origin. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 17(3), 497-512.
- Tabacco, E., Borreani, G., Crovetto, G.M., Galassi, G., Colombo, D., Cavallarin, L., 2006: Effect of Chestnut Tannin on Fermentation Quality, Proteolysis and Protein Rumen Degradability of Alfalfa Silage. *Journal of Dairy Science* 89, 4736-4746.

Keimfähigkeit, Triebkraft, Feldaufgang und Ertrag bei Sojabohnen (*Glycine max*) mit unterschiedlicher Saatgutqualität

B. Voit, G. Salzeder, B. Killermann

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising

1. Einführung

Das Wort Soja ist für viele in unserer Gesellschaft negativ besetzt. Es wird verbunden mit Urwaldrodung, Monokultur und Gentechnik. Aus diesen Gründen hat der bayerische Landwirtschaftsminister 2011 ein Aktionsprogramm für heimische Eiweißfuttermittel gestartet, um von den Eiweißfuttermittel-Importen unabhängiger zu werden. Unter diese Initiative fällt auch der heimische Sojaanbau. Die Sojabohne ist eine Kurztagspflanze mit hohem Wärmeanspruch. Nicht in jedem Frühjahr liegen die Bodentemperaturen bei 15° C und darüber, die für einen problemlosen Feldaufgang notwendig sind. In Jahren mit kaltem oder nasskaltem Frühjahr werden besondere Ansprüche an die Saatgutqualität gestellt. Da für den heimischen Sojaanbau wenig Erfahrung vorliegt, hat die Arbeitsgruppe Saatgutuntersuchung/Saatgutforschung 3 Jahre auf 2 Standorten jeweils 2 Sorten mit unterschiedlichen Saatgutqualitäten angebaut und geerntet. Die Ergebnisse werden vorgestellt und diskutiert.

2. Material und Methoden

2.1 Keimfähigkeit

Im Saatgutlabor wird die Keimfähigkeit im sterilen Quarzsand bei 25 °C unter standardisierten Bedingungen festgestellt. Die gesetzlich vorgeschriebene Mindestkeimfähigkeit bei Sojabohnen beträgt 80 % (Rutz und Freudenstein, 2010).

2.2 Triebkraft

Die Triebkraftprüfung ist bei Sojabohnen gesetzlich nicht vorgeschrieben. Es ist jedoch ein großes Risiko das Auflaufverhalten bei kalten oder nasskalten Bedingungen nicht zu kennen. Für Sojabohnen gibt es eine validierte Triebkraft-

methode, den sogenannten ISTA Leitfähigkeitstest (ISTA, 2013). Der Messwert wird in $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ ausgedrückt und erlaubt eine Einschätzung für die Triebkraft. Der Nachteil ist, dass das Ergebnis in $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ und nicht in Keimprozent dargestellt wird und daher für eine Berechnung der Aussaatmenge nicht herangezogen werden kann.

In diesem Versuch wurde zur Feststellung der Triebkraft die Kalttestprüfung für Mais verwendet (ISTA, 1995). Anstelle in Erdrollen wurden die Körner in großen Schalen, die mit Ackererde gefüllt waren, zum Keimen gebracht. Eine Woche bei 10 °C, die zweite Woche bei 25 °C (Voit et al., 2010). Anschließend erfolgte die Beurteilung der Keimlinge wie bei der Keimprüfung. Da Triebkraftversuche für sich allein nicht ausreichend sind, wurden parallel dazu Feldversuche durchgeführt um zu sehen, wie hoch der tatsächliche Feldaufgang ist.

2.3 Feldversuche

Dazu wurden zwei für Soja günstige Standorte ausgewählt. Der erste Standort Oberhummel lag im Isartal in der Nähe von Freising. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt knapp 7,8 °C und die Niederschlagsmenge liegt bei 800 mm. Beim zweiten Standort Rotthalmünster handelt es sich um eine Gunstlage im Rottal bei 8,0 °C durchschnittlicher Jahrestemperatur und 850 mm Niederschlag. Ausgesät wurden 70 Körner/m² bei einer Parzellengröße von 10 m² und jeweils 4 Wiederholungen. Für die Ertragsermittlung wurde die gesamte Parzelle geerntet und gewogen.

3. Ergebnisse und Diskussion

In den Versuchen wurden 2 Sorten mit jeweils 3 unterschiedlichen Saatgutqualitäten geprüft. Sorte 1, eine sehr frühe Sorte mit 3 Saatgutpartien, die Keimfähigkeiten zwischen 74 und 92 % über die drei Jahre aufwiesen. Die Sorte 2, etwas später abreifend, mit ebenfalls 3 Saatgutpartien mit Keimfähigkeiten zwischen 77 und 94 %. Bei der Sorte 1 lagen die Triebkraftwerte nach dem Kalttestverfahren von Mais um ca. 6 % unter den Keimfähigkeitswerten (Tab. 1). Die Differenz zur Keimfähigkeit war bei der Sorte 2 mit ca. 10 % größer als bei der Sorte 1. Erstaunlich war, dass die Differenz zur Keimfähigkeit bei allen Saatgutqualitäten in etwa gleich war. Insbesondere hätte man von der schlechteren Saatgutqualität deutlich niedrigere Triebkraftwerte erwartet.

Tab 1: Keimfähigkeit, Triebkraft, Feldaufgang und Ertrag von 2 Sojabohnensorten mit jeweils 3 unterschiedlichen Saatgutqualitäten auf den Standorten Oberhummel und Rotthalmünster, 2011

Sorte	Keimfähigkeit (%)	Triebkraft (%)	Feldaufgang (%)		Ertrag (dt/ha)	
			Oberhummel	Rotthalmünster	Oberhummel	Rotthalmünster
1	92	86	90	66	38	37
1	83	78	76	61	37	41
1	78	71	69	68	37	40
2	93	83	84	56	27	39
2	86	77	80	54	27	39
2	79	66	70	47	26	33

Die Aussaat 2011 am Standort Oberhummel erfolgte am 20. April, während in Rotthalmünster bereits eine Woche früher angebaut wurde. Anfang Mai waren die Sojabohnen aufgelaufen und der Feldaufgang wurde ermittelt.

Der Feldaufgang am Standort Oberhummel lag sehr nahe an den Triebkraftwerten. Am Standort Rotthalmünster war der Feldaufgang deutlich niedriger, z. T. um mehr als 20 % im Vergleich zu Oberhummel. Ursache dafür war die frühe Saat. Hier zeigt sich sehr deutlich der hohe Wärmeanspruch bei der Keimung. Eine zu frühe Saat führt zu einem deutlich niedrigeren Feldaufgang. Umso überraschender war dann das sehr gute Druschergebnis am Standort Rotthalmünster. Der Ertrag war gleich hoch wie am Standort Oberhummel. Auch zwischen den unterschiedlichen Saatgutqualitäten bei der Sorte 1 konnten keine Ertragsunterschiede festgestellt werden. Zunächst könnte man annehmen, dass die Saatstärke zu hoch war und deshalb die dünneren Bestände die gleichen Erträge brachten wie die dichteren. Bei genauem Hinsehen konnte man feststellen, dass in den dünneren Beständen die Pflanzen Seitentriebe bildeten. In sehr dünnen Beständen waren bis zu 4 Seitentriebe zu beobachten. Die Seitentriebe hatten den gleichen Hülsenansatz wie die Haupttriebe und trugen damit ganz erheblich zur Ertragsbildung bei. Dies ist der Hauptgrund warum bei den Sojabohnen zwischen den dichten und dünnen Beständen im Ertrag kein Unterschied besteht. Im Vergleich mit der ebenfalls wärmeliebenden Fruchtart Mais verfügt die Sojabohne bei schlechtem Feldaufgang über ein wesentlich höheres Kompensationsvermögen als der Mais.

Anders war die Situation bei der Sorte 2. Zwischen den beiden Standorten Rotthalmünster und Oberhummel wurden sehr große Ertragsunterschiede festgestellt. Besonders auffallend war der niedrige Ertrag am Standort Oberhummel. Ursache dafür war, dass Mitte Juni zur Blütezeit die Temperaturen unter 15 °C lagen und die Sojabohnen die Blüten in diesem Zeitraum abwarfen. Dies führte zu dem Ertragsrückgang. In Rotthalmünster, einer Gunstlage des Rottals, kam es nicht zum Blütenabwurf und daher auch zu keinem Ertragseinbruch. Die Saatgutpartie mit der niedrigen Saatgutqualität und einem Feldaufgang von nur 47 % lag im Ertrag deutlich unter den Parteien mit den besseren Saatgutqualitäten.

2012 wurde der Versuch im 2.ten Jahr angebaut. Die Triebkraftwerte bei der Sorte 1 lagen wie 2011 um ca. 6 % unter den Keimergebnissen (Tab. 2).

Tab2: Keimfähigkeit, Triebkraft, Feldaufgang und Ertrag von 2 Sojabohnensorten mit jeweils 3 unterschiedlichen Saatgutqualitäten auf dem Standort Oberhummel, 2012

Sorte	Keimfähigkeit (%)	Triebkraft (%)	Feldaufgang (%)		Ertrag (dt/ha)	
			Oberhummel	Rotthalmünster	Oberhummel	Rotthalmünster
1	90	86	81		50	
1	88	80	82	nicht auswertbar, wegen schlechtem Feldaufgang	51	
1	82	76	80		52	
2	85	69	78		53	
2	85	69	66		56	
2	81	69	73		56	

Bei der Sorte 2 waren die Triebkrafteergebnisse um mehr als 10 % unter den Keimergebnissen.

Die Versuche konnten Ende April bei günstigen, sehr warmen, aber eher trockenen Bedingungen ausgesät werden. Am Standort Oberhummel waren die Sojabohnen bereits nach einer Woche aufgelaufen. Die Triebkraft war nicht besonders gefordert. Der Feldaufgang am Standort Rotthalmünster war mit ca. 50 % völlig unbefriedigend. Auch nach dem Regen verbesserte sich der Feldaufgang nicht wesentlich, sodass der Standort Rotthalmünster aus der

Wertung herausgenommen wurde. Der Feldaufgang in Oberhummel lag 2012, wie auch 2011, näher an den Triebkraftwerten als an den Keimfähigkeitswerten. Die Unterschiede zwischen den Saatgutqualitäten bei den Saatgutpartien der Sorte 1 als auch bei den Saatgutpartien der Sorte 2 waren gering, sodass keine großen Unterschiede im Feldaufgang erwartet werden konnten und auch nicht auftraten. Der Feldaufgang war bei der Sorte 1 höher als bei der Sorte 2. Beim Ertrag war es umgekehrt.

Das 3.te Versuchsjahr war im Frühjahr überwiegend nass und kalt. Die Saat erfolgte Ende April und der Auflauf war sehr zögerlich. Die ungünstigen Witterungsverhältnisse spiegeln sich im Feldaufgang wider. Der Feldaufgang liegt im Einzelfall um mehr als 20 % unter dem Triebkraftwert (Tab. 3). Besonders interessant ist, ob in einem ungünstigen Jahr wie 2013 die dünnen Bestände im Ertrag nicht abfallen. Zum Zeitpunkt der Berichterstellung lagen noch keine Ertragsergebnisse vor.

Tab3: Keimfähigkeit, Triebkraft, Feldaufgang und Ertrag von 2 Sojabohnensorten mit jeweils 3 unterschiedlichen Saatgutqualitäten auf den Standorten Oberhummel und Rotthalmünster, 2013

Sorte	Keimfähigkeit (%)	Triebkraft (%)	Feldaufgang (%)		Ertrag (dt/ha)	
			Oberhummel	Rotthalmünster	Oberhummel	Rotthalmünster
1	89	82	83	70		
1	80	70	74	67		Ertrag noch
1	74	68	61	72		nicht ermittelt
2	94	71	69	65		
2	87	59	34	52		
2	77	64	54	62		

4. Zusammenfassung

Die Triebkraftmethode von Mais scheint nach ersten Versuchen auf Sojabohnen übertragbar zu sein. Mit der Triebkraftuntersuchung lassen sich schwache Saatgutpartien erkennen. Der Feldaufgang liegt deutlich näher an den Triebkraftwerten als an den Keimfähigkeitswerten.

Erstaunlich war, dass bei keim schwachen Saatgutpartien mit schlechterem Feldaufgang entweder überhaupt kein Ertragsabfall oder deutlich geringer als erwartet auftrat. Bei schlechtem Feldaufgang verfügt die Sojabohne mit der Bildung von Seitentrieben über ein hohes Kompensationsvermögen.

5. Literaturangaben

International Seed Testing Association (ISTA), 2013: International Rules for Seed Testing (Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut). Zürich, Schweiz.

International Seed Testing Association (ISTA), 1995: Handbook of Vigour Test Methods. Zürich, Schweiz.

Rutz, H-W., Freudenstein, H., 2010: Sorten- und Saatgutrecht. 12. Auflage, Agrimedia Verlag.

Voit, B., Schnellhammer, R., Eder, J., Killermann, B., 2010: Einfluss von Keimfähigkeit und Triebkraft auf den Feldaufgang von Mais. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 66, 560-565, Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Minimierung des Aussaatrisikos mit Hilfe des Radicle-Emergence-Tests (Keimwurzeltest) bei Mais im mitteldeutschen Trockengebiet

U. Gierke

LLFG Sachsen-Anhalt, Halle/Saale

1. Einleitung

Der Keimwurzeltest (RE- Test) bei Mais ist seit 2012 in den International Rules for Seed Testing der ISTA (International Seed Testing Association) veröffentlicht (ISTA, 2012). Damit ist es möglich, dass Saatgutlabore, die diesen Test in ihrem Akkreditierungsumfang enthalten, „Internationale Orange ISTA-Berichte“ über eine entsprechend untersuchte Maispartie ausstellen. Inwieweit der Empfänger der Saatgutpartie das Ergebnis einer solchen Triebkraftuntersuchung zur Steuerung des Aussaatrisikos bei Mais im mitteldeutschen Trockengebiet verwenden kann, soll in dieser Studie überprüft werden. Parallel sollen die Ergebnisse des Kalttests mit Erde (Hampton und TeKrony, 1995) in die Betrachtungen mit einfließen. Aufgrund der teilweise sehr geringen Niederschlagsmengen im Frühjahr bzw. im Vorsommer, kann eine möglichst zeitige Maisaussaat am besten den Bodenwasservorrat der Lößböden im mitteldeutschen Trockengebiet aus dem Winterhalbjahr nutzen. Bei einer hohen Triebkraft des Saatguts würden theoretisch auch kühlere Phasen unmittelbar nach der Aussaat verkraftet werden, ohne dass es zu einem stark reduzierten Feldaufgang kommt.

2. Material und Methoden

Insgesamt wurden 25 gebeizte im Saatgutverkehr befindliche Maispartien im Labor auf Keimfähigkeit und Triebkraft (Kalttest mit Erde und Radicle Emergence Test) geprüft. Weiterhin wurde an drei Standorten der Feldaufgang der Partien festgestellt.

2.1 Laborversuche

- Keimfähigkeit (KF): 4 x 100 Samen, Keimrolle aus 2 Bahnen Filterpapier (180 g/m²), 7 Tage bei 20 °C (Toleranz \pm 2 °C), Feststellung der „**Normal**

Gekeimten Samen“

- Kalttest mit Erde: 4 x 100 Körner, Keimrolle wie oben aber mit Erde vom Maisfeld (sandiger Lehm, Wassersättigung 50 % WK), 7 Tage bei 10 °C und 5 Tage bei 25 °C (Toleranz ±0,5°C), Feststellung der „**Triebkräftigen** Samen“
- Radicle Emergence Test (Keimwurzeltest): 8 x 25 Samen, Keimrolle aus 2 Bahnen Filterpapier (145 g/m²)
- Variante 1 (RE 20 °C) – 66 Stunden bei 20 °C (Toleranz ± 1 °C)
- Variante 2 (RE 13 °C) – 144 Stunden bei 13 °C (Toleranz ± 1°C)
- Hausvariante (RE 20 ⇔ 5 °C) – 96 Stunden (16 h/d warm ⇔ 8 h/d kalt) bei Wechseltemperatur 20 ⇔ 5 °C (Toleranz ± 1°C)
- Beurteilung nur der **Keimwurzellänge** (Samen mit einer Keimwurzellänge von mindestens 2 mm gelten als **triebkräftig**)

Mit der laboreigenen Variante des RE-Tests soll der Tatsache Rechnung getragen werden, dass zur Zeit der Maisaussaat im mitteldeutschen Trockengebiet teilweise große Differenzen zwischen den Tag- und Nachttemperaturen herrschen.

2.2 Feldversuche

- Feldaufgang: Aussaat der 25 Maispartien an 3 Standorten zu den jeweils ortsüblichen Terminen, 1 Parzelle je Partie, 4 Reihen je Parzelle, Festlegung von Zählstrecken (1 m/Reihe), Endauszählung nach 28 Tagen, Ermittlung des Feldaufgangs in % vom Sollwert (Pflanzen je laufenden Meter)
- Standorte: Die Standorte Bernburg und Walbeck befinden sich im mitteldeutschen Trockengebiet. Der Standort Gadegast liegt etwas außerhalb weiter östlich im südlichen Fläming (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Beschreibung der Versuchsstandorte

Standort	Bernburg	Walbeck	Gadegast
Bodenart	Lehm (L)	Lehm (L)	lehmiger Sand (IS)
Ackerzahl	90	70-80	33-40
Höhenlage (m)	80	240	93
Temperatur langjähriges Mittel (°C)	9,1	8,6	8,7
Niederschlagssumme langjähriges Mittel (mm)	469	491	574

3. Ergebnisse

Bei der Gegenüberstellung sämtlicher Laborergebnisse wurden die Werte nach den Keimfähigkeitsergebnissen geordnet (Tab. 2). Die einzelnen Partien zeigen, dass die Ergebnisse zwischen den Triebkraftmethoden im Bereich der Keimfähigkeiten unter 94 % stärker variieren als im höheren Keimfähigkeitsbereich. Dies trifft vor allem auch bei der Betrachtung der Keimwurzeltest untereinander zu. Eine Sortierung der Partien nach den Triebkraftergebnissen würde zwischen den einzelnen Triebkraftmethoden teilweise eine sehr unterschiedliche Rangfolge ergeben (Klammerwerte in Tabelle 2). Hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang die Partien 20, 22, 8, 18 und 19.

Beim Keimwurzeltest bei 20 °C (RE 20 °C) fällt auf, dass eine Vielzahl der Werte höher ausfallen, als die Keimfähigkeitswerte. Dies trifft in nicht ganz so starker Häufigkeit auch beim Keimwurzeltest bei 13 °C zu (RE 13 °C).

Die Ergebnisse des Feldaufgangs fallen im Vergleich der drei Standorte naturgemäß unterschiedlich aus (Tab. 3). Auch hier wurden die Partien nach den Keimfähigkeitswerten geordnet. Die fehlenden Werte am Standort Bernburg sind durch Wildschäden begründet. Es wird deutlich, dass am Standort Gadegast bei fast allen Partien niedrigere Werte im Vergleich zu Bernburg und Walbeck erreicht wurden. Parallel sind in diesem Zusammenhang die Witterungsverläufe während der Keim- und Feldaufgangsphase zu betrachten (Abb. 1). Die Niederschlagsmengen am Standort Gadegast sind in der ersten Hälfte des Messzeitraums deutlich höher als an den anderen Standorten. Dies führt zu einer starken Verschlämmung der Bodenoberfläche, was sich nachteilig für den Gasaustausch im Keimhorizont auswirkt und aufgrund der geringen Quell- und Schrumpfungsdynamik dieses tonarmen Bodens über den gesamten Messzeitraum erhalten bleibt bzw. durch ein Starkregenereignis im letzten Drittel sogar noch verstärkt wird.

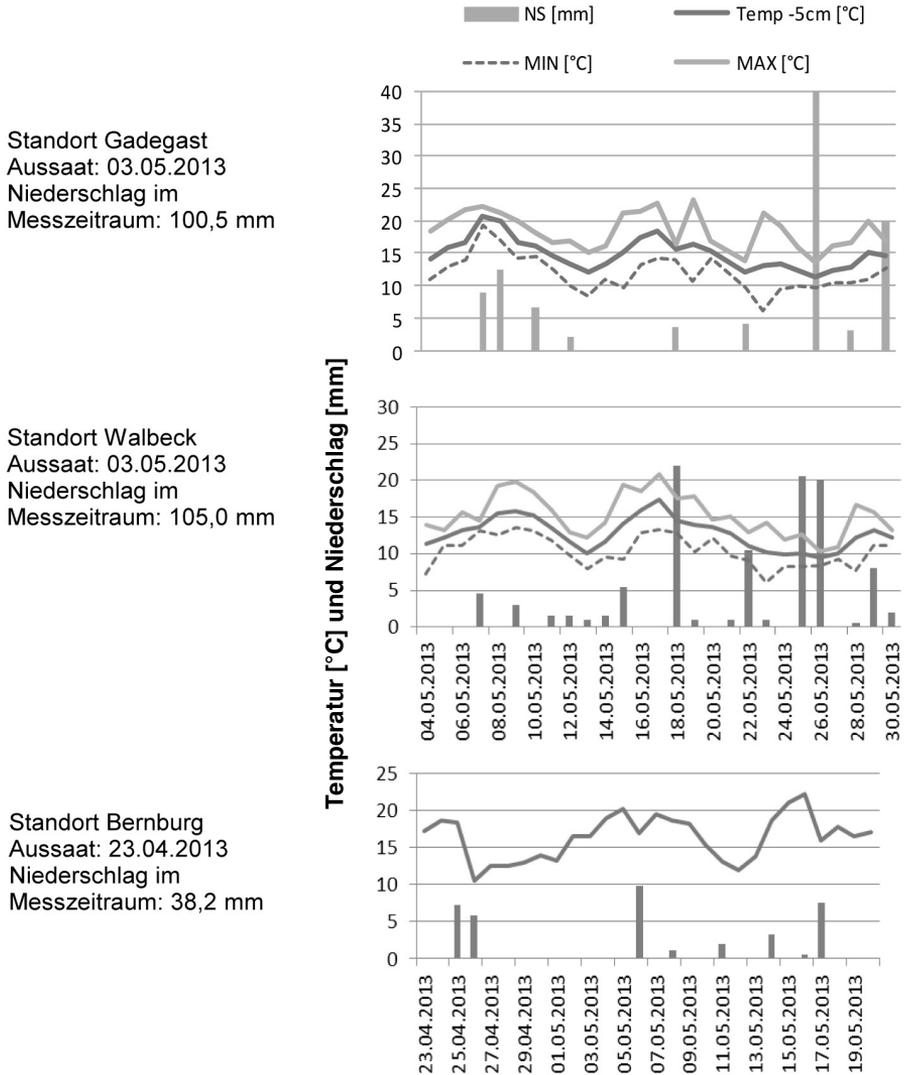


Abb. 1: Bodentemperaturverlauf in 5 cm Tiefe und Niederschlag von der Aussaat bis zur Abschlusszählung des Feldaufgangs an den Versuchstandorten

Tab. 2: Ergebnisse der Laborversuche geordnet nach der Keimfähigkeit, die in Klammern gesetzten Werte ergeben den der Triebkraft entsprechenden Rang

Partie	KF [%]	Kalttestmit Erde [%]	RE 20 °C [%]	RE 13 °C [%]	RE 20/5 °C [%]
2	98	91 (8)	97 (3)	90 (8)	93 (8)
4	98	98 (1)	99 (1)	98 (3)	96 (5)
6	98	96 (3)	99 (1)	94 (6)	93 (8)
13	98	97 (2)	99 (1)	98 (3)	97 (4)
3	97	95 (5)	99 (1)	99 (2)	98 (3)
5	97	96 (4)	99 (1)	100 (1)	100 (1)
11	97	97 (2)	99 (1)	98 (3)	96 (5)
12	97	98 (1)	97 (3)	98 (3)	99 (2)
15	97	96 (4)	98 (2)	95 (5)	95 (6)
14	96	95 (5)	98 (2)	99 (2)	96 (5)
17	96	98 (1)	97 (3)	95 (5)	95 (6)
16	94	92 (7)	94 (6)	92 (7)	94 (7)
23	94	96 (4)	97 (3)	97 (4)	94 (7)
20	93	93 (6)	96 (4)	90 (8)	81 (12)
7	92	79 (12)	77 (11)	15 (16)	63 (13)
9	92	76 (13)	95 (5)	66 (11)	90 (10)
22	92	92 (7)	86 (10)	0 (18)	11 (17)
24	91	96 (4)	93 (7)	84 (9)	91 (9)
1	90	88 (9)	94 (6)	92 (7)	90 (10)
8	90	65 (15)	96 (4)	59 (12)	89 (11)
18	89	87 (10)	87 (9)	34 (15)	35 (16)
25	89	86 (11)	93 (7)	52 (14)	43 (15)
19	88	79 (12)	93 (7)	55 (13)	58 (14)
10	84	73 (14)	92 (8)	70 (10)	91 (9)
21	65	46 (16)	75 (12)	4 (17)	9 (19)

Tab. 3: Feldaufgangsraten an 3 Standorten geordnet nach den Keimfähigkeitswerten

Partie	KF[%]	FABernburg[%]	FAWalbeck[%]	FAGadegast[%]
2	98		87,4	84,6
4	98		92,7	80,8
6	98		73,4	65,4
13	98		94,4	92,3
3	97		90,9	78,8
5	97		83,9	76,9
11	97	95,0	78,7	78,8
12	97	97,5	99,7	94,2
15	97		66,4	71,2
14	96		89,2	84,6
17	96		83,9	78,8
16	94		85,7	82,7
23	94	95,0	90,9	86,5
20	93		82,2	65,4
7	92	60,0	69,9	59,6
9	92	80,0	71,7	53,8
22	92	87,5	90,9	92,3
24	91	82,5	83,9	80,8
1	90		85,7	82,7
8	90	73,0	73,4	57,7
18	89	82,5	87,4	53,8
25	89	75,0	92,7	73,1
19	88		85,7	76,9
10	84	85,0	62,9	71,2
21	65		68,2	55,8

4. Diskussion

Es soll mit Hilfe der Korrelationsanalyse geklärt werden, in welchem Maße Zusammenhänge zwischen dem Merkmal Triebkraft nach Kalttest und dem Merkmal Triebkraft nach den 3 unterschiedlichen Keimwurzeltests bestehen. Bei einer Signifikanzschranke $\alpha = 5\%$ können mit Hilfe des t-Tests statistisch gesicherte Korrelationskoeffizienten zwischen dem Kalttest mit Erde und allen 3 Keimwurzeltests ermittelt werden (Tab. 4).

Trotz dieser Korrelationen bleibt das Problem, dass das Ergebnis eines einzelnen Triebkrafttests ein unvollständiges Bild über die Aussaateignung einer Maispartie hervorbringen kann, vor allem wenn diesbezüglich eine Rangfolge von Partien aufgestellt werden soll, um eventuell Aussaattermine zu staffeln. Im Gegensatz zum Kalttest mit Erde, bei dem neben dem Wurzelsystem auch die Entwicklung der Koleoptile und der Keimblätter zur Beurteilung herangezogen werden, entscheidet beim Keimwurzeltest ausschließlich das Erreichen einer Keimwurzellänge von 2 mm über die Einteilung in triebkräftige und nicht triebkräftige Samen. Da beim Keimwurzeltest sowohl ein strenges Temperatur- vor allem auch Zeitregime vorgegeben ist, kann die Sensibilität der Methode schnell zu Rangverschiebungen der Partien zwischen den einzelnen Keimwurzeltests führen (Tab. 2). Diese Gefahr ist bei einem Wechseltemperaturregime erwartungsgemäß höher als bei konstanten Temperaturregimes, da eine zusätzliche Einflusskomponente innerhalb eines Ursachenkomplexes auf das Ergebnis wirkt. In diesem Zusammenhang muss auch erwähnt werden, dass der Einfluss der unterschiedlichen Saatgutbeizen der zufällig ausgewählten 25 Maispartien in dieser Studie nicht weiter untersucht wurde.

Tab. 4: Korrelationskoeffizienten zwischen dem Kalttest mit Erde und den Keimwurzeltests (*Signifikanzschranke $\alpha = 5\%$, $n = 25$)

Methode	Kalttest m. Erde
RE 20 °C	0,68*
RE 13 °C	0,68*
RE 20 \Leftrightarrow 5 °C	0,54*

Will man den Zusammenhang zwischen den Triebkrafteergebnissen und dem Feldaufgang quantifizieren, können bei einer Signifikanzschranke bei $\alpha = 5\%$

nur die Korrelationskoeffizienten zwischen dem Kalttest mit Erde und dem Feldaufgang an allen 3 Standorten statistisch gesichert werden (Tab. 5). Bei den ISTA- Methoden RE 20 °C und RE 13 °C trifft dies nur am Standort Bernburg zu. Die Korrelationskoeffizienten zwischen der Hausmethode RE 20 ó 5 °C und dem Feldaufgang können bei $\alpha = 5\%$ an keinem Standort statistisch gesichert werden. Trotz der signifikanten Korrelationskoeffizienten ist allerdings einzuschränken, dass es sich bei den 25 (11 am Standort Bernburg) untersuchten Partien um einen nicht sehr ausgeprägten Zusammenhang zwischen Triebkraft und Feldaufgang handelt.

Tab. 5: Korrelationskoeffizienten zwischen den Triebkraftmethoden und dem Feldaufgang (*Signifikanzschranke $\alpha = 0,05\%$, $n = 11$ am Standort Bernburg, $n = 25$ in Walbeck und Gadegast)

Triebkraftmethode	Standorte		
	FABernburg	FAWalbeck	FAGadegast
Kalttest m. Erde	0,66*	0,58*	0,65*
RE 20 °C	0,67*	0,36	0,45
RE 13 °C	0,62*	0,28	0,45
RE 20 \leftrightarrow 5 °C	0,28	0,06	0,31

5. Zusammenfassung

Der ISTA- validierte RE-Test kann in zwei Temperaturbereichen durchgeführt werden: $20 \pm 1\text{ °C}$, 66 Stunden oder $13 \pm 1\text{ °C}$, 6 Tage. Beide Varianten, der Kalttest mit Erde und eine weitere laboreigene Variante des RE- Tests (Wechseltemperatur $20 \leftrightarrow 5\text{ °C}$, jeweils mit $\pm 1\text{ °C}$ Toleranz) wurden untereinander und mit den Feldaufgangsraten der untersuchten Maispartien an 3 Versuchsstandorten in Beziehung gesetzt.

1. Die vier verschiedenen Triebkraftmethoden erbrachten unterschiedliche Rangfolgen hinsichtlich der Qualitätseinstufung. Die Ursache für diese Unterschiede sind möglicherweise im unterschiedlichen Beurteilungskriterium zur Triebkraft zu suchen (Kalttest – ganzer Keimling, RE-Test – nur die Keimwurzel) und der sensiblen Testregimes hinsichtlich der Keimwurzelausträgung.
2. Die drei RE-Tests korrelieren statistisch gesichert mit dem Kalttest. Die Ausprägung des Zusammenhangs zwischen Kalttest und den beiden ISTA-

validierten RE-Tests ist auf einheitlichem Niveau und fällt besser aus als der Zusammenhang zwischen Kalttest und der Hausmethode mit Wechseltemperatur.

3. Nur zwischen dem Kalttest und dem Feldaufgang an allen drei Versuchstandorten ist eine signifikante Korrelation festzustellen, wenn auch nur auf mittlerem Niveau. Die ISTA- validierten RE-Tests korrelieren signifikant nur an einem Standort mit dem Feldaufgang. Bei der Hausvariante können keine signifikanten Korrelationen zum Feldaufgang festgestellt werden.

Triebkraftmethoden können im Vergleich zur jeweils aktuellen Situation während der Keimphase auf dem Feld nur einen sehr begrenzten Ausschnitt aus dem Ursachenkomplex zum Feldaufgang darstellen. Beim Radicle Emergence Test ist dieser Ausschnitt sehr stark reduziert zugunsten einer guten Standardisierung der Testbedingungen.

Die vorliegende Studie zeigt, dass der Kalttest mit Erde, insbesondere aber die beiden Radicle Emergence Tests der ISTA nur bedingt zur Steuerung des Aussaatrisikos von Maispartien im mitteldeutschen Trockengebiet geeignet sind. Selbst die Erstellung einer einheitlichen Rangfolge der untersuchten Partien mit Hilfe der verwendeten Tests gelingt nur vereinzelt. Eine kombinierte Betrachtung der Testmethoden würde umfassendere Interpretationen zur Qualität der einzelnen Saatgutpartien ermöglichen, wäre vom Aufwand her aber nicht zu vertreten.

6. Literaturangaben

Hampton, J.G., TeKrony, D.M., 1995: Handbook of Vigour Test Methods. The International Seed Testing Association (ISTA), Switzerland.

ISTA, 2012: International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association (ISTA), Switzerland.

Unterscheidung von zwei- und mehrzeiligen Gerstensorten mit der Fluidigm-Technik

B. Killermann, M. Diethelm, G. Schweizer, B. Voit

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising

1. Einleitung

Ein altes Problem das immer wieder aktuell werden kann, ist die Unterscheidung von zwei- und mehrzeiliger Gerste. In der Saatgutverordnung (SaatgutV) sind die zulässigen Grenzwerte für anderszeilige Gersten im Rahmen der Feldbesichtigung und Beschaffenheitsprüfung festgelegt, dennoch werden sowohl in der Feldbesichtigung als auch in der Beschaffenheitsprüfung Vermischungen festgestellt. Ursachen hierfür können das Nicht-Erkennen bei der Feldbesichtigung, der überbetriebliche Maschineneinsatz (z. B. Mähdröschler) als auch eine zu geringe Sorgfalt bei der Aufbereitung von zwei- und mehrzeiliger Gersten im gleichen Betrieb sein.

Eine Unterscheidung von zwei- und mehrzeiliger Gersten ist anhand morphologischer, biochemischer und molekularer Marker möglich. Bei der Unterscheidung mit morphologischen Markern am Einzelkorn sind eine langjährige Erfahrung in der Routineanalytik und ein hoher Schulungsaufwand notwendig. Zudem ist eine Unterscheidung in der Beschaffenheitsprüfung nicht mit letzter Sicherheit möglich, insbesondere unter Zeitdruck in der Untersuchungsaison.

Beim Einsatz von biochemischen Markern ist die Proteinelektrophorese der Speicherproteine zu nennen. Werden molekulare Marker eingesetzt, kann auf eine große Vielfalt wie SSR-, InDel-, CAPS und SNP-Marker zurückgegriffen werden. Insbesondere die Entwicklung von SNP-Markern und der damit einhergehenden Marker-Technologien und Plattformen haben einen rasanten Fortschritt erfahren und können mittlerweile als Routine-Technologie angesehen werden.

2. Material und Methoden

Das Potenzial phänotypische Marker mit molekularen Markern zu ersetzen bzw. zu ergänzen wurde früh erkannt. Große Züchtungsfirmen verwenden eine

Vielzahl von merkmalsgekoppelten Markern für ihre markergestützten Selektionsprogramme und Samenbanken setzen die molekularen Marker zum Screenen von pflanzengenetischen Ressourcen ein. Internationale Organisationen, wie z. B. die UPOV (Union for Protection of new Varieties), die ISTA (International Seed Testing Association) und die OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) haben Arbeitsgruppen eingerichtet, die sich mit der Entwicklung und dem Einsatz von biochemischen und molekularen Markern befassen.

Die Zeiligkeit ist ein wichtiges Ertragsmerkmal in der Gerstenzüchtung, das durch den Genlocus *VRS1* kontrolliert wird. Bei der Gerste werden auf jeder Spindelstufe 3 Blütchen ausgebildet. Sind die lateralen Ährchen steril ist die Gerste zweizeilig, sind die lateralen Ährchen jedoch fertil handelt es sich um eine mehrzeilige Gerste. Die Zweizeiligkeit wird genetisch determiniert durch das dominante Allel *Vrs1* (= Wildtyp). Die zweizeiligen Gersten müssen somit bezüglich aller untersuchten Allele den Wildtyp für *Vrs1* aufweisen. Die Mehrzeiligkeit wird u. a. genetisch determiniert durch die rezessiven Allele wie *vrs1*, *a1*, *vrs1.a2* und *vrs1.a3*. Wird nur eines dieser Allele rezessiv vererbt, bildet die Gerste eine mehrzeilige Ähre aus. Weitere Allele sind in der Literatur beschrieben, spielen im zugelassenen bzw. untersuchten Sortenspektrum bislang aber keine Rolle.

Die Gerste steht an 4ter Stelle der Welt-Getreideproduktion. Sie wird eingesetzt in der menschlichen Ernährung, der Tierfütterung und der Brauwirtschaft. Sie ist damit von großer wirtschaftlicher Bedeutung und gleichzeitig auch Modellpflanze für genomische Analysen und Methodenentwicklung im Getreide, sodass eine große Anzahl merkmalsgekoppelter Marker für die Selektion in Züchtungsprogrammen vorliegen.

Bei den molekularen Marken unterscheidet man zwischen "perfekten" und "assozierten" Markern. Perfekte Marker steuern die Merkmalsausprägung, d. h. die phänotypische Eigenschaft wird zu 100 % vorausgesagt. Bei assoziierten Markern besteht lediglich ein Zusammenhang mit der Eigenschaft, der unterschiedlich eng oder weit sein kann. Der Marker für die Zeiligkeit ist ein perfekter Marker und zudem ein SNP-Marker (single nucleotide polymorphism), d. h. er erfüllt die Anforderungen für (1) eine markergestützte Selektion und (2) auch für den Einsatz in der Fluidigm Technik (Komatsuda et al., 2007; Cockram et al., 2012).

Die Voraussetzung für die Anwendung der Fluidigm-Technik sind SNP-Marker. In der Regel ist die Konvertierung anderer molekularer Marker in SNP-Marker möglich. Die Markeranalyse an der LfL erfolgt mit dem Fluidigm-System „Fluidigm-EP1“, es besteht aus Loader, Thermocycler und Reader sowie den dazugehörigen Mikrotiterplatten „DYNAMIC 192 x 24 ARRAY“. Diese bieten die Möglichkeit in einem Ansatz 192 Proben (184 DNA-Proben und 8 Blindproben) gleichzeitig mit 24 Markern zu screenen. Die Mikrotiterplatten werden im Labor mit den entsprechenden Markern (Primeransätze), den DNA- und Blindproben bestückt. Die PCR läuft dann automatisch in der 192 x 24 Array-Platte parallel für alle 4608 PCR-Reaktionen ab. Im Gegensatz zur klassischen Gel-PCR erfolgt die Visualisierung des Ergebnisses mit Fluoreszenzfarbstoff markierten Primern. Für jeden Marker wird das Ergebnis in einem eigenen Diagramm dargestellt (Abb. 1).

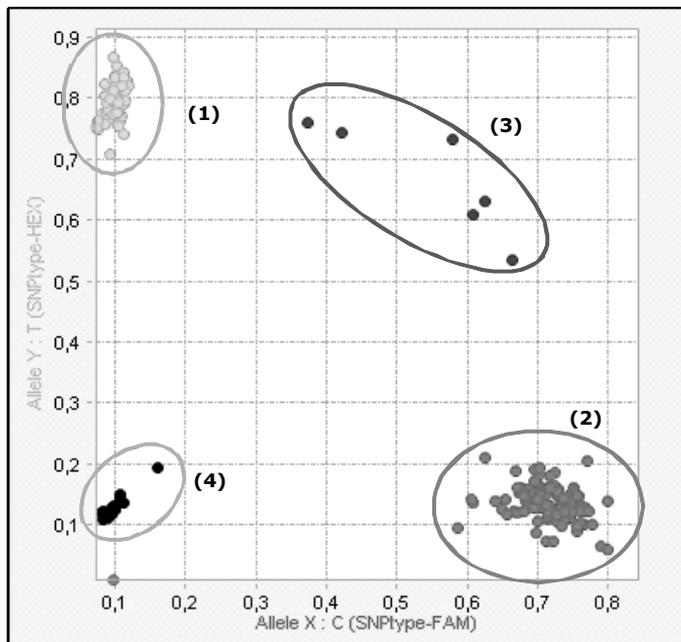


Abb. 1: Ergebnisdiagramm des Markers *vrs1.a2* für die Zeiligkeit: (1) = mehrzeilige Gersten, (2) = zweizeilige Gersten, (3) = Vermischungen/Heterozygote, (4) = Blindproben

Insgesamt wurden 157 Gerstensorten aus 12 Herkunftsländern (Österreich, Australien, Brasilien, Canada, Deutschland Dänemark, Frankreich, Großbritannien, Norwegen, Polen, Slowakei, United States) untersucht.

3. Ergebnis

Von den untersuchten 157 Gerstensorten aus den 12 Herkunftsländern konnten mit den Markern für die Allele *vrs1.a1*, *vrs1.a2* und *vrs1.a3* alle Gersten bezüglich ihrer Zeiligkeit richtig eingestuft werden. Sogenannte „No calls“ lieferten aufgrund von sehr schlechter DNA-Qualität kein Ergebnis. Nach erneuter DNA Extraktion konnte auch hier die entsprechende Zeiligkeit eindeutig nachgewiesen werden. In den vier Datenwolken der Abbildung 1 sind die zwei- und mehrzeiligen Gersten, die Vermischungen und/oder heterozygoten Gersten sowie die Blindproben für den Marker *vrs1.a2* dargestellt.

4. Zusammenfassung

Zur Unterscheidung von zwei- und mehrzeiligen Gersten kann die Fluidigm Technik verwendet werden. Die Voraussetzung für die Anwendung dieser Technik sind SNP-Marker. Da es sich bei der Zeiligkeit um „perfekte“ SNP-Marker handelt konnten alle 157 Sorten richtig eingestuft werden. Vermischungen und heterozygote Gersten können keiner Zeiligkeit zugeordnet werden. Die Fluidigm Technik ist eine sehr schnelle und effiziente Technik, sie eignet sich zur hochparallelen Analyse von 184 Untersuchungsproben (DNA-Proben) mit 24 Markern gleichzeitig (= 4416 Datenpunkte) und die Ergebnisbereitstellung erfolgt bei vorhandener DNA am selben Tag. Für die DNA-Isolation am Keimling ist eine Anzucht der Körner von 3-4 Tagen geeignet. Eine DNA-Isolation direkt aus dem Korn ist zu prüfen. Bei einem hohen Probendurchsatz kann diese SNP Plattform eingesetzt werden, zudem können bei der Verwendung des 24er Arrays noch bis zu 20 weitere Merkmale (SNP-Marker) mitgeprüft werden. Bei einem geringen Probenaufwand ist jedoch der Pyrosequenzierung mit einem „Multiplex-Ansatz“ der Vorzug zu geben, d. h. 3 PCR Reaktionen in einer Reaktion wobei sich die Primer nicht beeinflussen dürfen (Killermann et al., 2011).

Mehrere große Firmen bieten die Marktentwicklung und Untersuchung auf SNP Plattformen an, wobei die Kosten in Abhängigkeit vom Marker Verhandlungsbasis sind.

5. Literaturangaben

- Cockram, J., Huw, J., Norris, C., M. O'Sullivan, D., 2012: Evaluation of a diagnostic molecular marker for DUS phenotypic assessment in the cereal crop barley (*Hordeum vulgare* ssp. *Vulgare* L.). *Theor Appl Genet* 125: 1735-1749.
- Killermann, B., Diethelm, M., Jestadt, A., Schweizer, G., Voit, B., 2011: Unterscheidung von zwei- und mehrzeiliger Gerste mittels Pyrosequenzierung von Punktmutationen. *VDLUFA Schriftenreihe Bd. 67*, 454-459, Kongressband 2011 Speyer, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Komadsuda, T., Pourkheirandish, M., He, C., Azhaguvel, P., Kanamori, H., Perovic, D., Stein, N., Graner, A., Wicker, T., Tagiri, A., Lundquist, U., Fujimura, T., Matsuoka, M., Matsumoto, T., Yano, M., 2007: Six-rowed barley originated from a mutation in a homeodomain-leucine zipper I-class homeobox gene. *PNAS*, Vol. 104(4), 1424-1429.

6. Danke

Ich danke Manuela Diethelm und Günther Schweizer von der AG Genomanalyse der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, für die Durchführung dieser Untersuchungen.

Infektionsfähigkeit von Steinbrand- (*Tilletia caries*) und Zwergsteinbrandsporen (*Tilletia controversa*) im Boden und Stallmist unter Berücksichtigung verschiedener Fruchtfolgen in Biobetrieben

R. Bauer¹, B. Voit¹, B. Killermann¹, K.-J. Hülsbergen²

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, ²TU-München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Freising

1. Einleitung

Steinbrand und Zwergsteinbrand sind die gefährlichsten Krankheiten im ökologischen Weizen- und Dinkelanbau. Bei starkem Befall stellen sich die Landwirte die Frage, ob der Weizenanbau vorübergehend eingestellt werden muss oder wie viele Jahre auf dem befallenen Feld kein Weizen angebaut werden soll. Zur Beantwortung dieser Fragen wird im Rahmen eines dreijährigen Forschungsprojekts untersucht, inwieweit sich durch eine entsprechende Fruchtfolgegestaltung das Brandsporenpotenzial im Boden reduzieren lässt. Zusätzlich wird überprüft, ob der Zwischenfruchtanbau mit Senf zur Reduzierung der Infektionsfähigkeit des Brandsporenpotenzials im Boden beiträgt (Biofumigation). Darüber hinaus wird der Einfluss von Stallmist auf die Brandsporen im Boden untersucht. Zudem wird die Veränderung der Sporenzahl in gelagertem Stallmist über einen längeren Zeitraum ermittelt.

2. Material und Methoden

Auf Flächen von drei ökologisch bewirtschafteten Betrieben in Bayern (Oberndorf, Obbach, Wolfersdorf), die in den letzten Jahren einen Befall mit Brandkrankheiten aufwiesen, werden die randomisierten Fruchtfolgeversuche einschließlich Zwischenfruchtanbau mit Senf sowie Mistausbringung durchgeführt. Die Fruchtfolgen sind zweigeteilt, d. h. bei dem einen Teil ist der Schwerpunkt Klee gras und der andere Teil enthält Erbsen als Leguminosen-Anteil.

Von allen Parzellen werden halbjährlich Bodenproben gezogen, getrocknet und gemahlen. Anschließend werden die Sporen mittels Nass-Siebverfahren (Dressler et al., 2011) und Sedimentation isoliert und die Sporenzahl auf einem

Filter bestimmt. Die Keimfähigkeit der Sporen wird untersucht durch Übertragung der Sporen von den Filtern auf Nährböden aus Wasseragar (Wilcoxson et al., 1996). Die Veränderung des Sporenpotenzials im gelagerten Stallmist, der von den jeweiligen Biobetrieben stammt, wird halbjährlich festgestellt.

3. Ergebnisse

Die im Labor entwickelte Isolierungsmethode zur Bestimmung der Sporenzahl im Boden wies bei einem Zusatz von ca. 100 Zwergsteinbrandsporen zu einer definierten Menge sporenfreien Bodens eine Wiederfindungsrate von über 50 % auf und übertraf damit andere in der Literatur beschriebene Methoden zur Sporenisolierung. So haben Babadoost und Mathre (1998) von etwa 100 einer Bodenprobe zugesetzten Zwergsteinbrandsporen 19,3 % wiedergefunden. Die Wiederfindungsrate von Steinbrandsporen betrug 25 %, da Steinbrandsporen im Mittel etwas kleiner sind als Zwergsteinbrandsporen und in der Folge bei den Siebschritten ein größerer Teil verloren geht.

Gründe, warum nicht alle Sporen im Boden erfasst werden, sind unter anderem in der festen Haftung der Brandsporen an Bodenpartikeln zu suchen. Bisher durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass die Wiederfindungsrate nicht von der Bodenart abzuhängen scheint. Ein Teil der Sporen bleibt in den Maschen des kleinsten Siebs mit der Maschenweite von 15 μm hängen und wird erst bei der anschließenden Reinigung freigesetzt. Ein Sieb mit kleinerer Maschenweite kann unter vorliegenden Laborbedingungen nicht eingesetzt werden, da ein Wasserdurchfluss bei zu engen Maschen nicht mehr stattfindet. Die spezifische Dichte der Brandsporen ist ebenfalls nicht einheitlich. Das führt beim Sedimentations- und Zentrifugationsprozess dazu, dass ein Teil der Sporen mit zu hoher spezifischer Dichte nicht erfasst werden kann.

Interessante Ergebnisse wurden beim Stallmist festgestellt (Abb. 1). Von jedem Standort (= Betrieb) wurden Durchschnittsproben vom Stallmistlager entnommen und in einem Sack aufbewahrt. Untersucht wurde der Stallmist im Herbst 2011 unmittelbar nach der Probennahme, ein halbes Jahr später im Frühjahr 2012 und im Herbst 2012. Beim Steinbrand wurde im Herbst 2011 in der Herkunft Oberndorf der höchste Befall mit 2 813 Sporen in 10 g Stallmist festgestellt. Bereits ein halbes Jahr später, im Frühjahr 2012, hat sich das Steinbrandsporenpotenzial um 80 % reduziert.

Nach einem Jahr Lagerung fand eine weitere Reduzierung der Sporenzahl im Stallmist statt. Nur mehr ca. 2% Sporen wurden festgestellt im Vergleich mit den Werten von vor einem Jahr. Eine Ausnahme bildete die Herkunft Oberndorf. Hier war der Wert höher als zu Untersuchungsbeginn vor einem Jahr. Ursache dafür ist, dass sich durch den Rotteprozess eine oder mehrere Brandbutten zersetzt haben und die Brandsporen freigesetzt wurden.

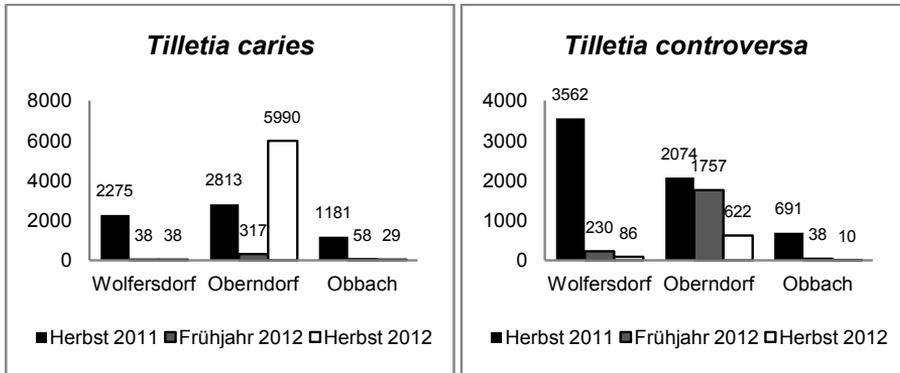


Abb. 1: Veränderung des Steinbrand- und Zwergsteinbrand-Sporenpotenzials während der Stallmistlagerung der drei Herkünfte Wolfersdorf, Oberndorf und Obbach im Zeitraum Herbst 2011 bis Herbst 2012

Ähnlich wie beim Steinbrand verlief die Abnahme des Brandsporenpotenzials im Stallmist auch beim Zwergsteinbrand, allerdings nicht ganz so schnell wie beim Steinbrand. Dies ist eine gute Übereinstimmung mit der Tatsache, dass die Steinbrandsporen ca. 5 Jahre im Boden überdauern, während die Zwergsteinbrandsporen 10 Jahre im Boden nachgewiesen werden können. Zu beobachten war auch, dass der Trockensubstanzgehalt des Stallmistes einen Einfluss auf die Abnahme des Sporenpotenzials hat. Je trockener der Stallmist ist, umso geringer ist die Abnahme des Sporenpotenzials im Laufe der Lagerung.

Als schwierig gestaltet sich die Keimung der Brandsporen aus dem Boden. Es gilt, die Zahl der keimfähigen Sporen in Bezug auf die Gesamtzahl der Sporen in 10 g Boden zu ermitteln. Für die Ermittlung der optimalen Keimbedingungen wurden Brandsporen aus der Brandbutte auf Nährböden mit 2%igem Wasseragar in Petrischalen ausgebracht. Um konkurrierende Mikroorganismen zu unterdrücken, wurden dem Nährboden Antibiotika zugesetzt. Für Steinbrand ergab sich eine optimale Keimtemperatur von 16 °C und eine durchschnittliche Keimdauer von 6 Tagen. Beim Zwergsteinbrand waren 5 °C optimal und die Kei-

mung fand nach ca. 28 Tagen statt. Die Keimung der Sporen aus dem Boden gestaltet sich schwierig, da sich im Boden Brandsporen unterschiedlichen Alters befinden und die Sporen aus dem Boden offensichtlich einen Reiz zur Keimung benötigen, der bisher noch nicht erforscht werden konnte. Als Alternative zur Keimfähigkeit der Brandsporen wurden Experimente mit Farbstoffen zur Feststellung der Lebensfähigkeit durchgeführt. Dabei hat sich Tetrazolium für die Färbung lebensfähiger Steinbrandsporen aus den Brandbutten als vielversprechend herausgestellt. Zwergsteinbrandsporen hingegen ließen sich mit Tetrazolium nicht anfärben, vermutlich wegen ihrer dickeren und damit undurchlässigeren Sporenwand.

4. Zusammenfassung

Bei der Bestimmung des Brandsporenpotenzials im Boden erschweren physikalische Gegebenheiten eine höhere Nachweisrate der Sporen. Wiederfindungsraten von ca. 55 % bei Zwergsteinbrandsporen und ca. 25 % bei Steinbrandsporen können erreicht werden.

Nach bereits einjähriger Lagerung hat sich das Brandsporenpotenzial im Stallmist um mehr als 90 % reduziert.

Die Optimalbedingungen für die Keimung der Steinbrand- und Zwergsteinbrandsporen aus Brandbutten wurden erarbeitet und etabliert. Derzeit werden diese Bedingungen zur Bestimmung der Keimfähigkeit bzw. Lebensfähigkeit an den Sporen aus dem Boden getestet.

5. Literaturangaben

Babadoost, M., Mathre, D.E., 1998: A method for extraction and enumeration of teliospores of *Tilletia indica*, *T. controversa*, and *T. barclayana* in soil. Plant Dis. 82, 1357-1361.

Dressler, M., Voit, B., Büttner, P., Killermann, B., 2011: Mehrjährige Ergebnisse zur Strategie gegen Zwergsteinbrand (*Tilletia controversa*) und Steinbrand (*Tilletia caries*) im ökologischen Getreidebau. VDLUFA Schriftenreihe Bd 67, 460-467, Kongressband 2011 Speyer, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Wilcoxson, R.D., Saari E.E., 1996: Bunt and smut diseases of wheat. Concepts and methods of Disease management. Mexico, D.F.: CIMMYT.

Danksagung

Bei meinen Kolleginnen und Kollegen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, insbesondere der AG Saatgutuntersuchung und Saatgutforschung die mich bei der Durchführung des Projektes tatkräftig unterstützen bedanke ich mich herzlich. Mein ganz besonderer Dank geht an das Bayerische Staatsministerium für Ernährung Landwirtschaft und Forsten für die finanzielle Förderung.

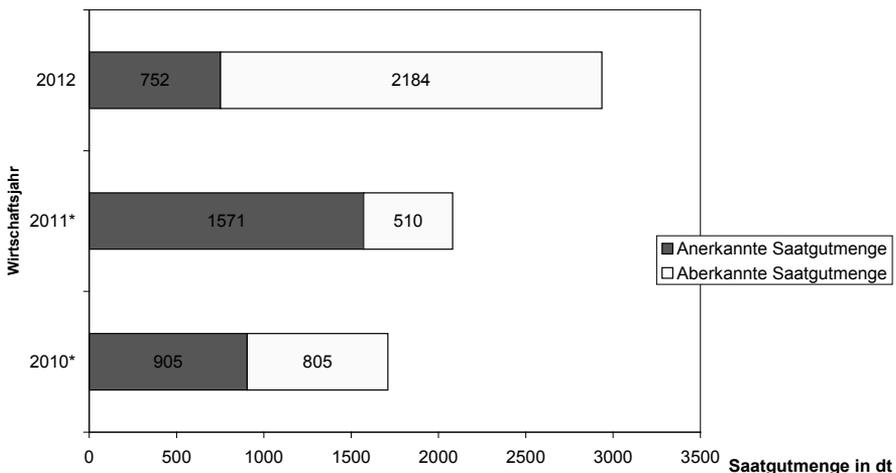
Lagerungsverhalten von Saatgutproben von Öllein (*Linum usitatissimum*) betreff Keimfähigkeit und Saatgutgesundheit

C. Belkner, M. Riedel

Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung,
Zossen

1. Einleitung

Keimfähigkeit und Saatgutgesundheit bilden immer wieder die begrenzenden Faktoren für die Anerkennungsfähigkeit von vorgestellten Saatgutpartien von Öllein in der Anerkennungs- und Samenprüfstelle des Landes Brandenburg. Die Aberkennungsrate bei Öllein ist – hauptsächlich bedingt durch die Nichteinhaltung dieser Qualitätsparameter – mit Anteilen von 47 % im Jahr 2010, 25 % im Jahr 2011 und 74 % im Wirtschaftsjahr 2012 als sehr hoch einzuschätzen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass aufgrund des bundesweiten Mangels an verkehrsfähiger Saatware von Öllein das BMELV in den Jahren 2010 und 2011 schon per Erlass die Mindestkeimfähigkeit befristet herabgesetzt hatte.



* Unter Berücksichtigung des Erlasses des BMELV über die befristete Herabsetzung der Mindestkeimfähigkeit von 85% auf 75% bei zertifiziertem Saatgut von Öllein.

Abb. 1: Übersicht zur Anerkennung von Ölleinsaatgut 2010 bis 2012 im Land Brandenburg

Vom Gesetzgeber wird für die Saatgutenerkennung von Öllein eine Mindestkeimfähigkeit von 85 % vorgeschrieben. Der maximal zulässige Befall mit Keimlingskrankheiten von *Alternaria linicola*, *Colletotrichum lini*, *Fusarium spp.* und *Phoma exigua var. linicola* darf bei Öllein in der Summe 5 % der Körner nicht überschreiten. Von *Botrytis*-Pilzen dürfen in Öllein nur bis zu 5 % der Körner befallen sein (BGBl.IS.344).

Rückinformationen aus der Praxis und die Wiederholungsprüfung einer Leinprobe im eigenen Haus nach halbjähriger Lagerung gaben Hinweise darauf, dass die Qualität hinsichtlich der Keimfähigkeit zu einem späteren Zeitpunkt sich eventuell positiv verändert haben könnte.

2. Versuchsaufbau und Methoden

Es wurden jeweils 4 Proben von Öllein aus der Ernte 2011 und der Ernte 2012 der Sorte Lirina ausgewählt. Die Lagerung der Proben mit einem jeweiligen Gewicht von ca. 200 bis 300 g erfolgte in geschlossenen Behältern bei einer Temperatur von 15 bis 19 °C.

Folgende Methodik wurde verwendet: Keimfähigkeitsuntersuchung – 4 x 100 Samen in Faltenfilter bei 20 °C, 2 Tage Vorkühlung bei 6 °C, Auswertung nach 7 Tagen gemäß den gültigen ISTA-Vorschriften (ISTA, 2013a); Saatgutgesundheitsuntersuchung – 4 x 100 Samen, Malzagarplattenmethode, Inkubation bei 20 °C, 12 h NUV und WL, 12 h dunkel, Auswertung nach 7 Tagen gemäß den gültigen ISTA-Vorschriften (ISTA, 2013b).

Die Proben der Ernte 2011, die im 4. Quartal 2011 erstmalig untersucht worden waren, wurden Anfang 2013 erneut auf Keimfähigkeit und Gesundheit geprüft. Die Erstuntersuchung der Proben aus der Ernte 2012 erfolgte im 4. Quartal 2012 bzw. im 1. Quartal 2013. Dem schloss sich eine zweite Untersuchung im 2. Quartal bzw. eine dritte Untersuchung im 3. Quartal an.

3. Ergebnisse

Bei allen Proben der Ernte 2011 wurden nach ca. 14-monatiger Überlagerung deutlich höhere Werte bezüglich der Keimfähigkeit festgestellt.

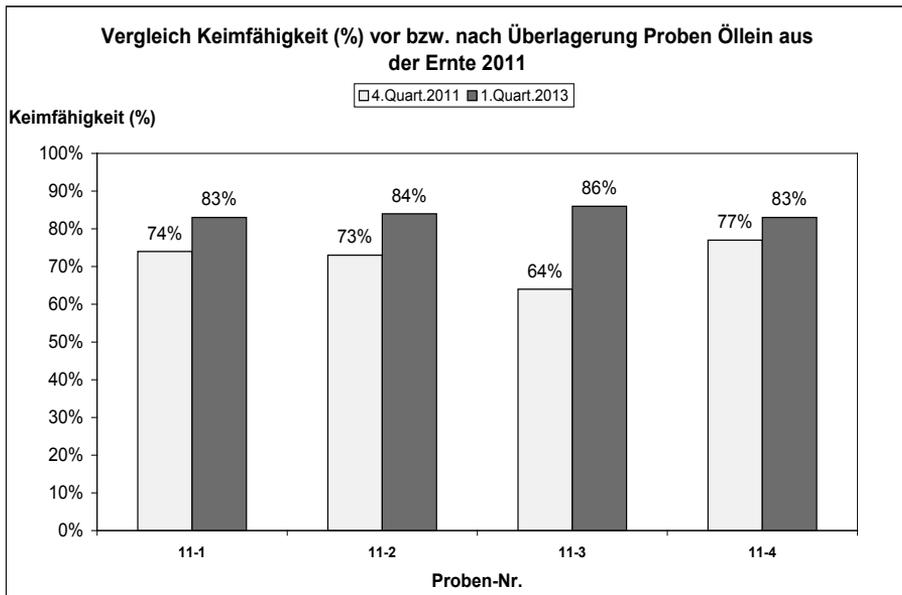


Abb.2: Vergleich Keimfähigkeit vor bzw. nach Überlagerung der Proben Öllein aus der Ernte 2011

Hinsichtlich des Gesundheitszustandes wurden insbesondere bezüglich der sonstigen *Alternaria*-Arten außer *A. linicola* deutliche Rückgänge im Befall beobachtet. Zu den sonstigen *Alternaria*-Arten zählen die saprophytischen Arten wie z. B. *A. tenuis* oder *A. tenuissima*.

Das Ausgangspotential der parasitären untersuchten Erreger war nicht so hoch wie für die oben angeführten saprophytischen Pilz-Arten. Der Befall mit *Alternaria linicola* lag bei allen 4 Proben nicht über 10 %. Von *Fusarium spp.* waren 3 Proben bis zu 10 % befallen. *Botrytis sp.* wurde an allen 4 Proben, allerdings auf niedrigem Niveau bis 2,25 %, festgestellt. Auch in der Zweituntersuchung wurde noch *Alternaria linicola* bei allen 4 Proben festgestellt, *Fusarium spp.* und *Phoma exigua* waren noch vereinzelt zu finden.

Bei den Ernteproben 2012 konnten eine Verbesserung der Keimfähigkeit nach Lagerung wie bei den Proben der Ernte 2011 bis zur dritten Untersuchung im 3. Quartal 2013 nicht bestätigt werden. Hier scheint eher der Normalfall einer absinkenden Keimfähigkeit mit zunehmender Lagerung vorzuliegen.

Tab. 1: Untersuchungsergebnisse Gesundheitsprüfung Proben Ernte 2011

Pathogen	Untersuchungs- zeitraum	Probe Nr. 11-1	Probe Nr. 11-2	Probe Nr. 11-3	Probe Nr. 11-4
Alternaria	4. Quart. 2011	3,75	2,00	9,50	3,75
linicola	1. Quart. 2013	2,50	5,75	4,00	3,25
(%)					
sonst.	4. Quart. 2011	72,25	60,50	72,50	67,25
Alternaria	1. Quart. 2013	*	7,25	3,25	3,25
spp. (%)					
Colletotri-	4. Quart. 2011	0,00	0,00	0,00	0,25
chum lini	1. Quart. 2013	0,00	0,00	0,00	0,00
(%)					
Fusarium	4. Quart. 2011	0,00	3,50	10,00	6,00
spp. (%)	1. Quart. 2013	0,25	0,00	0,00	0,00
Phoma	4. Quart. 2011	0,00	0,50	0,00	0,00
exigua (%)	1. Quart. 2013	0,00	0,25	0,00	0,00
Botrytis	4. Quart. 2011	0,75	1,50	2,25	1,00
spp. (%)	1. Quart. 2013	0,00	0,00	0,00	0,00

*Es erfolgte keine Untersuchung auf sonst. *Alternaria* spp.

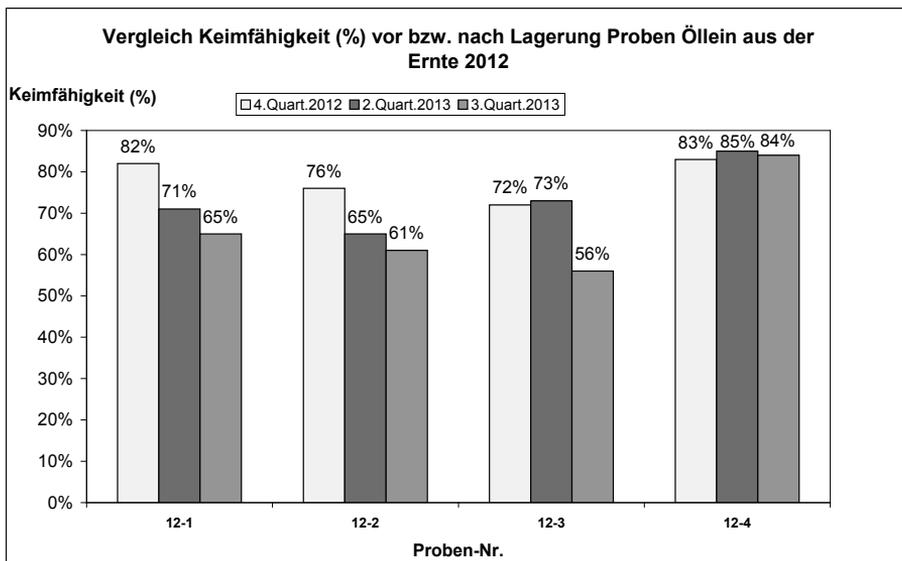


Abb. 3: Vergleich Keimfähigkeit vor bzw. nach Lagerung der Proben Öllein aus der Ernte 2012

Auch die Ausgangssituation hinsichtlich der geprüften parasitären Pilze war anders als 2011. Der Befall mit *Alternaria linicola* lag bei 3 der 4 Proben deutlich höher, bis 39 %, und blieb auch bei Zweit- und Drittuntersuchung auf dem Niveau. Vereinzelt traten bei allen 3 Untersuchungen der Proben *Fusarium spp.*, *Phoma exigua* und *Botrytis spp.* auf. Die sonstigen *Alternaria*-Arten waren bei der Erstuntersuchung nicht dokumentiert worden. Von der 2. zu 3. Untersuchung ist bei allen 4 Proben für diese Arten ein Rückgang zu verzeichnen.

Tab. 2: Untersuchungsergebnisse Gesundheitsprüfung Proben Ernte 2012

Pathogen	Untersuchungszeitraum	Probe Nr. 12-1	Probe Nr. 12-2	Probe Nr. 12-3	Probe Nr. 12-4
<i>Alternaria linicola</i> in %	3-4. Quart. 2012/ 1. Quart. 2013	19,25	26,00	39,00	0,75
	2. Quart. 2013	33,00	17,75	37,5	0,00
	3. Quart. 2013	19,50	26,00	44,25	1,00
	sonst. <i>Alternaria spp.</i> in %	3-4. Quart. 2012/ 1. Quart. 2013	*	*	*
	2. Quart. 2013	18,00	9,25	13,00	37,00
	3. Quart. 2013	10,50	5,75	8,00	23,75
<i>Colletotrichum lini</i> in %	3-4. Quart. 2012/ 1. Quart. 2013	0,00	0,00	0,00	0,00
	2. Quart. 2013	0,00	0,00	0,00	0,00
	3. Quart. 2013	0,00	0,00	0,00	0,00
	<i>Fusarium spp.</i> in %	3-4. Quart. 2012/ 1. Quart. 2013	0,00	0,00	3,25
2. Quart. 2013		0,00	0,00	0,00	1,25
3. Quart. 2013		0,00	0,00	0,00	0,75
<i>Phoma exigua</i> in %		3-4. Quart. 2012/ 1. Quart. 2013	0,00	0,00	0,00
	2. Quart. 2013	0,00	0,00	0,00	0,00
	3. Quart. 2013	0,00	0,00	0,00	0,25
	<i>Botrytis spp.</i> in %	3-4. Quart. 2012/ 1. Quart. 2013	0,00	0,00	0,50
2. Quart. 2013		0,00	0,00	0,00	0,00
3. Quart. 2013		0,00	0,00	0,00	0,00

*Es erfolgte keine Untersuchung auf sonst. *Alternaria spp.*

4. Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass es durchaus unter entsprechenden Bedingungen und bei bestimmten Ausgangseigenschaften des Saatgutes von Öllein möglich ist, dass Keimfähigkeit und Saatgutgesundheit sich auch nach längerer Lagerungszeit noch verbessern können. Allerdings können diese Ergebnisse nicht pauschalisiert werden, wie die Ergebnisse der Leinproben der Ernte 2012 bis zur Untersuchung im 3. Quartal 2013 belegen. In diesem Zusammenhang wird auch deutlich, dass die Untersuchungsergebnisse, insbesondere zur Keimfähigkeit und Saatgutgesundheit, nur eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Untersuchung widerspiegeln, die zu einem späteren Termin sowohl nach unten als auch nach oben abweichen können. Für eine gezielte Nutzung der Ergebnisse im positiven Sinne hinsichtlich einer Verbesserung der Saatgutqualität nach Überlagerung sind weiterführende Untersuchungen unter kontrollierten Lagerbedingungen erforderlich.

5. Literaturangaben

International Seed Testing Association (2013a): International Rules for Seed Testing. Kapitel 5, Keimfähigkeit, (ISTA) Switzerland.

International Seed Testing Association (2013b): International Rules for Seed Testing. Kapitel 7, (ISTA) Switzerland.

Saatgutverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 8. Februar 2006 (BGBl. IS.344), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 25. Oktober 2012 (BGBl. S.2270) geändert worden ist.

Automatisierte Gelpermeationschromatographie (GPC) mit Inline-Festphasenextraktion (SPE) zur optimierten Probenvorbereitung von Lebensmittel- und Futtermittelproben (Automated GPC with Inline-SPE to improve Sample Cleanup)

J. Netzer

J2 Scientific/ANTEC GmbH, Columbia, USA

1. Abstract

Gel Permeation Chromatography (GPC) is a universal cleanup technique for environmental and food extracts that effectively separates high molecular weight compounds from the analytes of interest, however GPC alone is not always adequate to remove all of the high molecular weight compounds from some samples and cannot always remove all compounds that interfere with the analytes in the determinative method. Solid Phase Extraction (SPE) can be used to remove these additional interferences, but additional cleanup can be labor intensive and increases the risk of analyte loss with each step. Automating sample preparation can improve consistency while decreasing the overall cost of analysis by limiting technician intervention, but even automated clean-up can suffer from more sample manipulations than are needed to achieve adequate clean-up.

Adding SPE inline with GPC on an automated system can provide additional cleanup without increasing solvent usage or processing time for each individual sample as the additional cleanup is performed concurrently with the GPC collect fraction. This presentation investigates the effectiveness of a fully automated system for extract concentration and cleanup of selected problematic matrices using GPC with inline SPE.

2. Method

Spinach, Orange and Egg samples were homogenized and spiked to 20 ng/g with organochlorine pesticides

- Add 30 mL dichloromethane and 5 g sodium sulfate to 10 g homogenized

sample and blend for 3 minutes

- Centrifuge samples to separate solids
- Transfer dichloromethane layer to PrepLinc system for automated concentration and cleanup

Each analysis was repeated in triplicate.

2.1 Automated Extract Concentration

30 mL extract is concentrated to dryness using programmed heat and vacuum settings. After momentary dryness, 3 mL of dichloromethane is added and the sample is mixed. Sample transferred to autosampler vial. The evaporation chamber and flowpath are automatically rinsed.

2.2 Automated GPC with Inline SPE Cartridge

2.5 mL concentrated extract loaded onto Express™ dichloromethane column Pesticide fraction eluted through a 1 g SPE cartridge (silica, alumina and Florisil™) and concentrated by the AccuVap™ during the collection. Eluent evaporated to momentary dryness, 2.5 mL hexane added to the chamber and transferred to a GC vial for analysis.

3. Analysis

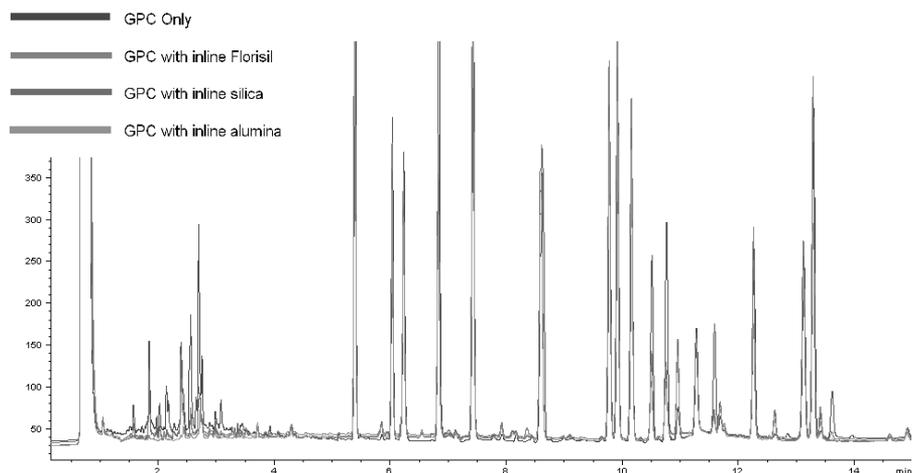


Abb. 1: Chromatography, Spinach

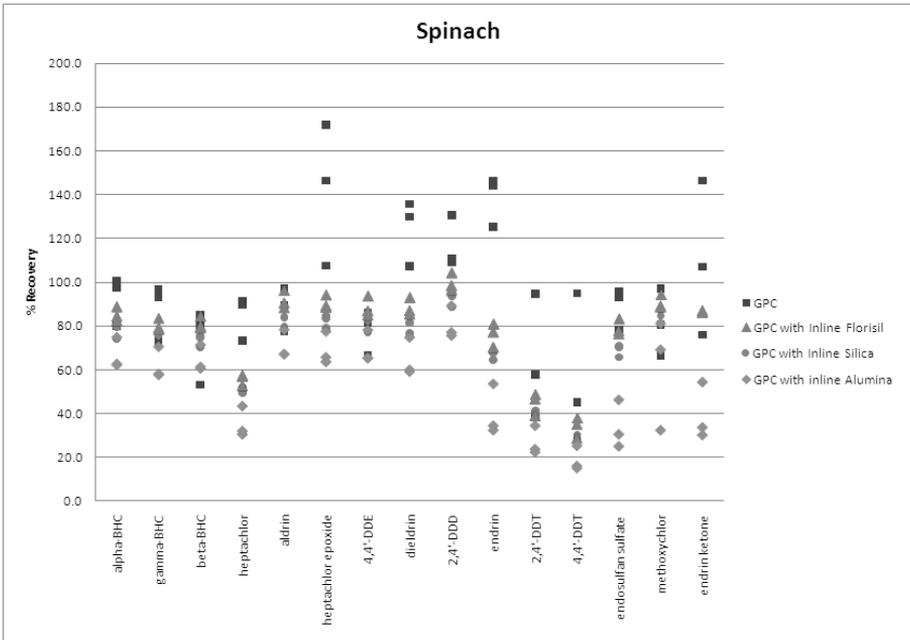


Abb. 2: Recovery, Spinach

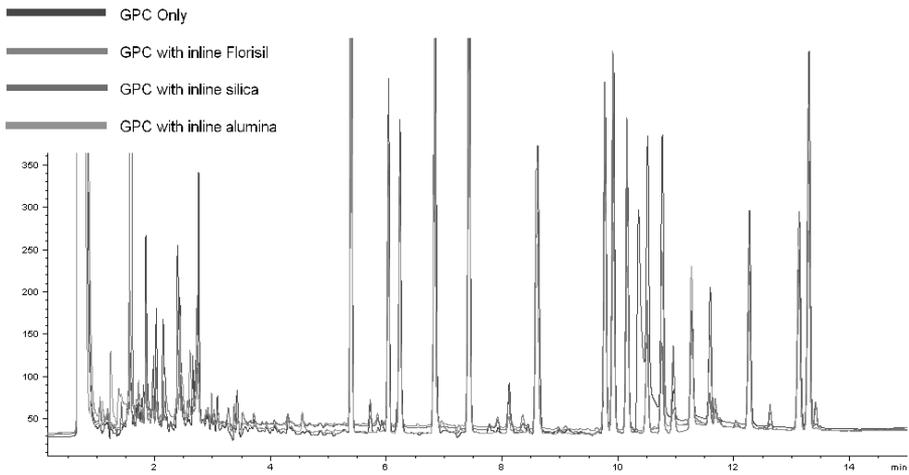


Abb. 3: Chromatography, Orange

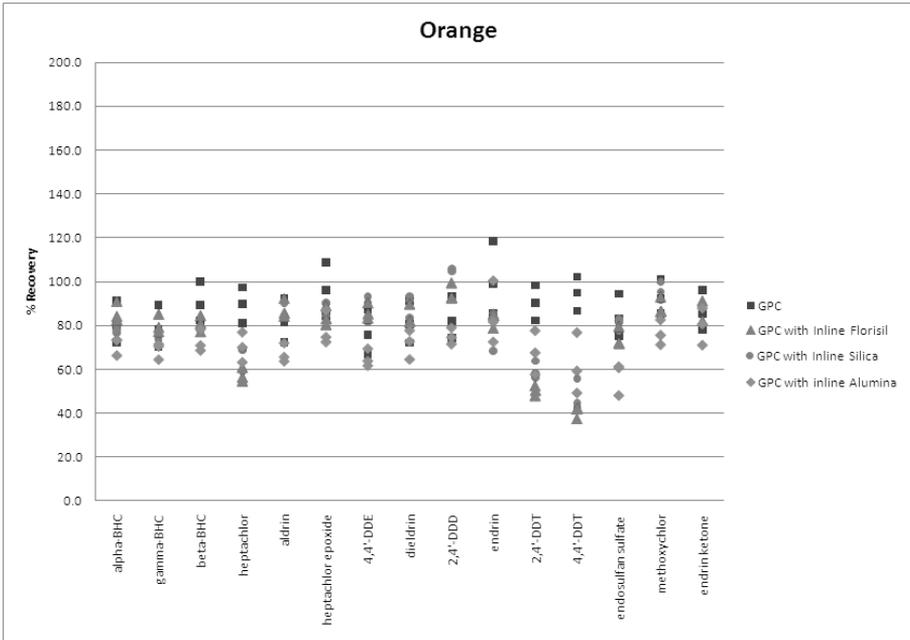


Abb. 4: Recovery, Orange

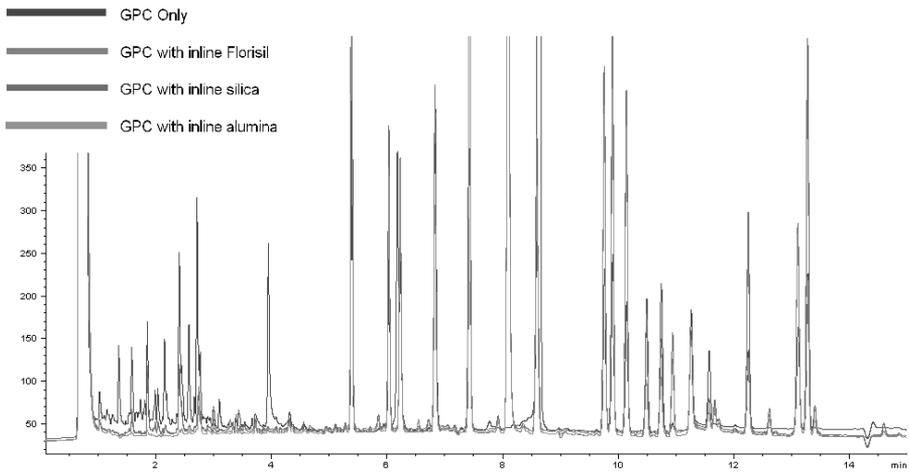


Abb. 5: Chromatography, Egg

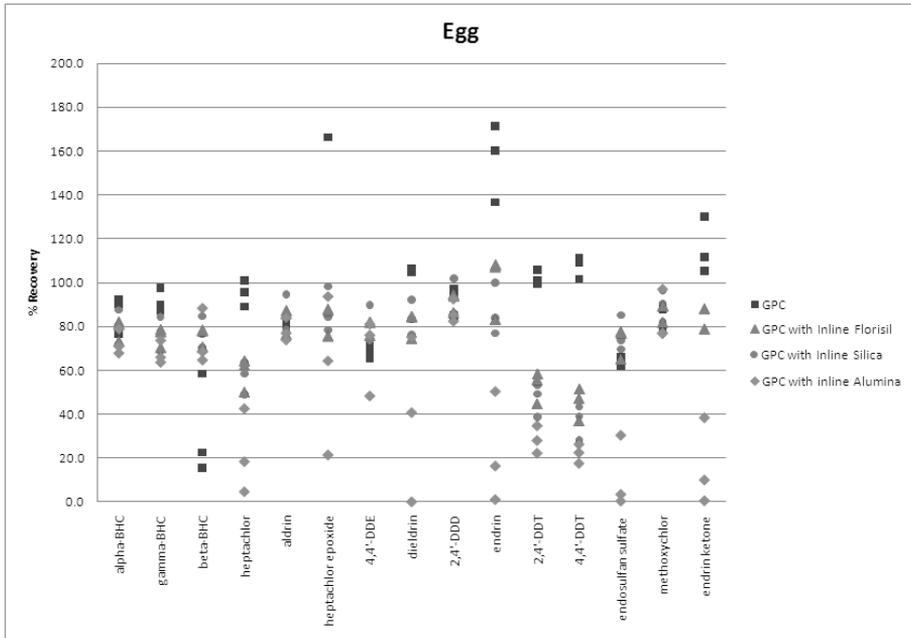


Abb. 6: Recovery, Egg

4. Conclusions

Chromatography indicates that overall, inline SPE cartridges removed interfering compounds in addition to early-eluting compounds. Recovery for most compounds was not significantly affected by the additional cleanup step and removal of interferences resulted in fewer falsely high recovery results when compared to GPC cleanup alone. Inline SPE cleanup was particularly effective for highly pigmented spinach and waxy orange samples. Recovery was more highly variable for egg samples on some analytes, indicating that this high-fat matrix may need additional cleanup or an alternate extraction method. Inline SPE removes more interferences than GPC alone, resulting in less data processing time, fewer false positives, and less wear and tear on sensitive analytical instrumentation. The J2 Scientific PrepLinc™ system allows laboratories to use inline SPE to improve cleanup without adding any time or solvent to the cleanup method.

Pesticide Analysis Using the AutoMate-Q40: An Automated Solution to QuEChERS Extractions

T. Hartlein

Teledyne Tekmar/ANTEC GmbH, Ohio, USA

1. Abstract

QuEChERS is a Quick-Easy-Cheap-Effective-Rugged-Safe extraction method that has been developed for the determination of pesticide residues in agricultural commodities. While the original unbuffered method was developed for plant matrices, since 2003, two additional buffered methods, AOAC 2007.01 and EN15662:2008 were created and adapted for use with many additional matrices. The rise in popularity of this technique and the increase in sample testing have driven the need for automation of these extractions to increase productivity and throughput. The AutoMate-Q40 streamlines the QuEChERS method from adding Acetonitrile (ACN) and buffering salts, shaking, mixing, centrifugation the sample, sample transferring to a dispersive solid phase extraction (d-SPE) tube using an air displacement pipetter (ADP), and finally measuring and delivering the extract. The advances made by automating this technique will not only greatly enhance laboratory production, but will improve precision and accuracy as well.

The goal of this experiment is to evaluate the performance of the AutoMate-Q40 by monitoring multi-pesticide class residues in agricultural commodities. The target pesticides in the commodities will be determined and calculated by using GC/MS and LC/QQQ techniques and directly compared to manual extractions under the same chromatographic conditions.

2. Introduction

Sample preparation for multiresidue pesticide screening for agriculture commodities can be cumbersome and laborious for multiple sample extractions. With recent advanced in multiresidue pesticide screening, methods have been simplified by the introduction of QuEChERS. While QuEChERS is more effective than its predecessors, this extraction is still a laborious procedure and requires great detail from the analyst performing the extraction.

The use of either the AOAC Official Method 2007.01, or EN15662:2008 requires several manual steps to extract the pesticides of interest. These steps include the measurement and addition of an extraction solvent, weighing and dispensing mixed salts with buffers, measuring and adding control standards, sample shaking, and centrifugation of all samples. Once this is complete, extract clean up is performed using dispersive solid phase extraction (dSPE) in which, shaking, centrifugation, and extract measuring are repeated.

With the amounts of samples being required for pesticide residue analysis continually increasing, Teledyne Tekmar has developed the AutoMate-Q40. This revolutionary system is designed to automate the QuEChERS extraction workflow, allowing laboratories to be more efficient and timely in meeting their customer requirements for fast and reliable results. This system will help keep sample preparation and the time an analyst spends on it at a minimum, while producing highly accurate, precise, and traceable results.

The intent of this poster is to evaluate the performance of the AutoMate-Q40 by monitoring pesticide residues in apples and lettuce. The target pesticides will be analyzed using both GC/MS and LC/QQQ.

3. Experimental

3.1 Sample Preparation

Apples and lettuce were purchased from a local supermarket. Per each method, the apples were chopped into small cubes. The whole apple was used aside from the seeds. Once chopped, the apple cubes were then placed into a plastic bag and frozen. Similarly, the lettuce was cut into small strips and frozen.

3.2 Extraction/Cleanup

For the extractions, a 15 g (+/-0.1 g) homogenized apple and lettuce samples was placed into a 50 mL centrifuge tube, and then placed into the AutoMate-Q40 sample trays. From this point, the AutoMate-Q40 performed all of the method steps previously performed by a laboratory professional.

The AutoMate-Q40 moved the centrifuge tubes to a de-capping station where the caps were removed. Using a dual-pump liquid handling system, the instru-

ment was programmed to add extraction solvent and spiking solutions to the samples. 15 mL of 1 %HAc in ACN and 75 μ L of internal standard (20 μ g/mL) were added to each sample to yield a 100 ng/g concentration. QC samples were fortified with 50 μ L and 250 μ L of the QC spiking solution (6 μ g/mL), yielding 20 ng/g and 100 ng/g check samples. 7.5 g of AOAC extraction salts were added by the solids dispenser. The samples were automatically capped and moved to the shaker where they were shaken vigorously for 1 minute to ensure complete mixing. Once the mixing was complete, the samples were centrifuged for 5 minutes at 4000 rpm.

The centrifuged samples were transferred to the VialVision™ (patent-pending) housing. This innovative technology uses a camera to determine the positions of the layers in the vial and calculates the available supernatant that can be transferred to a dSPE cleanup vial. The samples are then transferred from the VialVision housing to the shuttle station where the necessary 15 mL dSPE cleanup tube is positioned. The centrifuge tubes were uncapped, and using the air displacement pipetter (ADP), an 8 mL aliquot was transferred from the extraction tube to the cleanup tube containing 400 mg of PSA and 1200 mg of MgSO₄. The 50 mL extraction tube was returned to the tray, while the cleanup tube was moved to the shaker and shaken for 1 minute. Once the mixing was complete the sample was taken to the centrifuge and spun for 5 minutes at 4000 rpm.

Once centrifuging was complete, the 15 mL dSPE cleanup tube was moved to the VialVision™ station to determine the amount of extract available to be transferred to the final extract tube. The cleanup tube was taken from the VialVision housing to the shuttle station where the corresponding 15 mL final extract tube is positioned. The cleanup and final extract tubes were uncapped and, using the ADP 5 mL of the final extract was transferred to the final tube.

Finally, aliquots from the final extract tube are manually placed into autosampler vials, and analyzed by LC/QQQ and GC/MS.

4. Instrument Conditions

LC/QQQ analysis was performed using a Synergi 4u Fusion-RP 80A 50 x 2.00 mm HPLC column on a Shimadzu Nexear LC system, interfaced with an AB SCIEX Q-Trap 4500 triple quadrupole mass spectrometer, and analyzed

by ESI in positive ion mode. An Agilent 7890/5975 GCMS was utilized for the GC analysis.

5. Results and Discussion

Automating QuEChERS enables fast, easy, reliable and, more reproducible extractions. The AutoMate-Q40 offers significant labor savings, while improving consistency and repeatability when compared to the manual QuEChERS extraction. Two sets of commodities – apples and lettuce – were analyzed by both LC/QQQ and GC/MS to illustrate analytical differences between using the AutoMate-Q40 and manual QuEChERS extraction.

A precision and accuracy study was performed using both manual and automated QuEChERS extraction for both commodities. A 6 $\mu\text{g}/\text{mL}$ stock pesticide standard was used to fortify the samples. Using the AutoMate-Q40, the system spiked the samples with 50 and 250 μL of the pesticide standard yielding 20 ng/g and 100 ng/g check samples. The same process was done for the manual extraction using a micro-syringe. These QC samples were quantitated against their corresponding matrix-matched calibration curve. The analysis was performed in replicates of seven ($n=7$).

5.1 Figures

Figures 1, 2, 3, and 4 show the recoveries for both the manual and automated QuEChERS extractions that were analyzed by LC/QQQ and GC/MS. The results show that when using the AutoMate-Q40, all pesticides fell within the 70 to 120% recovery range.

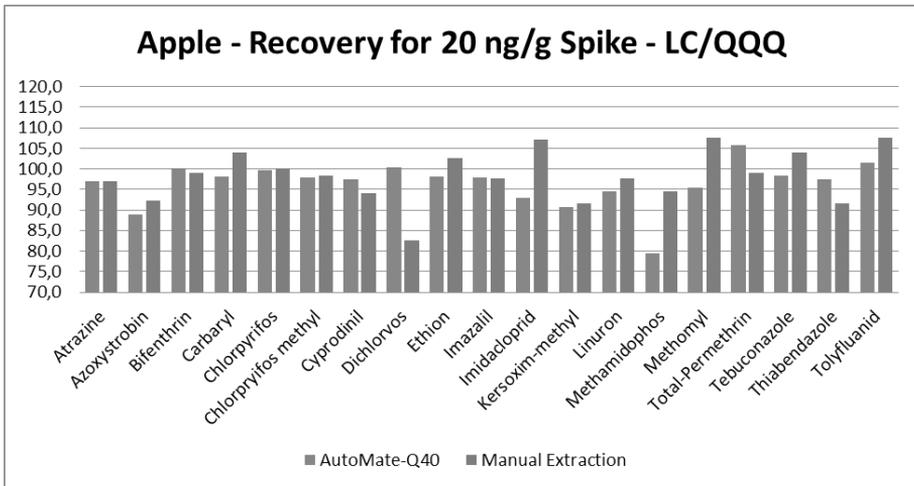


Fig. 1: Apple recovery for 20 ng/g QC sample on the LC/QQQ

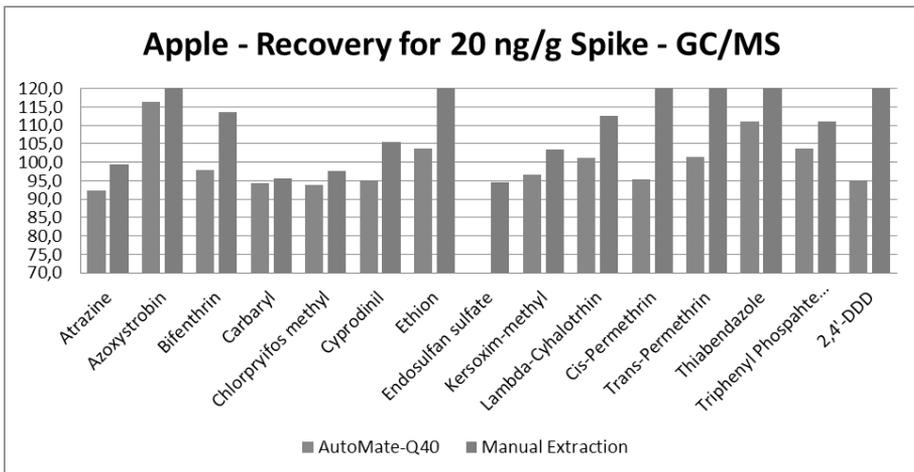


Fig. 2: Apple recovery for 20 ng/g QC sample on the GC/MS

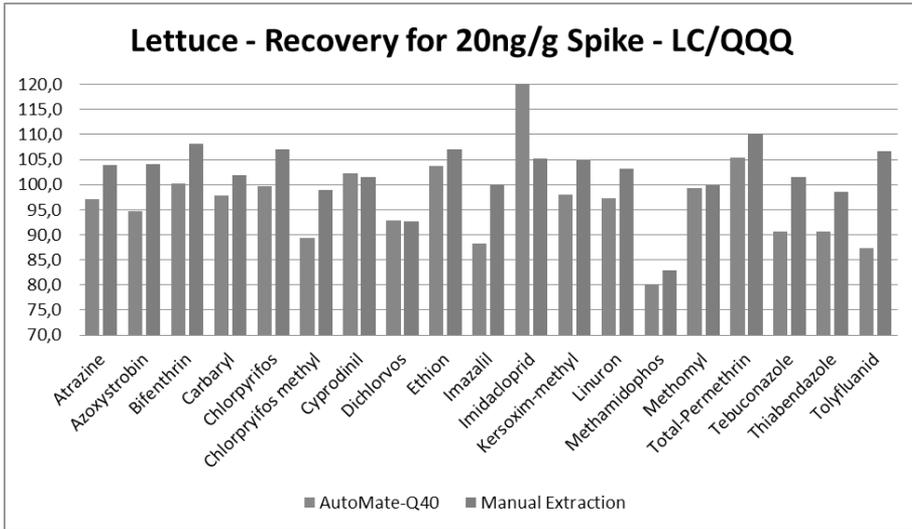


Fig. 3: Lettuce recovery for 20 ng/g QC sample on the LC/QQQ

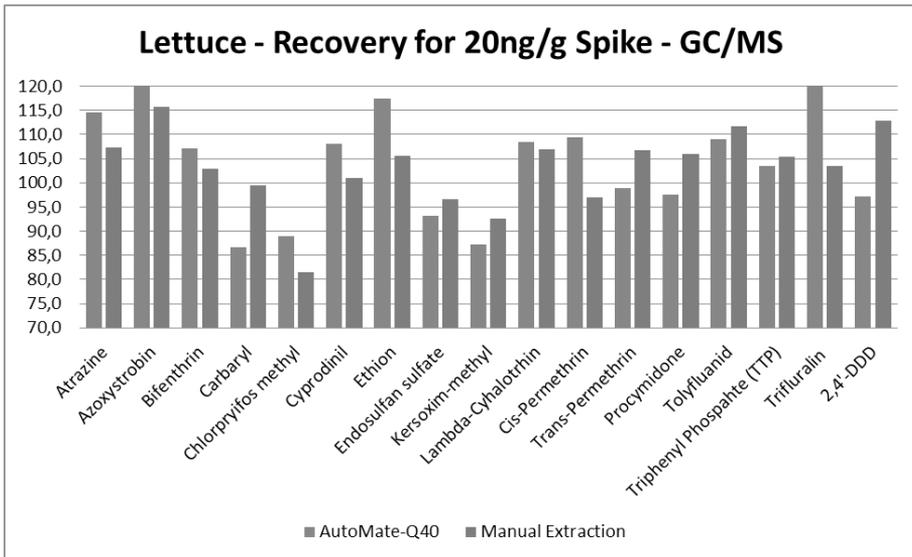


Fig. 4: Lettuce recovery for 20 ng/g QC sample on the GC/MS

5.2 Tables

Tables 1 and 2 show the excellent recoveries achieved when using the AutoMate-Q40, ranging from 96.4 % to 105 %, while the manual QuEChERS extraction had a wider range from 88.0 % to 114.8 %. The AutoMate-Q40 also demonstrated greater precision ranging from 2.8 % to 6.6 % RSD while the manual QuEChERS extraction ranged from 2.8 to 9.5 % RSD.

Tab.1: Average LC/QQQ values for both AutoMate-Q40 and Manual QuEChERS Extraction. (n=7)

LC/QQQ Average Table					
	Concentration	AutoMate-Q40		Manual Extraction	
		Avg Recovery	Avg %RSD	Avg Recovery	Avg %RSD
Apple	20 ng/g	96.4	3.8	98.3	5.2
	100 ng/g	98.7	2.8	96.6	2.8
Lettuce	20 ng/g	97.6	6.6	102.0	4.4
	100 ng/g	96.6	6.0	94.3	9.5

Tab.2: Average GC/MS values for both AutoMate-Q40 and Manual QuEChERS Extraction (n=7)

GC/MS Average Table					
	Concentration	AutoMate-Q40		Manual Extraction	
		Avg Recovery	Avg %RSD	Avg Recovery	Avg %RSD
Apple	20 ng/g	97.6	4.9	114.8	3.5
	100 ng/g	96.9	3.6	101.5	4.4
Lettuce	20 ng/g	105.7	4.4	103.1	4.5
	100 ng/g	97.7	4.5	88.0	6.2

6. Conclusion

This study demonstrates the feasibility of automating the QuEChERS extraction using the AutoMate-Q40. By automating the liquid handling, addition of salt/buffers, sample mixing, pipetting, and liquid level sensing using the patent pending VialVision™, the extraction process is faster, more reliable, and easier. This enables time and labor savings, while improving consistency and repeatability of the extraction. As shown above in Tables 3 and 4, all pesticides gave excellent spike recoveries, ranging from 96.4 % to 105 %, and excellent precision, ranging from 2.8 % to 6.6 %. Lastly, by employing an intuitive user interface, data audit trails can be recalled at the touch of a button.

7. Reference

- Anastassiades, M.: QuEChERS a mini-multiresidue method for the analysis of pesticide residues in low-fat products: <http://www.ultrasci.com/docs/literature/QuEChERS/Mini-Multiresidue.pdf>.
- AOAC Official Method, 2007: Pesticide Residues in Food by Acetonitrile Extraction and Partitioning with Magnesium Sulfate. Gas Chromatography/Mass Spectrometry and Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry, First Action 2007.
- European Committee for Standardization/Technical Committee CEN/TC275, 2008: Foods of plant origin: Determination of pesticide residues using GC-MS and/or LC-MS/MS following acetonitrile extraction/ partitioning and cleanup by dispersive SPE QuEChERS-method.

ADF_{om}- und Rohfaseranalytik: Vergleich der Glasfiltertiegel-Technik mit der automatisierten FibreBag-Technologie (C. Gerhardt)

U. Fettweis¹, J. Kühl²

¹C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Königswinter, ²LUFA Speyer, Speyer

1. Einleitung

Bei der Bestimmung von Rohfaser, ADF_{om}, ADL und _aNDF_{OM} werden nach Detergenzienbehandlung häufig Glasfasertiegel zur Filtration eingesetzt. Diese Art der Filtration ist vergleichsweise zeitaufwändig und mit Fehlerquellen behaftet. So können beispielsweise Undichtigkeiten auftreten und die Glasfiltertiegel verändern bei häufigem Gebrauch die Porosität. Auch können Substanzen, die während der Kochvorgänge aus den Proben gelöst werden, in die Poren der Glasfiltertiegel gelangen und die Filtration langwierig gestalten. Die C. Gerhardt GmbH hat ein automatisiertes System zur Analyse der oben genannten Faserfraktionen entwickelt (Fibretherm FT 12), bei dem die Filtration über textile Filterbeutel (FibreBags) erfolgt. In diesem System erfolgen die Koch-, Spül- und Filtrationsvorgänge von bis zu 12 Proben für die Analyse von Rohfaser, ADF_{om} und _aNDF_{OM} automatisch. Voraussetzung für die Anwendung des Fibretherm FT 12 ist die Übereinstimmung der Werte mit der Methode der Filtration über Glasfiltertiegel (Europäische Kommission, 2009; VDLUFA, 2012a; VDLUFA, 2012b). Nach ausführlichen Tests der C. Gerhardt GmbH hat die Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt in Speyer (LUFA Speyer) in umfangreichen Untersuchungen die Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus Rohfaser- und ADF_{om}-Untersuchungen überprüft. Diese Ergebnisse werden im Folgenden vorgestellt.

2. Material und Methoden

Die ADF_{om}- und Rohfaseranalysen erfolgten vergleichend entsprechend der amtlichen VDLUFA-Methoden und mit einem Fibretherm FT12 der C. Gerhardt GmbH. Der Fibretherm FT 12 verfügt über ein bewegliches Karussell, in welches die Proben in zwei ineinander liegenden Kreisen angeordnet werden. Nach Bestückung des Karussells mit den zu untersuchenden Proben wird die-

ses in ein Reaktionsgefäß eingesetzt, in welchem die Koch-, Spül und Filtrationsprozesse erfolgen. Während der Koch- und Spülvorgänge wird im FT 12 die Detergenzienlösung aus dem Reaktionsgefäß gepumpt und dann über zwei Düsen seitlich von oben in die beiden Proben-Kreise geleitet (Abb. 1). Dies hat zur Folge, dass die Detergenzienlösung in die oben geöffneten FibreBags auf die Proben gelangen. Zudem dreht sich durch diese Pumpvorgänge das Karussell in der Detergenzienlösung im Reaktionsgefäß. Diese Maßnahmen dienen einer guten Benetzung der Proben mit der Detergenzienlösung und verhindern ein Zusetzen der Filterporen. Die Vergleichsuntersuchungen wurden von der LUFA Speyer durchgeführt. Mit jeder der beiden methodischen Varianten wurden mindestens Doppelbestimmungen an Mischfuttermitteln für Rinder, Schweine und Geflügel durchgeführt. Die Einstellungen der Programmparameter sind beispielhaft in Fettweis und Kühl (2010) dargestellt.

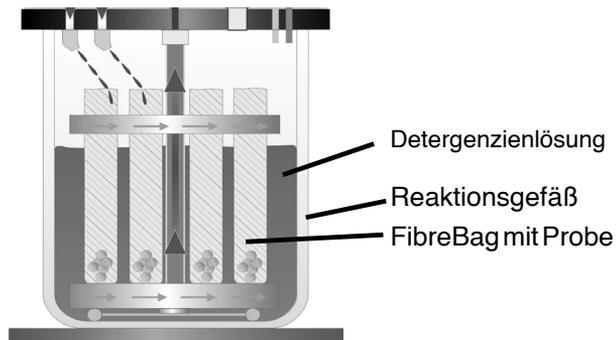


Abb. 1: Schematische Darstellung des Reaktionsgefäßes mit Detergenzienlösung, FibreBags und Proben, die Detergenzienlösungen werden während der Koch- und Spülvorgänge mittig aus dem Reaktionsgefäß heraus und anschließend seitlich von oben in die oben offenen FibreBags gepumpt

3. Ergebnisse und Diskussion

In den untersuchten Rinderfuttermitteln betragen die ADF_{om} -Gehalte zwischen 6,4 % und 23,4 % und die Rohfasergehalte zwischen 4,4 % und 13,4 % (Abb. 2 und Abb. 3). Die Rohfasergehalte der analysierten Schweine- und Geflügelfuttermittel betragen zwischen 0,63% und 15,6% (Abb. 4).

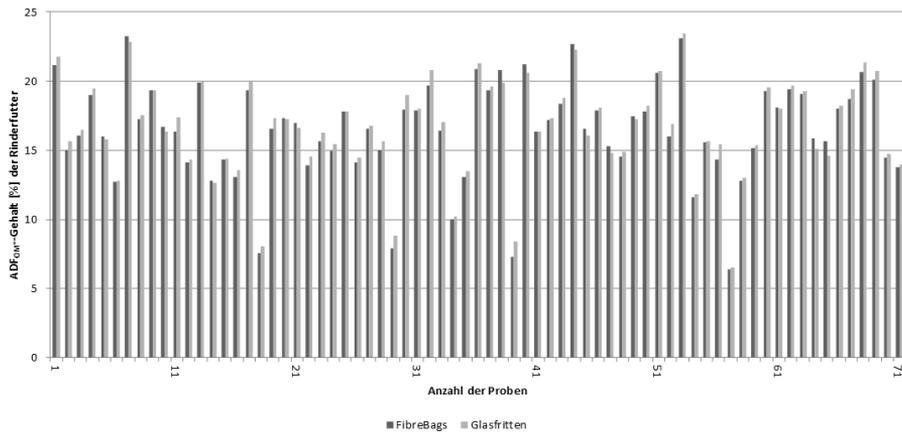


Abb. 2: ADF_{OM}-Gehalte der Rinderfütter (dargestellt sind Mittelwerte aus Doppelbestimmungen)

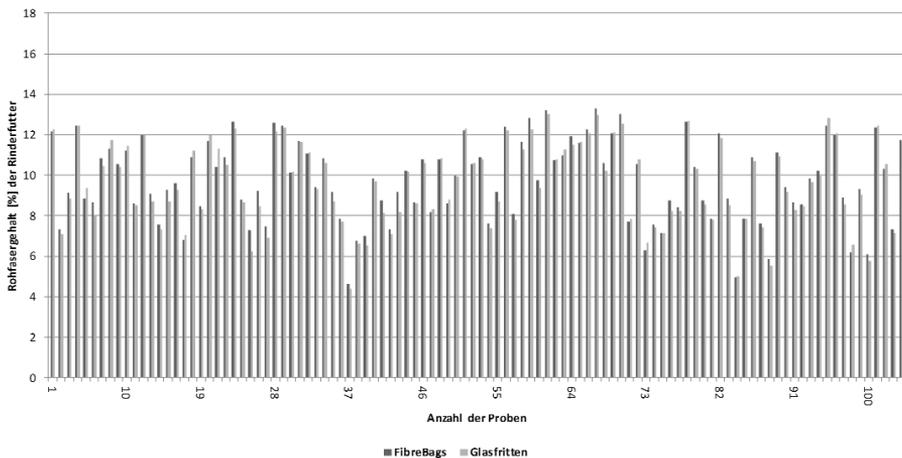


Abb. 3: Rohfaser-Gehalte der Rinderfütter (dargestellt sind Mittelwerte aus Doppelbestimmungen)

Im Vergleich der beiden methodischen Varianten zeigen die Ergebnisse aller untersuchten Futtermittel sowohl bei den ADF_{om}-Werten wie auch bei den Rohfaserwerten eine hohe Übereinstimmung (Abb. 5).

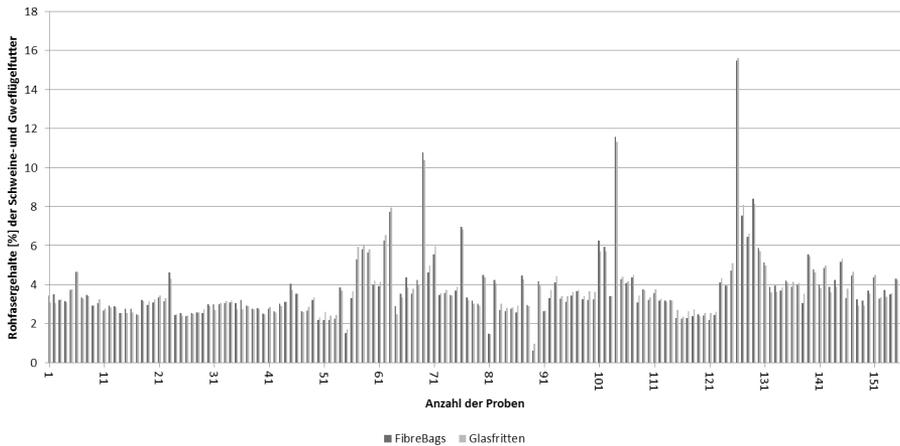


Abb. 4: Rohfasergehalte der Schweine- und Geflügelfutter dargestellt sind Mittelwerte aus Doppelbestimmungen

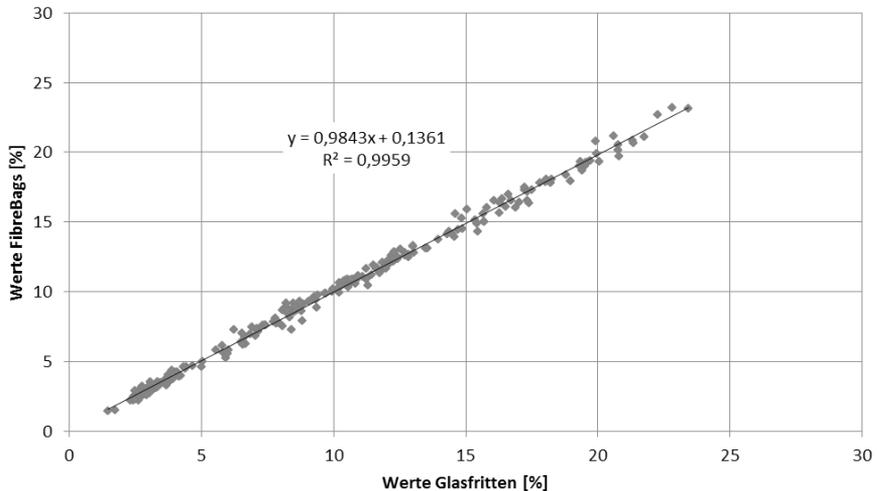


Abb. 5: Werte aus ADFom- und Rohfaser-Analysen aller Futterarten mit berechneter Funktionsgeraden sowie Bestimmtheitsmaß (R²)

Die errechneten Korrelationskoeffizienten betragen beim Rinderfutter 0,991 für die ADF_{om}-Werte und 0,990 für die Rohfaserwerte. Für das Schweine- und Geflügelfutter wurde für die methodischen Varianten ein Korrelationskoeffizient von 0,989 ermittelt. Für alle untersuchten Futtermittel beträgt der Korrelationskoeffizient 0,998. Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass bei Mischfut-

ermitteln für Schweine, Geflügel und Rinder mit beiden methodischen Varianten übereinstimmende Rohfaser- und ADF_{om} -Werte ermittelt werden.

4. Literaturangaben

Europäische Kommission, 2009: Verordnung (EG) Nr. 152/2009 der Kommission vom 27. Januar 2009 zur Festlegung der Probenahmeverfahren und Analysemethoden für die amtliche Untersuchung von Futtermitteln. Amtsblatt der Europäischen Union, 26.2.2009, 10.

Fettweis, U., Kühl, J., 2010: Vergleichende Untersuchungen zur Rohfaseranalytik mittels der amtlichen VDLUFA Methode und der FibreBag-Technologie (C. Gerhardt). VDLUFA Schriftenreihe 66, 700-706. Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012a: Methode 6.5.1 Bestimmung der Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung (aNDF) sowie nach Amylasebehandlung und Veraschung (aNDFom). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012b: Methode 6.5.2, Bestimmung der Säure-Detergenzienfaser (ADF) und der Säuredetergenzienfaser nach Veraschung (ADFom). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Methodenentwicklung einer Heißwasserextraktion für organische Böden

C. Heller¹, M. Alt², K. Weiß²

¹Humboldt-Universität, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, FG Bodenkunde, Berlin, ²Humboldt-Universität, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Gemeinschaftslabor Analytik, Berlin

1. Einleitung und Problemstellung

Moore sind wegen ihres hohen Anteils an organischer Bodensubstanz (OBS) bedeutende Kohlenstoffspeicher. Durch ganzjährig hohe Wasserstände mit verbundener Sauerstoffarmut zersetzt sich die pflanzliche Biomasse nach dem Absterben nicht vollständig, sondern lagert sich – teilweise mehrere Meter mächtig – in Form von Torfen ab (Succow und Joosten, 2001). Obwohl Moorgebiete weltweit nur ca. 3 % der Landoberfläche bedecken (in Deutschland etwa 4 %), ist in diesen organischen Böden (OB) etwa ein Drittel des gesamten terrestrischen Kohlenstoffs (C) gespeichert (Parish et al., 2008).

Durch Entwässerung im Zuge von anthropogener Nutzung, und/oder durch die Folgen des Klimawandels, werden OB von C-Senken zu C-Quellen mit teilweise erheblichen C-Freisetzungsraten (Strack, 2008). Um den potentiellen C-Verlust beschreiben zu können, ist es wichtig, die labile bzw. aktive Fraktion der OBS zu bestimmen, da diese potentiell leicht umgesetzt bzw. mineralisiert und z. B. in Form von CO₂ freigesetzt werden kann (Khanna et al., 2001, Kalisz et al., 2010).

Eine weithin akzeptierte Methode, um diesen labilen Teil zu bestimmen, ist die Fraktionierung mittels Heißwasserextraktion (z. B. Schulz und Körschens, 1998; Chodak et al., 2003; Ghani et al., 2003). Durch eine schwache Hydrolyse unter heißem Wasser werden Anteile der OBS gelöst, gemessen als heißwasserextrahierbarer Kohlenstoff (C_{hwe}) und/oder Stickstoff (N_{hwe}). Die Extrakte enthalten leicht umsetzbare Verbindungen z. B. einfache Kohlenhydrate und proteinhaltige Verbindungen. (Leinweber et al., 1995; Landgraf et al., 2006) Die gemessenen C_{hwe}- und N_{hwe}-Gehalte korrelieren eng mit der Bodenatmung und der Enzymaktivität (Sparling et al., 1998; Rinklebe et al., 2001).

Die Heißwasserextraktion wird in der Literatur in einer Vielzahl von Studien beschrieben. Allerdings unterscheiden sich die Methoden teilweise stark in Pro-

benvorbereitung, Extraktionsdauer, -temperatur und dem Verhältnis Einwaage/Extraktionsmittel, voneinander und sind so nicht unmittelbar vergleichbar (Heller und Weiß, 2013, in Vorbereitung). In Deutschland existiert eine standardisierte VDLUFA-Methode zur Heißwasserextraktion von grundwasserfernen Mineralböden (VDLUFA, 2004). Aufgrund der hohen OBS-Gehalte organischer Böden von ≥ 30 Masse-% (Ad-hoc-AG Boden, 2005), den daraus resultierenden vergleichsweise geringen Trockenrohdichten und hohen Substanzvolumina, lässt sich diese Verbandsmethode nicht unmittelbar auf organische Böden übertragen. Besonders das vorgeschriebene Verhältnis von Einwaage (Boden) zu Extraktionsmittel (H_2O) im Verhältnis 1/5 (w/v) ist nach umfangreichen Voruntersuchungen für eine Extraktion nicht ausreichend. Auch die in der Vorschrift genannte C_{hwe} -Bestimmung durch nasse Oxidation des Extraktes mit Kaliumdichromat ist aus Gründen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes nicht mehr zeitgemäß (Carl Roth GmbH, 2012).

Im folgenden Beitrag wird die Arbeit zur Entwicklung eines standardisierten Verfahrens zur Heißwasserextraktion von organischen Böden in Anlehnung an die VDLUFA Methode „Heißwasserextrahierbarer C und N“ (VDLUFA, 2004) für grundwasserferne Mineralböden vorgestellt. Ziel war es, die hohen OBS Gehalte von OB durch Anpassung der Verhältnisse Einwaage/Extraktionsmittel (Ew/Em) bei der Extraktion zu berücksichtigen, sowie weitere Einflüsse (Filtration der Extrakte vor der Messung, unterschiedliche Trocknungsvarianten) auf den Gehalt an C_{hwe} und N_{hwe} zu testen. Die Messung von C_{hwe} und N_{hwe} erfolgte dabei mit dem LiquiTOC der Firma Elementar.

2. Material und Methoden

Die Versuche zur Anpassung von Ew/Em, sowie die Filtrationsversuche wurden an zwei unterschiedlichen Torfproben durchgeführt, die – in verschiedenen Vorversuchen ermittelt – für OB besonders hohe, bzw. niedrige Gehalte an C_{hwe} und N_{hwe} aufweisen. Dabei wurden die Proben jeweils im Verhältnis Ew/Em von 1/50, 1/200, 1/300, 1/600, 1/800 und 1/1.000 (w/v) in 5-facher Wiederholung extrahiert. Die Extraktionen liefen an unterschiedlichen Tagen, in einem Zeitraum von etwa 3 Wochen ab.

Um den Einfluss der Filtration auf die extrahierten Gehalte zu testen, wurden 10 zufällig ausgewählte Extrakte jeweils zusätzlich vor der Messung filtriert

(0,45 μm Membranfilter). Für die Trocknungsversuche wurden 3 unterschiedliche Proben jeweils luftgetrocknet (20 °C) und gefriergetrocknet und anschließend im Verhältnis 1/300, bzw. 1/600 (w/v) extrahiert.

Alle durchgeführten Extraktionen wurden in Anlehnung an VDLUFA (2004) durchgeführt (1 h, 100 °C, TOC-freies H_2O). Um eine potentielle Gefährdung beim Umgang mit Kaliumdichromat zu umgehen und den Probendurchsatz zu erhöhen, wurden die Messungen der Extrakte mit einem automatischen C/N-Analysegerät durchgeführt (LiquiToC, Fa. Elementar GmbH). Alle Messungen wurden in Doppelbestimmung durchgeführt.

3. Ergebnisse

Die extrahierten Gehalte von C und N zeigten deutliche Abhängigkeiten von den jeweiligen Ew/Em Verhältnissen. Dabei schwankten die gemessenen C_{hwe} -Gehalte je nach Probe zwischen 7-42 $\text{g C} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ TS}$ bei einer guten Wiederholbarkeit der Ergebnisse (geringe Streuung, bzw. geringer Variationskoeffizient in den Wiederholungen). Ein ausreichendes Extraktionsvolumen (Bereich oberhalb der Sättigung) wurde ab einem Ew/Em Verhältnis von 1/600 bzw. 1/800 erreicht.

Im Gegensatz zu den gemessenen C_{hwe} -Gehalten, waren die gemessenen N_{hwe} -Gehalte weit niedriger (zwischen 0,2 und 3,2 $\text{g N} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ TS}$). Allerdings war die Streuung, bzw. der Variationskoeffizient ab einem Verhältnis von 1/600 extrem hoch, so dass hier eine ausreichende Wiederholbarkeit der Ergebnisse nicht gegeben war.

Bei den Filtrationsversuchen konnte kein signifikanter Unterschied der Filtration auf die extrahierten C_{hwe} - und N_{hwe} -Gehalte im Vergleich zu den unfiltrierten Extrakten gefunden werden. In den gewonnenen Extrakten der Proben aus den Trocknungsversuchen konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in den gemessenen C_{hwe} - und N_{hwe} -Gehalten zwischen den luftgetrockneten und den gefriergetrockneten Varianten festgestellt werden. Dies konnte in beiden Extraktionsverhältnissen (1/600, 1/800) bestätigt werden.

Hinweis:

Das ausführliche Datenmaterial zu diesen Ergebnissen, sowie dessen statistische Auswertung werden in Kürze in Form einer weiteren Veröffentlichung präsentiert (Heller und Weiß 2013, in Vorbereitung).

4. Zusammenfassung und Ausblick

Aus den gewonnenen Erkenntnissen lassen sich einige methodische Vorgehensweisen für die Heißwasserextraktion von OB zur Bestimmung der labilen Fraktion ableiten. Dabei wird eine 2-stufige Extraktion vorgeschlagen:

- Zur Bestimmung von C im Heißwasserextrakt und unter Berücksichtigung der relativ hohen C-Gehalte von OB, wird ein Verhältnis Einwaage/Extraktionsmittel von 1/800 (w/v) vorgeschlagen.
- Zur Bestimmung von N im Heißwasserextrakt und unter Berücksichtigung der relativ, niedrigen Gehalte und damit verbundener hoher Streuungen, wird ein Verhältnis von 1/50 (w/v) vorgeschlagen.
- Für eine kombinierte Messung von C und N in einem Extrakt wird ein Verhältnis von 1/300 vorgeschlagen, dies stellt allerdings nur einen Kompromiss dar.
- Eine Filtration der Extrakte vor der Analyse ist nicht notwendig.
- Für die Trocknung der Proben erscheint die Lufttrocknung als ausreichend. Eine Gefriertrocknung ist nicht notwendig.
- Die Messung der Extrakte sollte mit einem automatischen C/N-Analysegerät erfolgen. Die Bestimmung von organischem C mittels nasser Oxidation durch Kaliumdichromat sollte aus Gründen des Gesundheits- bzw. Arbeitsschutzes nicht mehr durchgeführt werden.

5. Literaturangaben

Ad-hoc-AG Boden, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage, Hannover.

Carl Roth GmbH, 2012: Sicherheitsdatenblatt „Kaliumdichromat“ gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006, Karlsruhe.

Chodak, M., Khanna, P., Beese, F., 2003: Hot water extractable C and N in relation to microbiological properties of soils under beech forests. *Biol Fert Soils* 39(2), 123-130.

Ghani, A., Dexter, M., Perrot, K.W., 2003: Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biol Biochem*, 35, 1231-1243.

- Heller, C., Weiß, K., (in Vorbereitung): Approaching towards a standardized method for hot-water-extraction of peat material to determine and compare labile SOM in organic soils. *Comm Soil Sci Plan.*
- Kalisz, B., Lachacz, A., Glazewski, R., 2010: Transformation of some organic matter components in organic soils exposed to drainage. *Turk J Agric For* 34(3), 245-256.
- Khanna, P.K., Ludwig, B., Bauhus, J., O'Hara, C., 2001: Assessment and significance of labile organic C pools in forest soils. In: Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F., & Stewart, B.A. (Hrsg.): *Assessment methods for soil carbon (advances in soil science)*, 167-182, CRC Press, Boca Raton.
- Landgraf, D., Leinweber, P., Makeschin, F., 2006: Cold and hot water-extractable organic matter as indicators of litter decomposition in forest soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169(1), 76-82.
- Leinweber, P., Schulten, H.R., Körschens, M., 1995: Hot water extracted organic matter: chemical composition and temporal variations in a long-term field experiment. *Biol. Fertil. Soils*, 20(1), 17-23.
- Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Joosten, H., Minayeva, T., Silvius, M., Stringer, L. (Hrsg.), 2008: *Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report*. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen.
- Rinklebe, J., Heinrich, K., Neue, H.-U., 2001: Der umsetzbare Kohlenstoff als Indikator für die potenzielle bodenmikrobielle Aktivität in Auenböden. In: Scholz, M. Stab, F., Henle, K. (Hrsg.): *Indikation in Auen, Präsentation der Ergebnisse aus dem RIVA-Projekt*, 66-75, UFZ-Bericht Nr. 8/2001, Leipzig.
- Schulz, E., Körschens, M., 1998: Characterization of the decomposable part of soil organic matter (SOM) and transformation processes by hot water extraction. *Eurasian soil science* 31(7), 809-813.
- Sparling, G., Vojvodic-Vukovic, M., Schipper, L.A., 1998: Hot-water-soluble C as a simple measure of labile soil organic matter: The relationship with microbial biomass C. *Soil Biol Biochem*, 30, 1469-1472.
- Strack, M. (Hrsg.), 2008: *Peatlands and climate change*. International peat society, Jyväskylä.
- Succow, M., Joosten, H. (Hrsg.), 2001: *Landschaftsökologische Moorkunde*. 2. Aufl., E. Schweizerbart, Stuttgart.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2004: Methode A 4.3.2, Heißwasserextrahierbarer Kohlenstoff und Stickstoff. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), sowie Jutta Zeitz und Ines Dutschke.

Analyse von quartären Ammoniumverbindungen (QAV) in Futtermitteln

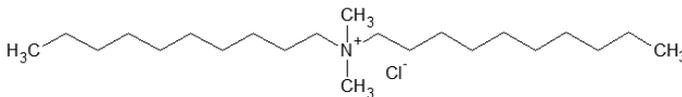
D. Martens¹, J. Andresen²

¹Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer, ²Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Rhein-Ruhr-Wupper, Krefeld

1. Einleitung

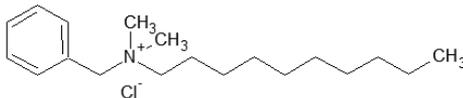
Im Sommer 2012 wurden hohe Konzentrationen von QAV in Gemüse und Kräutern gefunden. Die erhöhten Rückstände betrafen die Stoffe DDAC (Didecyldimethylammoniumchlorid) und BAC (Benzalkoniumchlorid) (Abb. 1). QAV sind insbesondere in Desinfektions- und Reinigungsmitteln enthalten, vor allem war es aber ein hoher DDAC-Gehalt in einem Pflanzenstärkungsmittel, das für die Kontamination der Obst- und Gemüsekulturen verantwortlich war. Ursprünglich galt ein Höchstgehalt von 0,01 mg/kg, der in vielen Proben überschritten wurde.

Didecyldimethylammoniumchlorid

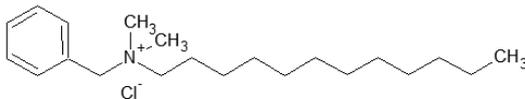


DDAC

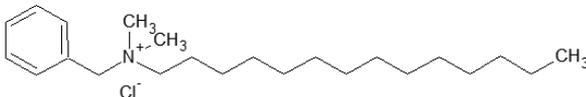
Benzyldimethylalkylammoniumchloride



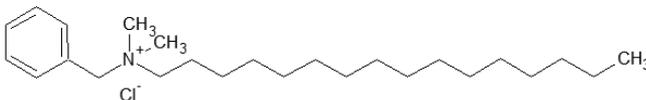
BAC 10



BAC 12



BAC 14



BAC 16

Abb. 1: Strukturformeln der QAV

Nach einer Neubewertung durch das BFR hat der Ständige Ausschuss für die Lebensmittelkette und Tiergesundheit (StALuT) der EU-Kommission sowohl für DDAC als auch für BAC eine vorläufige Höchstmenge von 0,5 mg/kg vorgeschlagen. Es wurde zudem ein QAV-Rückstandsmonitoring in Lebensmitteln und Futtermitteln angeregt, das die Bundes- und Landesbehörden 2012 gestartet haben. Für eine gute Vergleichbarkeit der Analysenergebnisse war eine einheitliche Methode vorteilhaft, die in der Fachgruppe VIII des VDLUFA diskutiert wurde. Auf Basis dieser Methode wurde an verschiedenen Instituten der Bundesländer ein QAV-Rückstandsmonitoring in Futtermitteln durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden hier zusammengefasst vorgestellt.

2. Methode

QAV in Futtermitteln wurden mit einer Variante der §64 LFGB-Methode L00.00-115 (BVL, 2007) und LC-MS/MS analysiert. Dazu wurden 5 g Probe mit 10 ml Wasser und 10 ml Acetonitril in einem verschließbaren Zentrifugenröhrchen 15 min geschüttelt, mit einer Mischung aus 4 g Magnesiumsulfat und 1 g Natriumchlorid nochmals kräftig geschüttelt. Anschließend wurde 5 Minuten mit mindestens 3000 g zentrifugiert. 6 ml Extrakt wurden in einem 15 ml Zentrifugenröhrchen mit 150 mg PSA, 900 mg MgSO₄ und C18-modifiziertes Kieselgel versetzt. Die Probe wurde 1 min geschüttelt und 5 Minuten mit mindestens 3000 g zentrifugiert.

Trotz des ionischen Charakters der QAV, konnte die LC-MS/MS-Analyse an einer RP-Säule mit einem Methanol/Ameisensäure-Gradienten durchgeführt werden. Die detektierten Einzelsubstanzen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Mit dieser Methode lassen sich Bestimmungsgrenzen von 0,01-0,02 mg/kg erreichen. Die Auswertung von wöchentlichen Kontrolluntersuchungen in einem Zeitraum von über einem Jahr ergab hohe Wiederfindungsraten und eine gute Interday-Präzision (Tab. 2). Die Richtigkeit der mit dieser Methode gewonnenen Ergebnisse konnte in dem EU-Proficiency-Test für Einzelmethoden SRM8 belegt werden.

Tab. 1: Massen der Molekül- und Fragmentionen

Name	Abkürzung	Masse MI	Masse FI
Didecyldimethyl- ammoniumchlorid	DDAC	326	186
Benzyldimethyldecyl- ammoniumchlorid	BAC-10	276	184
Benzyldimethyldodecyl- ammoniumchlorid	BAC-12	304	212
Benzyldimethyltetradecyl- ammoniumchlorid	BAC-14	332	240
Benzyldimethylhexadecyl- ammoniumchlorid	BAC-16	360	268

MI=Molekularionen; FI=Fragmentionen

Tab. 2: Wiederfindungsraten, Interday-Präzisionen und z-scores der mit dieser Methode erzielten Ergebnisse

	Wiederfindungs- rate (%)	Interday- Präzision (%)	Richtigkeit z-score
<i>DDAC</i>	102	13	-0,51
<i>BAC-12</i>	107	9	-0,15
<i>BAC-14</i>	100	9	

Durch die Anlehnung des Verfahrens an die §64-Methode L00.00-115, lässt sich die Analyse der QAV auch gut mit der Bestimmung von Pflanzenschutzmittelrückständen in Futtermitteln kombinieren.

Schwierigkeiten traten insbesondere durch Blindwerte verschiedener Herkunft auf, deren Ursache ermittelt und beseitigt werden musste.

3. Ergebnisse

In diese Zusammenfassung gingen die Ergebnisse von 98 Futtermittelproben ein, die in 7 Instituten erarbeitet wurden. Die Stichprobe umfasste verschiedenste Probenarten (Getreide, Ölsaaten, Leguminosen, Heu, Rüben-, Obst- und Milchprodukte sowie Mischfuttermittel), war aber nicht repräsentativ. Raps-, Milch- und Apfelprodukte wurden verhältnismäßig oft untersucht.

Der festgelegte Grenzwert von 0,5 mg/kg wurde in keinem Fall überschritten. Die höchsten Konzentrationen wurden in Apfel- und Milchprodukten gemessen (Abb. 2). Die Konzentrationen aller übrigen Proben waren kleiner als 0,05 mg/kg.

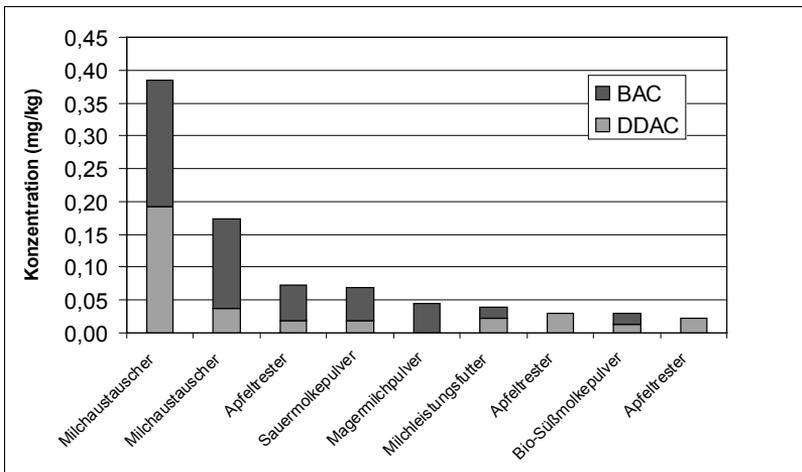


Abb. 2: Die höchsten QAV-Konzentrationen in den 98 untersuchten Futtermitteln.

Die hohen Konzentrationen sowie auch die hohen Anteile an Positivbefunden (Abb. 3) in Apfel- und Milchprodukten lassen sich mit den im Produktionsprozess notwendigen Hygienemaßnahmen erklären. Häufig werden hier QAV-haltige Desinfektionsmittel eingesetzt, die offenbar durch unzureichende Nachreinigung in die Produkte gelangen können. Erfreulicherweise waren die meisten der übrigen Futtermittel gar nicht belastet und wenn doch, nur mit sehr geringen QAV-Konzentrationen.

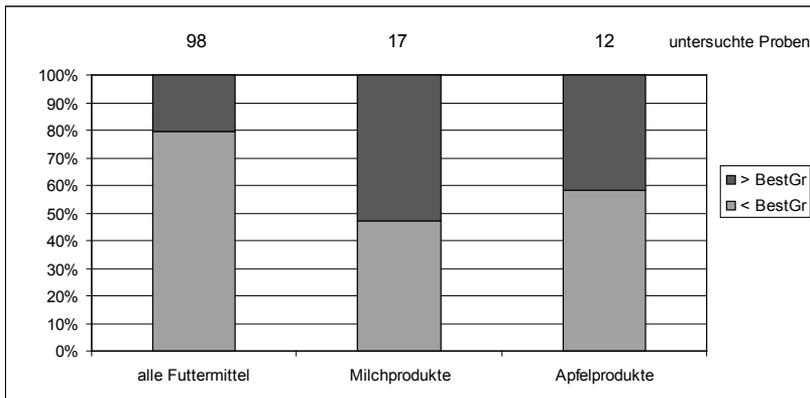


Abb. 3: Anteil an Positivbefunden in Futtermitteln, Milch und Apfelprodukten.

4. Literaturangaben

BVL (Hrsg.), 2002: §64 LFGB-Methode L00.00-115, Untersuchung von Lebensmitteln – Multimethode zur Bestimmung von Pflanzenschutzmittelrückständen in pflanzlichen Lebensmitteln mittels GC-MS(/MS) oder LC-MS/MS nach Acetonitril-Extraktion/Verteilung und Aufreinigung mittels dispersiver SPE (QuEChERS). In: Amtl. Sammlung § 64 LFGB, Lebensmittel, Teil 1, Beuth-Verlag, Berlin.

Danksagung

Allen beteiligten Mitarbeitern der Institute LTZ Augustenberg, BfUL Nossen, HU Hamburg, LLBB Potsdam, LHL Kassel, CVUA-RRW Krefeld und LUFA Speyer sei an dieser Stelle für die gute Arbeit und wertvolle Unterstützung dieser Studie gedankt.

Labordatenverarbeitung in der 4ten Dimension!

J. Flekna

Pragmatis GmbH, Neufahrn

1. Einleitung

Telefongesellschaften und große Internetshops machen es schon lange: Operative Daten mit sogenannten BI (Business Intelligence)-Tools nach verborgenen Datenschätzen durchsuchen und Management-Kennzahlen generieren. Die Technik hierfür liefern die Datenbankhersteller mit der Abfragesprache SQL und speziellen Aggregier- und Modellierfunktionen. Der Vorteil dieser Auswerteverfahren besteht u. a. im Laufzeitverhalten. Die Informationen stehen vorangregiert sofort zur Verfügung.

Im Vortrag wurde LIMS-BI anhand eines kaufmännischen LIMS-Moduls vorgestellt, das Kunden- und Abteilungsumsätze u. a. auf Tage, Wochen, Monate und Jahre verdichtet darstellt. Mit einer Drill-Down-Funktion können makroskopische Auswertungen verfeinert werden.

Den Jahresgesamtumsatz mit einer Prüfmethode kann man beispielsweise auf Monatsumsätze je Kunde verfeinern. Die ermittelten Kennzahlen werden in anpassbaren Berichtsvorlagen in Form von Tabellen und Grafiken dargestellt.

2. Ausgangssituation klassisches LIMS

LIMS steht für Labor-Informations- und Management-System. Diese Kategorie von Softwaresystemen befasst sich mit der Datenverarbeitung im Labor. Klassische LIM-Systeme dienen der Proben- und Messwerterfassung und der Prüfberichtserstellung.

Moderne LIM-Systeme ermöglichen nicht nur die Verarbeitung von Primär- und deren Metadaten, sondern auch die von Datenobjekten, wie Mediendateien, Dokumenten u. a. m., die in der Informationstechnik unter dem Begriff LOB (large Object) zusammengefasst werden.

Für das Bearbeiten und Verwalten von LOBs werden Module des Dokumentenmanagements und der Bildverarbeitung eingesetzt.

Weitere Funktionen moderner LIM-Systeme betreffen das Qualitätsmanagement und Fakturierung. Kontrollkarten, SOPs und Qualifizierungsprofile von Mitarbeitern können verwaltet und Rechnungen, die auf individualisierbaren Preislisten beruhen, erstellt werden.

Durch diese zusätzlichen Aufgaben wachsen auch die zu verwaltenden Datenmengen. Das derzeitige Trendthema BigData, also die Verarbeitung und Verwaltung von informationsarmen, aber umfangreichen Daten, wie z. B. Spektren-Rohdaten verschärft diesen Datenzuwachs.

LIM-Systeme sind gewöhnlich mit sogenannten OLTP (Online Transaction Processing)-Funktionen zur Informationsrecherche ausgestattet. Diese ermöglichen den direkten Zugriff auf die operativen Daten des LIMS. Die Rechercheergebnisse werden sofort angezeigt und können als Bericht ausgegeben oder über eine Dateischnittstelle oder die Windows-Ablage an andere Systeme wie z. B. Excel übergeben werden.

Der Vorteil der direkten Auswertung von Originaldaten wird zum Nachteil, wenn der Auswertefokus eine sehr große Originaldatenmenge, wie z. B. alle Daten eines Jahres betrifft. Die Reaktionszeit der Auswertung wird unbefriedigend und das operative System wird dadurch stark belastet.

Die Informationstechnik unterscheidet deshalb hier die für operative Daten von den für Auswertedaten zuständigen Systemen und bezeichnet die Auswertesysteme als Business-Intelligence- oder Datawarehouse-Systeme.

3. Datawarehouse und Business Intelligence

Die Idee von Datawarehouse-Systemen ist einfach: Operative Daten werden in einem separaten Datenbanksystem in Form von Datenaggregaten mit mengenstatistischen Kennzahlen zusammengefasst. Hierzu wird nach sogenannten Dimensionen verdichtet. Typische Dimensionen im LIMS-Umfeld sind:

- Datum
- Labor

- Kunde
- Ort
- Matrix
- Untersuchungspaket
- Methode
- Parameter

Zu den typischerweise ermittelten – auch Fakten genannten – Kennzahlen zählen:

- Anzahl Proben
- Anzahl Parameter
- Anzahl Einzelwerte
- Minimum Untersuchungsdauer
- Maximum Untersuchungsdauer
- Mittelwert Untersuchungsdauer
- OE (Effizienz)
- Rang
- Summe Preis
- Summe Kosten
- Summe Zeit

Die Dimensionen und Fakten werden automatisiert periodisch ermittelt und stehen direkt für Auswertungen zur Verfügung.

4. Pragmatis LIMS-Modul LabStat

LabStat ist eine LIMS-Komponente von Pragmatis, die das LIMS um Business-Intelligence-Funktionalität erweitert. Für die Verdichtung der Daten macht sich LabStat die seit Oracle-Version 8i verfügbaren SQL-Funktionen ROLLUP, CUBE und GROUPING zu eigen. Diese Datenbank-Standardfunktionen ermöglichen u. a. sämtliche Verdichtungskombinationen inklusive Subtotalen und Gesamttotalen in einem SQL-Aufruf (siehe Abb. 1).

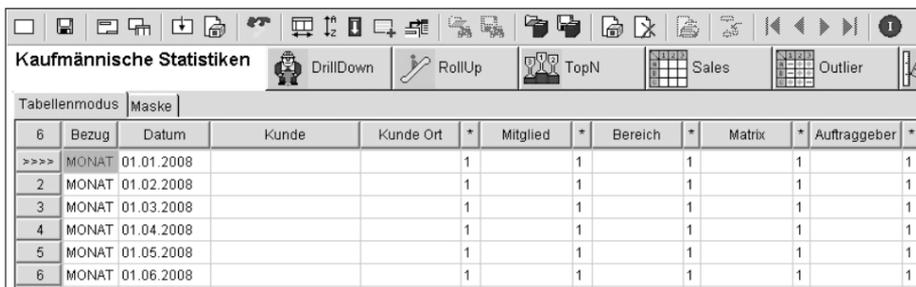
LabStat führt über eine Art Taskplaner einstellbar zeitgesteuert die Verdichtungsvorgänge durch und stellt die erzeugten Datenaggregate in speziellen Auswertedialogen und -berichten zur Verfügung (siehe Abb. 2).

```

group by datum, cube
(
  adr_id,
  mitglied,
  bereich,
  matrix,
  upak_id,
  para_id,
  labor_id,
  auftraggeber
);
end labstatRefreshMonat;
/

```

Abb. 1: Verwendung der SQL-Funktion CUBE



The screenshot shows the 'Kaufmännische Statistiken' (Commercial Statistics) interface. It features a toolbar with various analysis tools like DrillDown, RollUp, TopN, Sales, and Outlier. Below the toolbar, there are tabs for 'Tabellenmodus' and 'Maske'. The main area displays a data table with the following structure:

6	Bezug	Datum	Kunde	Kunde Ort	*	Mitglied	*	Bereich	*	Matrix	*	Auftraggeber	*
>>>>	MONAT	01.01.2008			1		1		1		1		1
2	MONAT	01.02.2008			1		1		1		1		1
3	MONAT	01.03.2008			1		1		1		1		1
4	MONAT	01.04.2008			1		1		1		1		1
5	MONAT	01.05.2008			1		1		1		1		1
6	MONAT	01.06.2008			1		1		1		1		1

Abb. 2: Auszug LabStat-Maske

Die Bildschirmdialoge bzw. -masken ermöglichen die Selektion nach Merkmalen der Verdichtungsdatensätze. Es kann hier beispielsweise nach den Dimensionen Datum (Jahr, Monat, etc.), Auftraggeber bzw. Kunde oder Labor selektiert werden.

Drilldown ermöglicht die Verfeinerung der Daten auf niedrigere Aggregationsstufen. Mit Rollup kann man dagegen die Aggregation erhöhen. Zu den Aggregationen werden jeweils die Fakten, wie Anzahl und Summe am Bildschirm angezeigt.

LabStat ermöglicht neben der Online-Recherche in Bildschirmmasken die automatisierbare Erzeugung von Standardauswertungen. Hierfür werden die Daten

in mittels Reportgenerator selbst erstellten Berichtsvorlagen in Listen und Grafiken dargestellt, als PDF gespeichert oder auf den Drucker ausgegeben. (siehe Abb. 3 und Abb. 4).

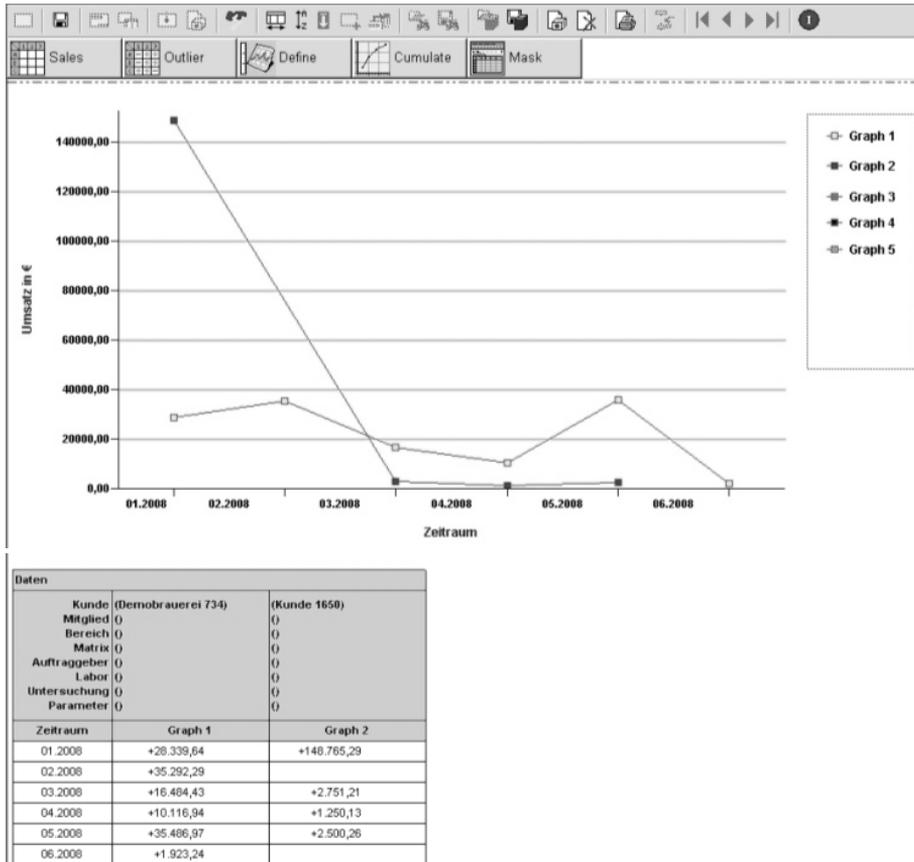


Abb. 3: Auszug LabStat-Report mit Umsatzgrafik

	01.2008	02.2008	03.2008	04.2008
Abw. in %				
Umsatz [€]				
K-Demobrauerei 734 Mg= B= Mx=		+25	-53	-38
A= L= U= P=	+28.339,64	+35.292,29	+16.484,43	+10.116,94
K-Kunde 1650 Mg= B= Mx=			-98	-54
A= L= U= P=	+148.765,29		+2.751,21	+1.250,13

Abb. 4: Auszug LabStat-Report mit Monatsumsätzen

Seit kurzem steht die LabStat-Komponente auch als vpLIMS-App zur Verfügung. VpLIMS ist ein webbasiertes, aus Apps bestehendes LIMS, das auf iOS, Android, Linux und MS-Windows mit Desktop, Tablet und Smartphone lauffähig ist.

5. Zusammenfassung

LabStat ist eine LIMS-Komponente von Pragmatis, stellt nach Dimensionen vor-aggregierte Auswertungsdatensätze zur Verfügung und liefert damit die Daten-grundlage für

- Zeitraumberichte (Jahresberichte)
- das Controlling (Durchlaufzeiten, Effizienz)
- den Vertrieb (Kennzahlen Kunde/Produkt/Umsatz)

LabStat bietet dem Laborleiter kaufmännisch relevante Daten wie Auslastung oder Effizienz an, die zur Vertretung der Abteilungsinteressen oder für Jahres-berichte normalerweise mühsam und zeitaufwändig ermittelt werden müssten.

Die Qualität von Faseranalysen und Untersuchungen im Umfeld von Biogasanlagen

G. Henkelmann, K. Fischer-Kaiser

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen, Freising-Weihenstephan

1. Einleitung

Die Bioenergie hat in den vergangenen Jahren einen enormen Aufschwung genommen. Dabei sind die Laboranalysen für die Prozessbeurteilung, -stabilität und -steuerung von Biogasanlagen von großer Bedeutung. Im Umfeld der Biogasdienstleister werden dem Betreiber einer Anlage zahlreiche Analyseverfahren angeboten, mit denen eine Biogasanlage vom Substrat bis zum verkehrsfähigen Gärrest begleitet werden kann. Viele dieser Labormethoden entstammen jedoch Bereichen, die mit der Bioenergie zunächst wenig gemeinsam haben. So werden für Untersuchungen von Einsatzstoffen (Substraten) oft Verfahren aus der Futtermitteluntersuchung übernommen, die zur Beurteilung der organischen Substanz im Prozess- und Gärprodukt dienen sollen. Insbesondere die Faseranalytik nach „Weender“ und die „erweiterte Weender“ Analytik nach van Soest werden bei Laboren beauftragt, die Analysen für die Einsatzstoffe und die Prozessbeurteilung im Umfeld von Biogasanlagen anbieten.

Dabei stammt die sog. „Weender Futtermittelanalytik“ aus dem Jahr 1860 und wurde von Wilhelm Henneberg und Friedrich Strohmann in Göttingen entwickelt (Lehmann, 1890). Sie ist ein Standardverfahren zur Ermittlung der Inhaltsstoffe von Futtermitteln. Die Methode bestimmt Rohasche, Rohfaser, Rohprotein, Rohfett und berechnet alles, was nicht analytisch erfassbar ist, zu den sog. stickstofffreien Extraktstoffen.

2. Die Rohfaseranalytik nach „Weender“

Rohfasern sind Pflanzenbestandteile, die in der Tierernährung teilweise abgebaut und in Energie umgesetzt werden können. Analog wird erwartet, dass die Fasern in einer Biogasanlage zu Methangas metabolisiert werden können. Doch ist der Verdauungstrakt eines Rindes nicht analog aufgebaut wie ein Bio-

gasfermenter. Anders als Stärke oder Zucker bestehen Rohfasern wie Cellulose zwar auch aus Polysacchariden, sie sind allerdings während der kurzen Verweilzeit in einer Biogasanlage nur schwer aufzuschließen. Sie stellen damit eher ein Problem für den Prozess dar, da die Hydrolyse als erster Schritt sehr zeit- und energieaufwändig ist, und die Fasern am Ende der Gärzeit im Reaktor oft noch nicht abgebaut in den Gärresten vorhanden sind. Je geringer der Faseranteil insgesamt, desto besser läuft die Methanproduktion. Zusätzlich gibt die Faseranalyse Auskunft über die Qualität, die die Gärreste nach dem Endlager für die Ausbringung auf ein Feld noch haben (Bauer et al., 2011). Je größer der Anteil an Fasern, die noch immer hohe Anteile von langsam abbaubarem Kohlenstoff enthalten, desto größer ist die Qualität der nachhaltigen Düngewirkung, da im Gärrest sehr viel Stickstoff enthalten ist und mit den Faseranteilen das optimale Kohlenstoff-zu-Stickstoff-Verhältnis im Boden geschaffen wird, um die Bodenfruchtbarkeit und die Humusneubildung durch Bodenbakterien zu erhöhen.

Analytisch beinhalten diese Faserfraktionen die Cellulosen, Hemizellulose und die Lignine (siehe Abb. 1). Idealerweise sollen aber die Analysen zur Beurteilung der Vergärbarkeit zu Methangas aus den Einsatzstoffen (Substraten) dienen. Der Rohfaserwert ist dazu jedoch kaum geeignet.

3. Die Faseranalytik „Erweiterte Weender“

Die erweiterte Weender Analyse (auch Detergenzien-Analyse der Zellwandbestandteile) stellt eine Erweiterung der Weender Futtermittelanalyse zur Untersuchung von Futtermitteln dar und wurde erstmals im Jahre 1967 von van Soest und Wine publiziert.

Hiermit hatte man zum ersten Mal eine Methode, um die Fraktion der unlöslichen Fasern (insoluble dietary fibre) aus den Zellwänden von Pflanzen zu isolieren und entsprechend ihrer Löslichkeit in unterschiedlichen Lösungsmitteln zu unterscheiden. Allerdings war die unterschiedliche Löslichkeit in einer Detergenzienlösung und in schwacher und starker Schwefelsäure nicht dazu gedacht, etwas über das Verhalten im Rindermagen auszusagen und sie ist noch nicht einmal ansatzweise dazu geeignet, etwas über die bakterielle oder enzymatische Vergärbarkeit in einem Biogasreaktor abzuleiten. Der Biogasbereich verwendet hier also Parameter, die keinerlei Korrelation zu den tatsächlichen Vorgängen im Fermenter aufweisen und mit der Hydrolyse, Vergärung

oder Methangasproduktion kaum einen Zusammenhang haben. Versuche, die Parameter der „Erweiterten Weender“ Analytik mit der Energieausbeute oder der Methangasproduktion zu korrelieren zeigten bisher wenig gute Ergebnisse.

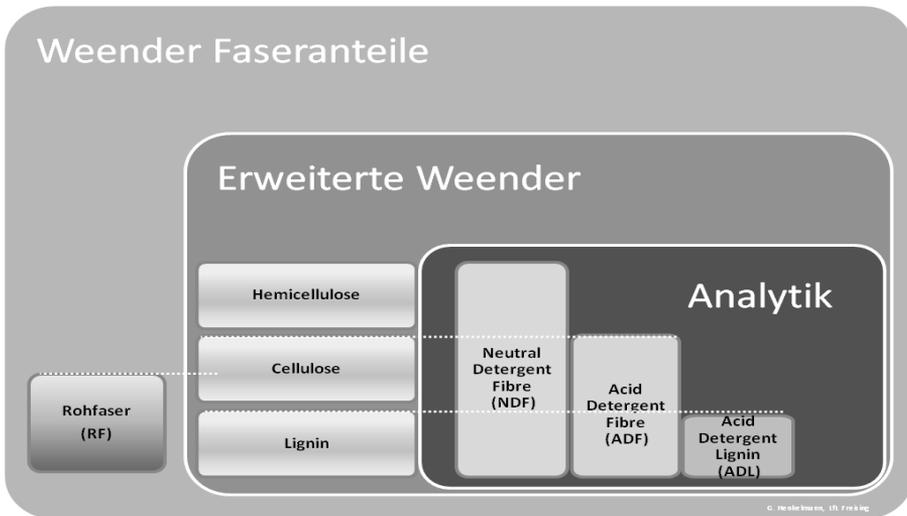


Abb. 1: Die Weender Futtermittelanalytik berücksichtigte ursprünglich nur die Rohfasern. Die erweiterte Weender Analytik NDF, ADF und ADL

4. Ringversuche der LfL

Grundlage für die Einführung eines Ringversuchswesens an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) war eine im Jahr 2008 von der LfL bayernweit durchgeführte Bedarfsanalyse. Diese hatte gezeigt, dass häufig nur geringe Erkenntnisse über die Qualität der im Biogasbereich notwendigen Analytik und hohe Unsicherheiten bezüglich wesentlicher Schlüsselparameter im Biogasbereich vorliegen (siehe auch Henkelmann et al., 2011). Daher wurden an die Teilnehmer der Ringversuche unterschiedliche Matrices, z. B. Einsatzstoffe, Fermenterinnhalte, Gärreste und mit Carbonsäuren dotierter Fermenterinnhalte verschickt. Jeder Ringversuchsteilnehmer konnte selbst wählen, welche Untersuchungen und Methoden er innerhalb einer Ringversuchsgruppe durchführen wollte (siehe Meyer zu Köcker und Henkelmann, 2011). Eine erfolgreiche Teilnahme wird mit einem Eintrag in der Broschüre „Labordienstleister für Biogasanlagen“ belohnt. Die Liste ist auf der Internet-Homepage des „Biogas-Forum-Bayern“ zum Download verfügbar.

Diese Ringversuche werden von den Laboren sehr gut angenommen, denn sie dienen dazu, die laboreigenen Methoden zu prüfen, zu optimieren und die Qualität der Laboranalytik nachhaltig zu verbessern.

Dazu kommt, dass es für viele der zur Beurteilung des Fermentationsprozesses relevanten Messgrößen keine allgemein anerkannten Methoden oder DIN-Normen gibt. Durch die Auswertung der verwendeten Analytik soll nun versucht werden, über die Qualität der eingesetzten Methoden die Besten herauszufiltern und letztendlich diese dann zu empfehlen (Henkelmann et al., 2013).

5. Ergebnisse

Anhand großer Analysenzahlen in den unterschiedlichen Laboren mit unterschiedlichen Methoden zeigt sich, dass die Faseranalytik häufig nach den Faseranalysen der VDLUFA (1976) durchgeführt wurden. Diese Methoden wurden jedoch ursprünglich für die Untersuchung der Futtermittel für Wiederkäuer entwickelt oder entstammen den Ballaststoffanalysen der Lebensmitteluntersuchung. Ein Überblick über die in den Laboren für die Vergleichsuntersuchungen eingesetzten Methoden ist in der Abbildung 2 dargestellt.

Nahezu 70 % der untersuchenden Labore verwenden bei den insgesamt 333 in den LfL-Ringversuchen durchgeführten Faseranalysen die VDLUFA (Methoden nach Methodenband III, Futtermittel, Kapitel 6.1.1 (amtlich) Rohfaser, Kapitel 6.5.1, aNDF, Kapitel 6.5.2 ADF und Kapitel 6.5.3 ADL). Dies zeigt den hohen Stellenwert, den die VDLUFA im Bereich der landwirtschaftlichen Untersuchungslabore genießt. Gerade im relativ jungen Bioenergiebereich birgt dies jedoch auch eine Verpflichtung, geeignete Methoden in den Methodensammlungen zu empfehlen, die speziell für die Anwendungen in diesem Bereich, z. B. für Fermenterinhalte und Gärreste, geeignet sind.

Beispielhaft sei hier die Untersuchung der Lignin-Fasern (ADL) aus dem Ringversuch 4 dargestellt. Die Relative Vergleichsstandardabweichung war mit über 30 sehr hoch. Der Parameter ADL kann mit der herkömmlichen gravimetrischen Methode nur unzureichend geprüft und eine solche Untersuchung nicht sinnvoll interpretiert werden. Denn gerade ein nicht verdaulicher bzw. nicht vergärbare Anteil von Lignin wäre möglicherweise ein guter Hinweis für unvermeidliche Methanverluste im Prozess, ist aber wegen der schlechten Vergleichsstandard-

abweichungen nicht brauchbar. In der folgenden Abbildung sind die verwendeten Methoden und die Ergebnisse beispielhaft dargestellt.

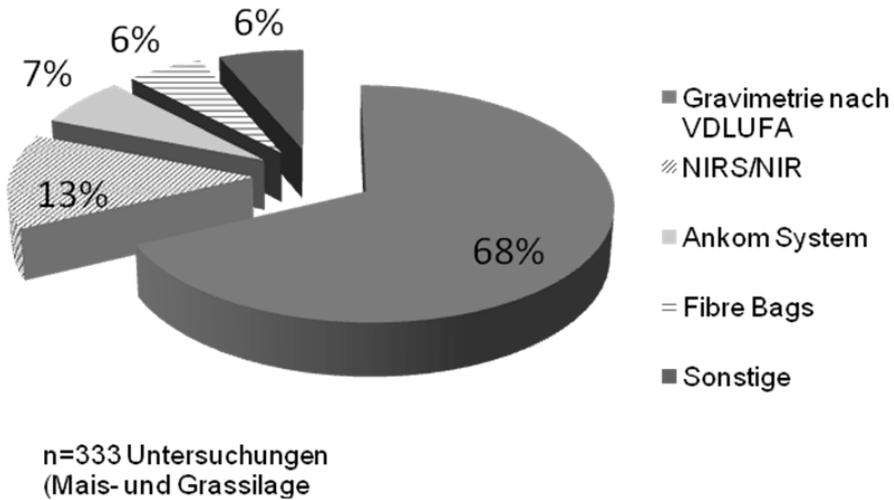


Abb. 2: Die im Faserbereich verwendeten Methoden zur Faserbestimmung (Ergebnisse aus 333 Einzeluntersuchungen)

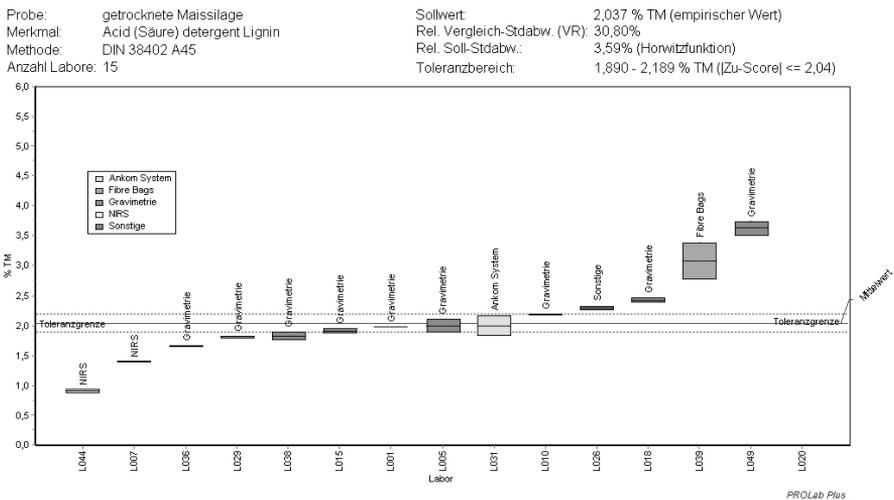


Abb. 3: Die im Faserbereich verwendete Ligninbestimmung (Säure-Detergentien-Lignin = ADL) beispielhaft im Ringversuch Nr. 4

In einigen Fällen wird der Toleranzbereich, der zwischen 1,89 % und 2,19 % lag, deutlich über- oder unterschritten. Betrachtet man nun die relativen Standardabweichungen der letzten Ringversuche bei Fasern, so ist deutlich zu sehen, dass gerade die Lignin-Untersuchungen (ADL) immer sehr schlecht abschnitten.

Im Durchschnitt lagen die relativen Standardabweichungen für die einzelnen Untersuchungen z. B. bei NDF bei 10,4 %, die ADF-Untersuchungen bei 7,0 % und die ADL-Untersuchungen bei 25,2 %.

Tab. 1: Rel. Vergleichsstandardabweichungen in den Ringversuchen von 2009 bis 2013

Ringversuch	Nr.1	Nr. 2	Nr. 3	Nr.4	Nr. 5	Nr. 6
NDF	<i>11,28</i>	<i>4,77</i>	<i>26,76</i>	<i>6,53</i>	<i>5,53</i>	<i>7,49</i>
ADF	<i>4,43</i>	<i>8,43</i>	<i>7,80</i>	<i>8,60</i>	<i>5,38</i>	<i>7,19</i>
ADL	<i>23,83</i>	<i>25,12</i>	<i>17,23</i>	<i>30,80</i>	<i>27,17</i>	<i>26,89</i>

Daran ist zu sehen, dass es hier im Bereich der Faseranalytik, insbesondere für die Erzeugung von Biogas aus Biomasse, ein starkes Verbesserungspotential gibt. Zudem sollten für den Bereich der Bioenergie zunehmend neue Methoden eingeführt werden, die die tatsächlichen Verhältnisse der Inhaltsstoffe Cellulose, Hemizellulose und Lignin besser abbilden und die Ergebnisse besser nutzbar machen. Erste Ansätze mit enzymatischem Abbau z. B. über die „Enzymlösliche organische Substanz ELOS, (z. B. nach Stadler und Henkelmann, 2012) oder der moderne Ansatz zur Zerlegung der Polysaccharide und der folgenden Analytik der Monomeren sind bereits in der Literatur beschrieben worden. Diese sollten weiterentwickelt, validiert und in die VDLUFA-Methodensammlung aufgenommen werden.

6. Zusammenfassung

Die Laboranalytik bietet dem Betreiber einer Biogasanlage zahlreiche Analyseverfahren, mit denen seine Anlage vom Substrat bis zum verkehrsfähigen Gärrest begleitet werden kann. In welchem Umfang und mit welcher Frequenz diese Parameter untersucht werden sollen, liegt im Ermessen des Anlagenbetreibers und ist abhängig von der Technik, der Auslastung und dem Betriebszustand einer solchen Anlage (Fischer und Henkelmann, 2013).

So kann sich ein Betreiber im störungsfreien Routinebetrieb sicherlich mit wenigen Routinemessungen ein Bild über den Zustand seiner Anlage verschaffen. Er benötigt jedoch intensive und schnelle Unterstützung mit Messergebnissen, wenn der Biogasprozess gestört ist, die Methanproduktion zurückgeht oder ein Wechsel im Einsatzstoff erfolgen soll. Wenn auch die Rohfaseranalytik bei Futtermitteln in reinen Futtermittellaboren ganz gut funktioniert, so ist es fraglich, welchen Nutzen man wirklich aus den Untersuchungsergebnissen für den Biogas-Fermentationsprozess ziehen kann. Denn ein Zusammenhang mit der Biogasproduktion ist nicht nachweisbar. Darüber hinaus zeigte sich in den Vergleichsmessungen, die im Bereich der Biogasproduktion durchgeführt wurden, dass die Ergebnisse der Faseranalysen insgesamt von schlechter Qualität und ungenügender Vergleichbarkeit waren. Dies liegt einerseits an den Einsatzstoffen, die oft von schlechterer Qualität sind als wenn sie als Futtermittel eingesetzt würden, andererseits an der oft veränderten Probenvorbereitung oder an der zu untersuchenden Matrix. Leider werden im Bioenergiebereich sehr häufig Methoden „zweckentfremdet“ verwendet, da es eine „echte“ Biogasanalytik noch nicht gibt. So wurden auch die ursprünglichen Methoden Rohfaser, NDF, ADF und ADL für Wiederkäuer-Futtermittel, aber nicht für Gülle, Fermenterhalte und Gärreste konzipiert. Sie sind daher auch nicht für Prozessaussagen geeignet und können auch kaum zur Berechnung und zur Interpretation von Methanausbeuten, Energie- oder Restgaspotentialen herangezogen werden.

7. Literaturangaben

Bauer, J., Henkelmann, G., 2011: Biogastechnologie zur umweltverträglichen Flüssigmistverwertung und Energiegewinnung in Wasserschutzgebieten. Tagungsband zur internationalen Tagung in Aulendorf; 17.-18.10.2011 Kloster Reute.

Biogas Forum Bayern, Internetseite der Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e. V. Vöttinger Str. 36, Freising und der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, <http://www.biogas-forum-bayern.de/>.

Fischer, K., Henkelmann, G., 2013: Poster zur 22. BIOGAS Jahrestagung und Fachmesse vom 29.-31.01.2013 in Leipzig, „Analysequalität von Steuerungsparametern im Biogasprozess“.

- Henkelmann, G., Fischer, K., Gaul, Th., 2013: Joule, „Die Unterschiede werden kleiner – Ergebnisse der Biogas-Ringversuche nähern sich weiter an“. Joule Heft 4, 2013 (Juli/August 2013).
- Henkelmann, G., Meyer zu Köcker, K., Götz, J., Beck, J., 2011: Schlüsselparameter zur Kontrolle des Gärprozesses und Motivation, Voraussetzung und Möglichkeiten für die Prozessüberwachung. Tagung: „Gülle 11“ - Gülledüngung und Gärrestdüngung auf Grünland am Landwirtschaftlichen Zentrum, Baden Württemberg, Tagungsband 2011.
- Lehmann, F., 1890: Wilhelm Henneberg. Journal für Landwirtschaft, Bd. 38, 503-546 (m. Bild u. Schriftenverzeichnis), Neuauflage v. Franz.
- Meyer zu Köcker, K., Henkelmann, G., 2011: Ringversuche für Laboranalytik – der Weg zur Qualität. Biogas Journal, Heft 1 (2011), 85-88.
- Stadler, B., Henkelmann, G., 2012: Moderne Analytik von ELOS in pflanzlichen Rohstoffen im Bioenergie und Futtermittelbereich. VDLUFA Schriftenreihe Band 67, 855-864. Kongressband zur Tagung 2012 in Passau, VDLUFA-Verlag, Dortmund.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1993: Methode 6.1.1 Bestimmung der Rohfaser. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln: 3. Aufl., 3. Erg., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Methode 6.5.1 Bestimmung der Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung (aNDFom). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln: 3. Aufl., 8. Erg., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Methode 6.5.2 Bestimmung der Säure-Detergenzien-Faser (ADF) und der Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung (ADFom). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln: 3. Aufl., 8. Erg., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Methode 6.5.3 Bestimmung der Säure-Detergenzien-Lignins (ADL). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln: 3. Aufl., 8. Erg., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Methodendiskussion zur Bestimmung des Restgaspotenzials von Gärresten

G. Reinhold, K. Gödeke, F. Hengelhaupt

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Problemstellung

Die Einführung der Biogastechnologie in die Landwirtschaft Deutschlands wurde durch das EEG 2000 initiiert. Seit 2004 erfolgte bis zur EEG Novelle 2012 eine stürmische Entwicklung, die durch unterschiedliche Agrarstrukturen in den einzelnen Regionen, aber auch durch die Tätigkeiten der Firmen zu vielfältigen verfahrenstechnischen Lösungen zur Biogaserzeugung geführt hat.

Die Auswahl der Verfahren und die entsprechende Anlagenauslegung erfolgten oft nur nach ökonomischen Kriterien. Auf eine hohe Ausnutzung des Gasbildungspotentials und mögliche Umweltgefahren durch Restgasemissionen bei der Lagerung wurde besonders in der Phase niedriger Agrarpreise zu wenig Wert gelegt. Aber besonders für Biogasanlagen (BGA) mit hohen Substratkosten, d. h. nur geringer Einsatz von kostenarmen Substraten wie Wirtschaftsdünger und Reststoffen, ist aber die Gasausbeute ($\text{m}^3/\text{kg oTS}$) ein wesentlicher Faktor. Die Substratkosten sind oft der bestimmende Faktor für den ökonomischen Erfolg, der durch andere Effizienzfaktoren wie z. B. den BHKW-Wirkungsgrad und die Wärmenutzung nur unzureichend kompensiert werden kann. Umweltseitig führt eine gute Substratausnutzung, ausgedrückt in Form einer hohen Gasausbeute, automatisch zu einem geringeren Restgaspotential.

Vielfältige Betriebsvarianten und verfahrenstechnische Konzepte zielten auf eine maximale Auslastung der Investitionen, meist nur gemessen an der Volllaststundenzahl ab. So erfolgt die verfahrenstechnische Auslegung einer BGA zum Teil nicht auf hohe Gasausbeuten, was bei NAWARO-Einsatz nötig wäre, sondern zu pauschal über die Verweilzeit mit dem vorrangigen Ziel geringer Investitionen bzw. der Vergütungsoptimierung. Nur bei Einsatz von kostenfreien Wirtschaftsdüngern und Reststoffen kann die maximale Ausnutzung der Investitionen durch hohe Faulraumbelastung ein ökonomisch anzustrebender Weg sein.

Im Sinne des Klimaschutzes und eines wirtschaftlichen Betriebes von BGA sollten die Methanemissionen aus Gärresten so gering wie möglich gehalten werden. Das Restgaspotenzial von Gärresten hängt jedoch von verschiedenen Einflussfaktoren ab. Die VDI-Richtlinie 3475 macht zwar Angaben, wie das Restgaspotenzial zu messen ist und wie hoch die Emissionen maximal sein dürfen, lässt jedoch Spielräume bzgl. der Umsetzung, z. B. zur Bezugsbasis der Berechnungen.

Ziel eigener Arbeiten war es, neben der Ermittlung der wesentlichen verfahrenstechnischen Einflussfaktoren auf das Restgaspotential, besonders auch die Methoden der Gärversuche zu Bestimmung des Restgaspotentials zu betrachten. Schwerpunkte bilden hierbei die Forderung des Einsatzes von Inokulum sowie die Forderung der VDI-Richtlinie 3475 zur Herangehensweise bzgl. Bestimmung des Restgaspotentials als „... Restmethanbildung pro Stunde ...“, wobei die Ableitung eines Prozentwertes hierbei methodisch höchst unklar ist. In einzelnen Bundesländern haben die Forderungen der VDI 3475 sogar schon Einzug in den Verwaltungsvollzug gehalten und sind nach BImSchV-relevanten Änderungen an der Anlage einzuhalten.

Auch die im Methodenhandbuch des VDLUFA nachlesbare „Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute in Gärtests“ ist nur begrenzt als standardisierte Laborbedingungen zur Ermittlung des Restgaspotentials nutzbar.

2. Material und Methoden

Die Auswertung des Anlagenbestandes in Thüringen zeigt, bei Bezug auf den gesamten gasdicht abgedeckten Raum, eine erhebliche Spannweite in der Verweilzeit (Mittelwert: 102 d, Spanne 25-240 d) und der Belastung (Mittelwert: 2,15 kg/m³, Spanne 0,45-6,15 kg/m³), die vorrangig durch Unterschiede im Gülleanteil verursacht wird.

Bei der Auswahl von 17 BGA für die Untersuchungen zum Restgaspotential wurde auf eine hohe verfahrenstechnische Variabilität geachtet, um die möglichen Spannbreiten der in der Praxis vorkommenden Anlagen abzubilden. Zusätzlich wurde auf unterschiedliche Fütterungen geachtet. Im Einzelnen variierte in den ausgewählten BGA der Wirtschaftsdüngeranteil im Bereich von 0 bis 100 %. Der NAWARO-Anteil ist durch unterschiedliche Mengenanteile von

Mais-, Anwelk- und Ganzpflanzensilage sowie Getreidekorn gekennzeichnet. Mit steigendem NAWARO-Anteil findet in der Regel auch eine Erhöhung des TS-Gehaltes statt und notwendigerweise eine Verlängerung der Verweilzeit zur Begrenzung der Belastung. Die kürzeren Verweilzeiten waren in der Praxis in den Anlagen mit einem hohen Gülleanteil und die längeren in NAWARO-Anlagen zu finden. Hinsichtlich der Anlagengröße kamen Anlagen von 1 600 bis 7 200 m³ Faulraum bzw. 200 bis 1 600 kW installierter Leistung in die Auswahl. Diese Anlagen besaßen eine Stufigkeit von 1 bis 4 Behältern und rezirkulieren bis zu 16% des Volumens des 1. Fermenters.

Die erforderlichen Gärrestproben wurden aus dem Ablauf der letzten gasdicht abgedeckten Stufe der BGA entnommen und einer nasschemischen Analyse vor der Restgaspotentialbestimmung mit dem Hohenheimer Biogasertragstest (HBT) unterzogen.

Die Vergärung im HBT erfolgte, über einen Zeitraum von 40 Tagen, in jeweils drei Wiederholungen. Zur Klärung des Temperatureinflusses erfolgten 3 parallele Ansätze. Die Temperaturstufe 37 °C wurde gewählt, um bei üblichen Labor-Vergärungstemperaturen das Restgaspotential zu ermitteln. 25 °C Gärtemperatur simulierten die Lager- und Emissionsbedingungen im Sommer. Diese beiden Ansätze wurden im HBT vergoren. Die Vergärungstemperatur in der mittleren Temperaturstufe wurde im Gegensatz zur VDI 3475 mit 25 °C gewählt, da sonst zur Heizung zusätzlich eine Kühlung erforderlich gewesen wäre. Auch wurden die Versuche nicht über 60 Tage sondern nur über 40 Tage geführt.

Ein dritter Ansatz erfolgte unter vergleichbaren Bedingungen bei 10 °C im Kühlschrank, allerdings mit manueller Substratmischung. Damit werden die Lagerbedingungen im Winter simuliert. Des Weiteren ist der in der VDI 4630 vorgeschriebene Einsatz von Impfschlamm bei der Restgasermittlung nicht erfolgt.

3. Ergebnisse

3.1 Einfluss der Vergärungstemperatur

Das Restgaspotential wurde bei 37 °C, d. h. bei der in der Praxis üblichen Vergärungstemperatur ermittelt. Es zeigt, welche Gasbildung unter optimalen Vergärungsbedingungen noch möglich wäre. Dieses ermittelte Restgaspotential ist, bezüglich der tatsächlich in der Praxis zu erwartenden Methanemission aus

Gärrestlagern nur begrenzt aussagefähig, da hier wesentlich geringere Temperaturen und auch von Anlage zu Anlage deutlich variierende Temperaturen auftreten. Die zusätzliche erfolgte Vergärung der Gärrestproben bei 25 °C (Sommerlagerung) und bei 10 °C (Winterlagerung) zeigte, dass eine enge Beziehung zwischen dem Restgaspotential bei 37 °C und der Restgasmenge bei 25 °C besteht, jedoch nicht zu denen bei 10 °C.

Es ist festzustellen, dass bei 25 °C eine deutlich geringere Restgasemission gemessen wurde, die nur bei ca. 40-50 % der Messwerte bei 37 °C liegt. Inwieweit die niedrigere Vergärungstemperatur nur auf die Höhe der Restgasbildung oder nur auf die Geschwindigkeit der je Zeiteinheit freigesetzten Gasmenge einen Einfluss hat, konnte nicht geprüft werden, da die Versuche nach 40 Tagen beendet wurden (Abb. 1).

Dagegen ist bei 10 °C Vergärungstemperatur keine enge Beziehung zum Restgaspotential (37 °C) erkennbar. Die biologischen Vorgänge kommen hier wahrscheinlich fast vollständig zum Erliegen, was sich auch aus der sehr geringen Gasbildung von nur 1-2 % der Gasbildungsmenge bei 37 °C zeigt.

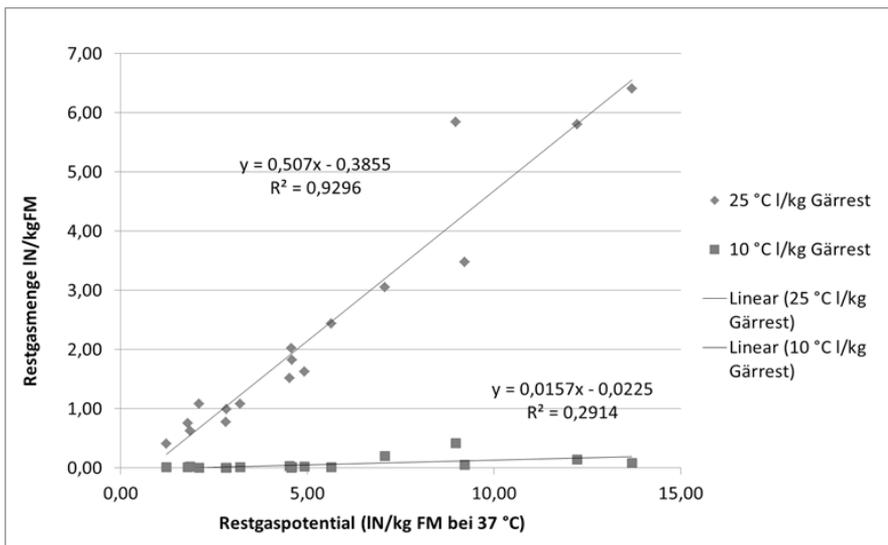


Abb. 1: Beziehung zwischen Restgaspotential (IN/kg FM bei 37 °C) und Restgasmenge bei 25 °C und 10 °C Vergärungstemperatur

Die in der VDI-Richtlinie 3475 z. B. vorgeschriebenen 20 °C Vergärungstemperatur erfordern im Labor eine Temperierung mit Heizung und Kühlung und auch

die 60 d Versuchsdauer erhöhen den Aufwand deutlich. Anhand von Versuchen zur Restgasermittlung in drei Temperaturstufen wurde gezeigt, dass eine Übertragung der bei 37 °C gewonnenen Ergebnisse auch gut möglich ist. Somit ist eine Absenkung der Vergärungstemperatur nicht zwingend notwendig. Für eine Beibehaltung der Temperatur spricht auch, dass aus den Ergebnissen direkt Entscheidungen über die Wirtschaftlichkeit einer Gärrestlagerabdeckung getroffen werden können.

3.2 Einfluss des Impfschlamm

Bei der Prüfung von Gärsubstraten ist ein Einsatz von Impfschlamm zwingend erforderlich. Auch sind die Forderungen, dass die Gasbildung < 20 % des Testsubstrates sein soll wichtig, um exakte Ergebnisse zu erreichen. Für die Restgasbestimmung ist aber aufgrund der geringen zu erwartenden Gasbildung besonders bei den abgesenkten Temperaturvariante zu erwartenden, dass kein Impfschlamm mit so einer geringen Gasbildung bereitgestellt werden kann. Deshalb erfolgte die Vergärung im Gegensatz zur VDI 4630 und den Methodenvorschriften des VDLUFA ohne Impfschlamm.

Vorteile sind, dass dadurch bei der zu erwartenden geringen Gasbildung der Einflussfaktor Impfschlamm ausgeschlossen wird. Weiter werden die anlagentypischen Milieubedingungen erhalten und die Ergebnisse sind somit repräsentativ. Auch könnte die Veränderung der Bakterienzusammensetzung zu stärkeren Abbauprozessen führen, die somit ausgeschlossen werden können. Zusätzlich wird hierbei auch noch die Nullprobe des Inokulums eingespart.

3.3 Auswertungsverfahren

Üblicherweise wird die im HBT gemessene Gasbildung, nach Abzug der Gasbildung aus dem Impfschlamm, auf Normbedingungen umgerechnet und auf die Substratmenge (I_N /kg) bzw. auf die oTS (I_N /kg oTS) bezogen. Dieses Verfahren wurde für die Testung von unvergorenem Material entwickelt und ist dafür auch gut geeignet.

Bei der Ermittlung des Restgaspotentials ist zu beachten, dass bereits durch die Vergärung in der BGA ein Masse- und besonders ein oTS-Abbau erfolgt. Somit liefert der in der VDLUFA-Vorschrift geforderte Bezug auf die im HBT eingesetzte organische Trockenmasse (I_N /kg oTS) keine mit den üblichen Richtwer-

ten für Gasausbeuten vergleichbaren Werte. Daraus folgend ergibt sich die Notwendigkeit, sich mit der in der BGA eingesetzten oTS-Mengen und der mittleren Fütterungsmenge in der Praxis-BGA zu befassen.

Zur Ermittlung des „... Restgaspotentials pro Stunde...“ nach VDI 3475 ist es notwendig vom Batch-Ansatz auf eine kontinuierliche Vergärung umzurechnen. In der Laborpraxis sind hier vielfältige fehlerhafte Ansätze zu finden. So wird z. B. aus dem Batch-Versuch eine stündliche Gasbildung durch Division durch die Versuchslaufzeit ermittelt und diese ins Verhältnis zur stündlichen Gasproduktion der Biogasanlage gesetzt. Auch ist es fehlerhaft, wenn versucht wird, die Gasbildung der BGA zu ermitteln, indem die stündliche Gasbildung direkt auf das Substratvolumen des Fermenters und des gasdichten Gärrestlagers bezogen wird, ohne dass die Verweilzeit eingerechnet wird.

Der Bezug der Gasbildung auf die Frischmasse (I_N/kg) ist geeignet, die Größenordnung des Restgaspotenziales zu erfassen. Bei der direkten Übertragung der Messwerte auf die prozentuale Restgasbildung ist allerdings der Masseabbau in der Biogasanlage zu beachten, besonders da hier deutliche Unterschiede zwischen Gülle- und NAWARO-BGA bestehen. Die Vernachlässigung des Masseabbaus würde potenziell die NAWARO-Anlagen benachteiligen.

Eine Berechnung des Masseabbaus über Standardgaserträge aus dem Substratmix z. B. über die KTBL Gasertragsrichtwerte ist noch schwierig, da in der Praxis oft keine TS-Gehalte bekannt sind. Die Nutzung der Biomasseverordnung dagegen, die ohne den Bezug der TS-Gehalte Gaserträge ausweist, ist hier ebenfalls nicht geeignet, da diese Werte dadurch relativ ungenau sind. Eine Berechnung des Masseabbaus über die direkte Messung des Gasertrags in der Praxisbiogasanlage ist auch kaum möglich, da in der Praxis im Regelfall keine exakte Gasmessung vorhanden ist und die erforderlichen Werte für die Normgassumrechnung nicht aufgezeichnet werden.

Schließlich bleibt als einzige tragfähige Lösung die Berechnung der Gasbildung und des Masseabbaus, als Voraussetzung zur Bestimmung der eingesetzten oTS, über den Stromertrag. Hierbei sind exakte Messungen vorhanden. Der Wirkungsgrad kann entsprechend den Herstellerangaben unterstellt werden und die Frischmassenfütterungsmengen werden in der Regel mit hinreichender Genauigkeit erfasst. Damit wird die stündliche Gaserzeugung berechenbar.

Zu beachten sind nur, dass Fackelverluste und Gasspeicherfüllungen bei der Datenerhebung mit zu fixieren sind und dass die tägliche Fütterung nur geringe Schwankungen aufweist. Ausgehend davon ist das Messintervall zu fixieren. Zusätzlich erschwerend ist, dass der Zeitbezug in der VDI 3475 nicht fixiert ist. Empfehlenswert ist die Nutzung von Tageswerten nur bei stabilen Fütterungsmengen. Besser ist jedoch ein Bezug auf Wochen oder Monatswerte. Im vorliegenden Fall erfolgte dies durch Erhebung mittels Fragebogen als Monatsmittelergebnisse.

Über den aus dem Stromertrag ermittelten Masseabbau lässt sich auch der oTS-Gehalt im Ausgangssubstrat zurückrechnen, welcher wiederum die Möglichkeit eröffnet, ohne separate Beprobung aller Eingangssubstrate eine Ermittlung des oTS-Gehaltes des Substratmixes zu berechnen. Schließlich lassen sich vergleichbare Werte des Restgaspotentials in l_N/kg eingesetzte organische Trockensubstanz darstellen. Aus fachlicher Sicht ist der Bezug auf die Masse der einzige denkbare Weg zur Ermittlung der „...Restmethanbildung pro Stunde...“ um nachzuweisen, dass dies „...kleiner als 1,5 % der in der Biogasanlage pro Stunde gebildeten Methanmenge ist“ (VDI-Richtlinie 3475).

Praktisch ist somit als erster Schritt die im Labor im Batch-Ansatz gemessene Methanmenge auf die eingewogene Substratmenge zu beziehen und als $l_N CH_4/kg$ Gärrest auszuweisen. Die in der BGA pro Stunde gebildete, aus der Stromproduktion ermittelte, stündliche Methanmenge ist auf die mittlere stündliche Fütterung zu beziehen und als $l_N CH_4/kg$ Substrat anzugeben. Die prozentuale Restmethanbildung ergibt sich dann aus der Division dieser beiden Zahlen.

Unklarheiten entstehen auch bei der Übertragung der im Batch-Versuch gemessenen Restgasmengen auf kontinuierlich arbeitende Praxisanlagen. Die zurzeit angewendeten Berechnungswege können zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen und damit zu differenzierter Interpretation der Höhe von Restgaspotenzialen aus Gärresten führen. So hat die Wahl der Bezugseinheit einen deutlichen Einfluss auf das Ergebnis.

4. Zusammenfassung

Die Untersuchung zum Restgaspotential von 17 landwirtschaftlichen Biogasanlagen Thüringens haben belegt, dass eine starke Abhängigkeit zu den verfahrenstechni-

schen Parametern besteht. Die in der Praxis auftretende Restgasemission ist stark abhängig von der Lagerungstemperatur der Gärreste. Bei einer provozierten Sommerlagerung von 25 °C konnte noch eine Restgasemission von ca. 40-50 % im Vergleich zum Restgaspotential unter Laborbedingungen bei 37 °C ermittelt werden. Bei Winterlagerung (10 °C Vergärungstemperatur) ist davon auszugehen, dass eine nur unwesentliche Methanemission auftritt.

Für die Ermittlung des Restgaspotentials ist eine Vergärung ohne Impfschlamm angeraten. Die Ergebnisse der Gärversuche mit 37 °C korrelieren gut mit den bei 25 °C gemessenen Werten.

Die in der VDI 3475 geforderte Temperatur von 20 °C führt zu einer längeren Untersuchungszeit und birgt höhere Unsicherheiten im Ergebnis, da wesentlich von der optimalen, in der Praxis üblichen Vergärungstemperatur abgewichen wird. Zusätzlich ist in den Laboren für die Batch-Ansätze zusätzlich zur Heizung eine Kühlung vorzusehen, da sonst keine Temperaturkonstanz gesichert werden kann.

Für die zu erarbeitende Methodik der Restgasermittlung ist die Arbeit ohne Impfschlamm zu empfehlen. Weiter sollten die Ergebnisse über den Masseabbau in der BGA korrigiert werden. Da der Bezug I_N/kg oTS der Laborprobe ungeeignet für weitere Auswertungen ist, sollte als Bezug die in der BGA eingesetzte organische Substanz gewählt werden.

Hierfür ist zu empfehlen über den Stromertrag der BGA den Masseabbau zu ermitteln und, da dieser den oTS Abbau repräsentiert, den mittleren eingesetzten oTS-Gehalt der BGA zu bestimmen und als Bezug zu wählen.

Kalibrierung der CAT-Methode zur Bestimmung des verfügbaren Bors für Zuckerrüben in carbonathaltigen Böden

B. Mindermann¹, T. Appel¹, W. Zorn²

¹Fachhochschule Bingen, Bingen, ²Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Einleitung

Der Mikronährstoff Bor ist im Zuckerrübenanbau von zentraler Bedeutung. Bor-Mangel löst eine von den Herzblättern in den Rübenkörper wachsende Fäulnis, die Herz- und Trockenfäule aus. Daher ist eine Düngebedarfsbestimmung essentiell. Hier können Pflanzen- oder Bodenanalysen herangezogen werden. Die Bor-Konzentrationen in den Blättern liefern einen direkten Hinweis auf die Pflanzenverfügbarkeit des Bors. Um das pflanzenverfügbare Bor im Boden zu bestimmen, sind in Deutschland drei Methoden gebräuchlich: 1. die Extraktion mit CaCl_2 und DTPA (CAT-Methode), 2. die Elektro-Ultrafiltration (EUF) und 3. die Extraktion mit heißem Wasser (HWL). Jedoch zeigten Gefäßversuche der Fachhochschule Bingen (Appel et al., 2012), dass das mit diesen Methoden extrahierte Bor, je nach Carbonatgehalt der Böden unterschiedlich bewertet werden sollte. Die hier vorgestellte Studie diente dazu festzustellen, wie das CAT- bzw. HWL-extrahierbare Bor auf carbonathaltigen Böden bewertet werden muss, um das für die Zuckerrüben verfügbare Bor anzuzeigen.

2. Prinzipielles Vorgehen

Für die Kalibrierung wurden 164 Standorte in sechs Anbauregionen ausgewählt. Boden- und Pflanzenmaterial wurde im Juni 2012 entnommen. Das Carbonat im Boden wurde gasvolumetrisch mittels Scheibler-Analyse bestimmt. Das Bor im Boden wurde nach zwei Methoden extrahiert: 1. mit einer Lösung aus CaCl_2 und DTPA (CAT-Methode, VDLUFA, 2002) und 2. gemäß der HWL-Methode (VDLUFA, 1997). Ergänzend wurden die pH-Werte in Aliquoten der CAT-Suspensionen gemessen. Beim Pflanzenmaterial handelte es sich um die mittleren Blätter ohne Petiole. Sie wurden einem mikrowellenbeheizten Druckaufschlussverfahren unterzogen (VDLUFA, 2011) und das Bor in den Auf-

schlusslösungen mittels ICP-OES bestimmt. Die Bor-Konzentrationen in der Trockensubstanz der Blätter dienten als Referenz für die Pflanzenverfügbarkeit.

3. Standorte der Untersuchung

Die 164 Standorte befanden sich in sechs verschiedenen Anbauregionen in Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen und Hessen. Die Carbonatgehalte variierten sowohl zwischen als auch in den Regionen stark (Abb. 1). Die Auswahl der Standorte wurde vom Verband der Hessisch-Pfälzischen Zuckerrübenanbauer e. V. und von der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen unterstützt.



Abb.1: Lage der Untersuchungsstandorte und Anteile carbonathaltiger Böden; die farbigen Ellipsen zeigen die ungefähren Positionen der Zuckerrübenfelder, die Kreisdiagramme zeigen die Anteile an carbonatfreien und carbonathaltigen Böden in den Regionen

4. Bor in den Rübenblättern und im Boden

Die Bor-Konzentration in den Blättern diente als Referenz für die Pflanzenverfügbarkeit. Daher wurden die Regressionen zwischen Blatt-Bor und dem CAT- bzw. HWL-extrahierbarem Bor im Boden berechnet. Deren Bestimmtheitsmaße sowie mittlere absoluten Abweichungen dienten als Ausgangspunkt für die Bewertung der geprüften Korrekturvarianten. Je höher das R^2 bzw. je niedriger die mittlere absolute Abweichung, desto besser war die Korrektur geeignet.

Die Beziehung zwischen CAT-extrahierbarem Bor und den Bor in den Blättern war nur lose (Abb. 2). Zudem fielen die Standorte 8, 9, 11 und 12 durch sehr hohe Borgehalte auf. Auf diesen vier Standorten wurde das Düngungsfenster vermutlich nicht korrekt eingehalten. Sie wurden deshalb von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Ohne die vier Standorte lag das Bestimmtheitsmaß bei $R^2 = 0,145$ und die mittlere absolute Abweichung bei $4,61 \text{ mg B / kg TS}$ (Daten nicht gezeigt). Die Beziehung zwischen heißwasserlöslichem Bor und den Bor-Konzentrationen in den Blättern war enger. Das Bestimmtheitsmaß betrug $R^2 = 0,383$ und die mittlere absolute Abweichung $3,94 \text{ mg B / kg TS}$ (Daten nicht gezeigt).

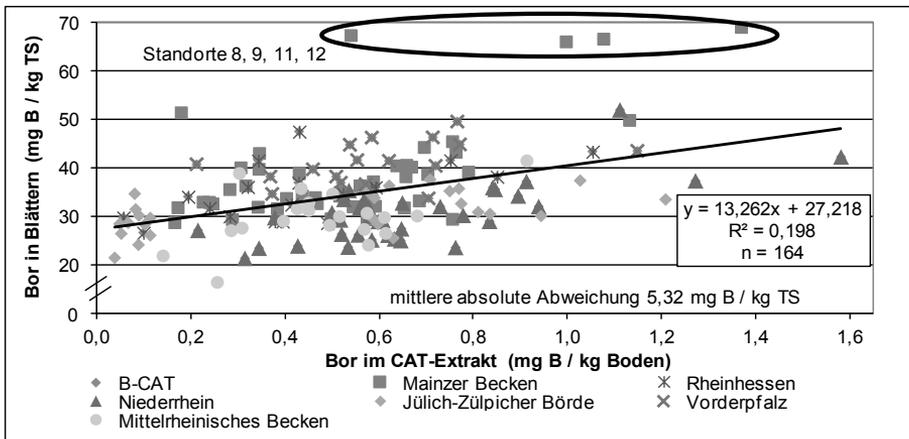


Abb. 2: Bor-Konzentrationen in den Rübenblättern abhängig vom CAT-extrahierbaren Bor im Boden

Die Standorte wurden nach ihrem Carbonatgehalt in zwei Klassen getrennt (Abb. 3). Die Mittelwerte der Bor-Konzentrationen in den Blättern waren in beiden Klassen ähnlich hoch. Die Pflanzenverfügbarkeit wurde folglich nicht vom

Carbonatgehalt des Bodens beeinflusst. Ebenso wenig unterschieden sich die mittleren HWL-Borgehalte beider Klassen. Die HWL-Methode war also in der Lage, die Pflanzenverfügbarkeit widerzuspiegeln, ohne dass es einer Korrektur entsprechend des Carbonatgehalts bedurfte. Anders war die Situation beim CAT-extrahierbaren Bor. Die CAT-Methode extrahierte auf Carbonatböden im Mittel weniger Bor als auf den carbonatarmeren Standorten. Folglich standen dem gleichen Niveau an pflanzenverfügbarem Bor unterschiedliche CAT-Bor-Werte gegenüber. Um die Pflanzenverfügbarkeit korrekt anzuzeigen, muss das CAT-extrahierbare Bor auf Carbonatböden deshalb nach oben angepasst werden.

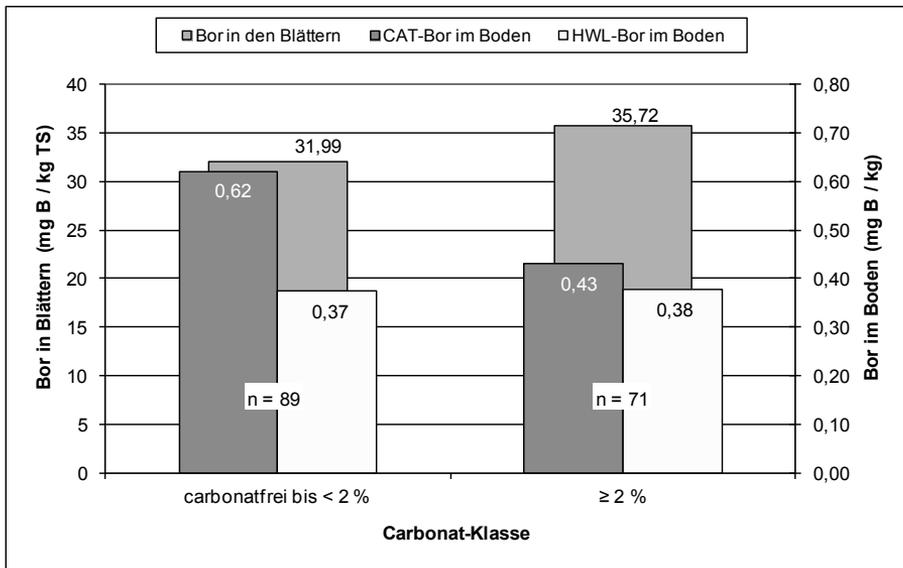


Abb. 3: Bor-Konzentrationen in den Blättern und CAT- bzw. HWL-extrahierbares Bor in den Böden der 160 Standorte klassifiziert in zwei Gruppen nach ihren Carbonatgehalten

Die Standorte wurden nach ihrem Carbonatgehalt in zwei Klassen getrennt (Abb. 3). Die Mittelwerte der Bor-Konzentrationen in den Blättern waren in beiden Klassen ähnlich hoch. Die Pflanzenverfügbarkeit wurde folglich nicht vom Carbonatgehalt des Bodens beeinflusst. Ebenso wenig unterschieden sich die mittleren HWL-Borgehalte beider Klassen. Die HWL-Methode war also in der Lage, die Pflanzenverfügbarkeit widerzuspiegeln, ohne dass es einer Korrektur entsprechend des Carbonatgehalts bedurfte. Anders war die Situation beim CAT-extrahierbaren Bor. Die CAT-Methode extrahierte auf Carbonatböden im

Mittel weniger Bor als auf den carbonatarmen Standorten. Folglich standen dem gleichen Niveau an pflanzenverfügbarem Bor unterschiedliche CAT-Bor-Werte gegenüber. Um die Pflanzenverfügbarkeit korrekt anzuzeigen, muss das CAT-extrahierbare Bor auf Carbonatböden deshalb nach oben angepasst werden.

5. Korrektur der CAT-Methode via Carbonatgehalt

Die Verhältnisse zwischen CAT-Bor und Blatt-Bor der beiden Carbonatgruppen (Abb. 3) wurden für die Korrektur verwendet. Mit der folgenden Formel wurde ein geeigneter Korrekturfaktor für Böden mit $\geq 2\%$ Carbonat errechnet:

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{b_2}{a_2} = \frac{0,62}{32,0} \cdot \frac{35,7}{0,43} = 1,608$$

a_1 = CAT-Bor im Mittel der Böden mit $< 2\%$ Carbonat

a_2 = CAT-Bor im Mittel der Böden mit $\geq 2\%$ Carbonat

b_1 = mittlere Borgehalte der Blättern in Klasse $< 2\%$ Carbonat

b_2 = mittlere Borgehalte der Blättern in Klasse $\geq 2\%$ Carbonat

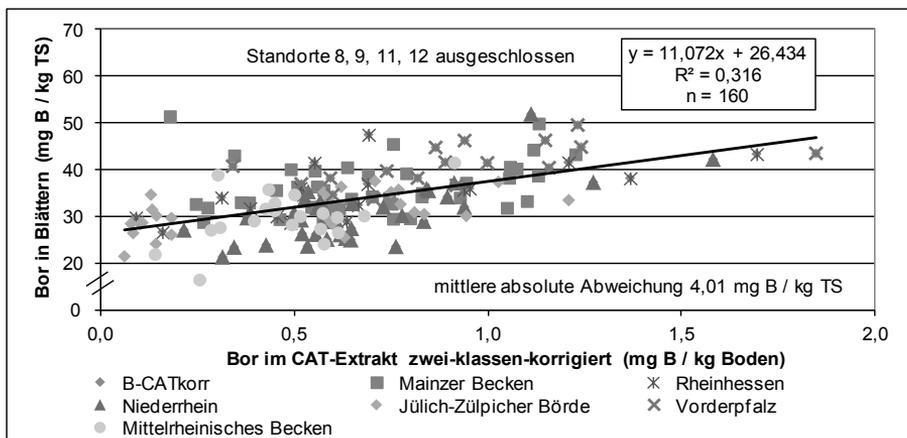


Abb. 4: Bor-Konzentrationen in den Blättern abhängig vom carbonat-korrigierten CAT-Bor

Auf Böden mit $\geq 2\%$ Carbonat wurde das tatsächlich gemessene CAT-Bor mit diesem Korrekturfaktor multipliziert. Die CAT-Bor-Werte der Böden mit weniger als 2% Carbonat wurden nicht verändert. Die Korrektur verbesserte

den Zusammenhang zwischen CAT-Bor und Blatt-Bor ($R^2 = 0,316$, mittlere absolute Abweichung = 4,01 mg B je kg TS, Abb. 4). Eine differenziertere Klassenunterteilung erzeugte keine besseren Ergebnisse (Daten nicht gezeigt).

6. Korrektur mittels pH-Wert der CAT-Suspension

Eine Korrektur der tatsächlich gemessenen CAT-Werte auf den carbonathaltigen Böden über den zugehörigen pH-Wert in der CAT-Suspension (pH(CAT)) wäre besonders vorteilhaft. In diesem Falle wären keine weiteren Analyse-Methoden (Carbonatbestimmung nach Scheibler oder pH-Wert in CaCl_2) erforderlich und lediglich das Dekantieren einiger Tropfen des CAT-Extraktes vor der Filtration notwendig sowie die anschließende Messung des pH-Wertes mittels Glaselektrode. Daher wurde diese Korrekturvariante im nächsten Schritt geprüft.

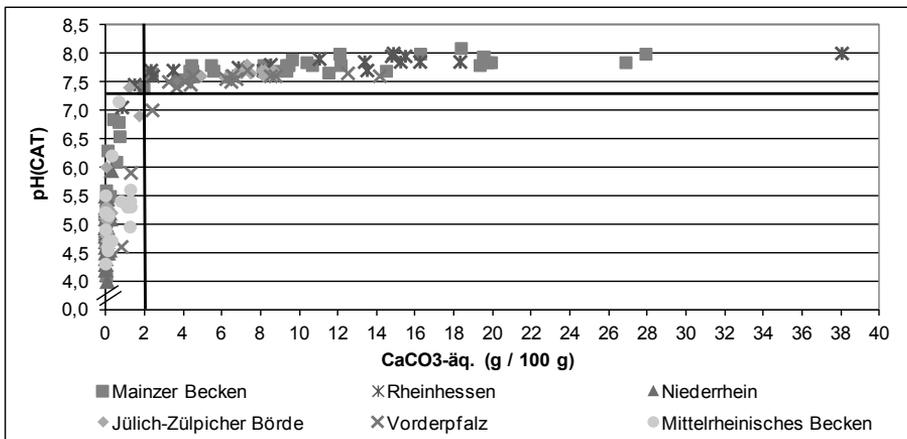


Abb. 5: PH-Wert in der CAT-Suspension (pH(CAT)) abhängig vom Carbonatgehalt des Bodens; die schwarzen Linien markieren die gewählte Klassengrenze bei einem pH von 7,25

Ohne Boden lag der pH-Wert der CAT-Lösung bei circa 2,7. Die Lösung ist allerdings nur schwach gepuffert, weshalb ihr pH-Wert bei der Extraktion von Böden mit mehr als 2 % Carbonat auf über 7,0 anstieg (Abb. 5). Deshalb kann der pH-Wert in der CAT-Suspension den Carbonatgehalt des Bodens in begrenztem Maße anzeigen und zur Klassifizierung der Böden dienen. Als Klassengrenze wurde ein pH-Wert von 7,25 gewählt. Die mittleren Bor-Konzentrationen in den

Blättern der beiden pH(CAT)-Klassen und die mittleren Bor-Gehalte im HWL-Extrakt waren sich sehr ähnlich (Abb. 6).

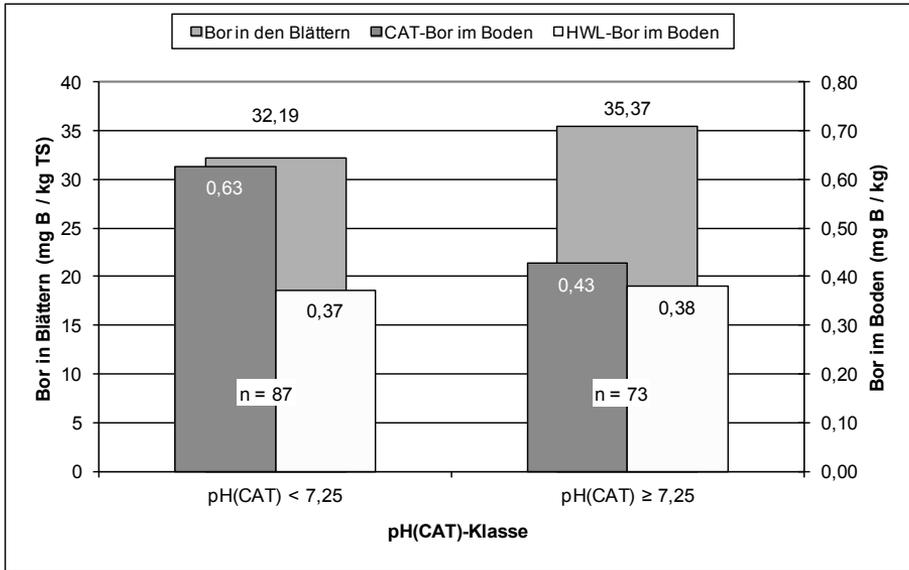


Abb. 6: Klassifizierung der Bor-Konzentrationen in den Blättern und des Bors im Boden in Abhängigkeit von den pH-Werten der CAT-Extrakte

Das CAT-Bor war allerdings in der Klasse der Böden mit pH(CAT)-Werten $\geq 7,25$ im Mittel um ca. ein Drittel niedriger. Die notwendige Korrektur wurde aus den Daten in Abbildung 6 abgeleitet und nach folgender Formel berechnet:

$$\frac{a_1}{b_1} \cdot \frac{b_2}{a_2} = \frac{0,63}{32,2} \cdot \frac{35,4}{0,43} = 1,611$$

a_1 = CAT-B im Mittel der Böden mit einem pH(CAT) $< 7,25$

a_2 = CAT-B im Mittel der Böden mit einem pH(CAT) $\geq 7,25$

b_1 = mittlere Borgehalte in Blättern der pH(CAT)-Klasse $< 7,25$

b_2 = mittlere Borgehalte in Blättern der pH(CAT)-Klasse $\geq 7,25$

Durch diese Korrektur verbesserte sich das Bestimmtheitsmaß der Beziehung zwischen CAT-Bor und der Bor-Konzentration im Blattmaterial von $R^2 = 0,145$ auf $R^2 = 0,298$. Es entstand also ein nahezu gleich enger Zusammenhang wie durch die in Abbildung 4 dargestellte Carbonat-Korrektur. Die mittlere abso-

lute Abweichung der pH(CAT)-Korrektur betrug 4,71 mg B / kg TS (Daten nicht gezeigt).

7. Fazit

Eine Korrektur der Heißwasser-Extraktion auf Carbonatböden war nicht erforderlich. Der Zusammenhang zwischen CaCl_2 und DTPA-extrahiertem Bor (CAT-Bor) und der Bor-Konzentration in den Rübenblättern konnte durch Berücksichtigung des Carbonatgehalts verbessert werden. Hierzu wurde der Wert des gemessenen CAT-Bors um den Faktor 1,6 nach oben korrigiert, wenn der Boden ≥ 2 % Carbonat enthielt bzw. der pH-Wert in der CAT-Suspension $\geq 7,25$ war. Wir empfehlen die pH-Korrektur, da bei ihr die Durchführung der Scheibler-Methode entfällt und sie somit praktikabler ist.

8. Literaturangaben

Appel, T., Seelig, J., Venn, K., 2012: Bor-Verfügbarkeit für die Zuckerrübe in Abhängigkeit von der Bor-Düngung, der Kalkung und dem Carbonatgehalt der Böden. Proceedings des 73. IIRB Kongress am 14. und 15.02.2012 in Brüssel, Belgien.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1997: Methode A 7.1.1, Bor (heißwasserlöslich). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2002: Methode A 6.4.1, Bestimmung von Magnesium, Natrium und den Spurennährstoffen – Kupfer, Mangan, Zink und Bor im Calciumchlorid/DTPA-Auszug. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2011: Methode 2.1.3, Mikrowellenbeheizter Druckaufschluss. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. VII Umweltanalytik, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Entstehung maskierter Mykotoxine in fermentierten Pflanzenmaterialien: mikrobiologische, biochemische und analytische Aspekte

G. Strauß

LUFA Speyer, Speyer

1. Einleitung

Die Analytik von Mykotoxinen im Hinblick auf die Qualität und Verwertbarkeit von Lebens- und Futtermitteln nimmt im modernen Kontrollwesen einen immer größeren Raum ein. Von hunderten Verbindungen, die diesen sekundären Stoffwechselprodukten von Schimmelpilzen zugerechnet werden, ist nichts oder nur sehr wenig hinsichtlich ihrer Wirkung auf Pflanze, Mensch oder Tier bekannt. Auch so genannte maskierte Mykotoxine werden immer mehr gefunden, die sich durch biochemische Modifikationen mit klassischen Analyseverfahren kaum mehr nachweisen lassen. Die toxische Wirkung auf Organismen bleibt jedoch weitgehend erhalten bzw. wird sogar noch gesteigert.

In der Routine-Diagnostik sind im Wesentlichen HPLC bzw. LC-MS/MS- sowie ELISA-Verfahren etabliert, wobei sich die Analytik auf Fusarientoxine wie Trichothecene, Fumonisine, Zearalenon oder Aspergilltoxine wie Aflatoxine und Ochratoxin A beschränkt.

In der Routine-Diagnostik und Forschungsprojekten zur Analytik von ausgewählten Mykotoxinen in Silagen mittels LC-MS/MS- und ELISA-Analytik wurden vielfach nicht unerhebliche und bisher nicht erklärbare Unterschiede in der Höhe der Belastung festgestellt. Bisher wurden diese auffälligen Diskrepanzen nicht näher untersucht.

Durch die Einbeziehung mikrobiologischer, biochemischer und analytischer Aspekte wurde eine aufschlussreiche Erklärung gefunden, die eine obligate Entstehung maskierter Mykotoxine in fermentierten Pflanzenmaterialien bei Getränken, Lebens- und Futtermitteln postuliert.

2. Material und Methoden

Die Analysen der Mykotoxingehalte erfolgte mittels LC-MS/MS-Verfahren gem. VDLUFA-Methode (VDLUFA, 1976). Untersuchungen mittels ELISA wurden mit handelsüblichen Test-kits der Fa. r-biopharm (Darmstadt) durchgeführt. Alle Versuche wurden in Doppelbestimmung durchgeführt. Die Inkubation der Testansätze erfolgte bei Raumtemperatur bis zu 10 (Reaktionsversuch) bzw. 42 Tage (Silierversuch).

Mykotoxine (Deoxynivalenol, Zearalenon) wurden von Sigma-Aldrich (Deisenhofen) und r-biopharm (Darmstadt) bezogen.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Diskrepanzen zwischen Analysenverfahren

In Untersuchungen von silierten Futtermitteln (Gras- und Maissilagen) wurden erhebliche Unterschiede bei typischen Leittoxinen festgestellt (Koch et al., 2013), je nachdem ob das LC-MS/MS- oder das ELISA-Verfahren angewendet wurde (Abb. 1). Insbesondere für Zearalenon ergaben sich signifikante Differenzen.

Bei unfermentierten Produkten waren diese Unterschiede nicht feststellbar. Hier lagen die Messergebnisse von Maisprodukten bei den unterschiedlichen Analysenverfahren sehr vergleichbar (Tab. 1).

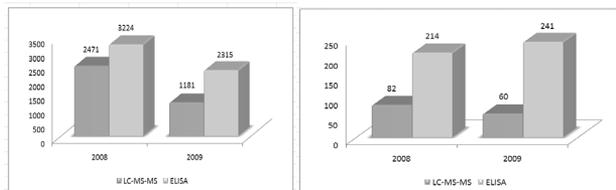


Abb. 1: In Maissilagen mittels ELISA- bzw. LC-MS/MS-Verfahren bestimmte Mykotoxingehalte; sowohl bei Zearalenon als auch bei Deoxynivalenol wurden mittels ELISA-Analytik signifikant höhere Gehalte gemessen ($\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse), die Diskrepanzen lassen sich durch die Maskierung von Mykotoxinen erklären, die die Analytik unterschiedlich beeinflusst

Tab. 1: Vergleich des LC-MS/MS- bzw. ELISA-Verfahrens: Bei unfermentierten Maismehlproben in einem Ringversuch waren die Ergebnisse beider Verfahren für Deoxynivalenol sehr gut vergleichbar (Angabe $\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse)

	LC-MS/MS ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	ELISA ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Maismehl A	342	334
Maismehl B	315	319

3.2 Einfluss der Matrix

Der Vergleich fermentierter und unfermentierter Matrices offenbart, dass mikrobiologisch bedingte Prozesse für die analytischen Differenzen verantwortlich sein könnten (Abb. 1, Tab. 1). Primär entstehen durch die anaerobe Umsetzung von organischen Verbindungen Gärprodukte wie Alkohole und Gärsäuren, die unter biochemischen Gesichtspunkten reaktive funktionelle Gruppen tragen. Hydroxy- und Carboxygruppen können insbesondere Esterverbindungen eingehen. Da annähernd alle Mykotoxine in Seitenketten ebenfalls funktionelle Gruppen aufweisen, stehen sie somit als Reaktionspartner zur Verfügung. Die Konzentration dieser reaktiven Verbindungen verändert sich im Laufe der Fermentation signifikant und können hohe Gehalte in Silagen erreichen: Allein der Anteil an Milchsäure in einer Maissilage kann mehr als 5% bezogen auf die Trockenmasse ausmachen.

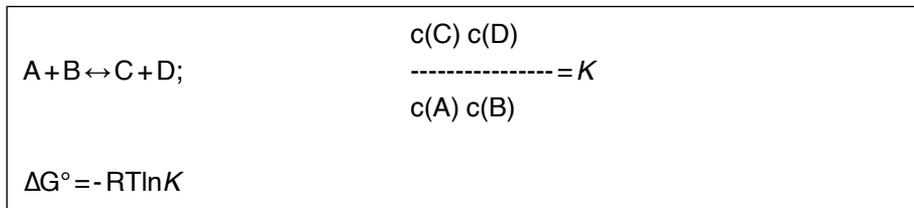


Abb. 2: Das Massenwirkungsgesetz: Bei der Umsetzung der Edukte A und B zu den Produkten C und D wird ein Gleichgewicht erreicht, das umso weiter auf Seiten der Produkte C und D liegt, je größer die Gleichgewichtskonstante K ist. (ΔG° = freie Energie, R = allgemeine Gaskonstante, T = absolute Temperatur)

3.3 Mikroorganismen und biochemische Grundgesetze

Im Laufe der Fermentation durch Mikroorganismen kommt es zu einer erheblichen Anhäufung von Gärprodukten, die mit ihren funktionellen Gruppen für

biochemische Reaktionen bereit stehen. Das Massenwirkungsgesetz (MWG, Abb. 2) verlangt unter diesen Bedingungen, dass eine Gleichgewichtseinstellung zwischen chemischen Reaktionspartnern stattfindet (Abb. 3), so sollten Carboxygruppen mit Hydroxygruppen zu Esterverbindungen reagieren. Da es auf Grund der Fermentation einen sehr hohen Überschuss an Carboxygruppen gibt, muss entsprechend dem MWG das Gleichgewicht sehr weit auf Seiten der Ester verschoben werden. In der Praxis bedeutet dies, dass die Hydroxygruppen von Mykotoxinen oder anderen Verbindungen verestert werden. Hier liefert der saure pH-Wert die besten Reaktionsbedingungen (Säurekatalyse). Ausreichend Reaktionszeit ist bei Fermentationsprozessen gegeben.

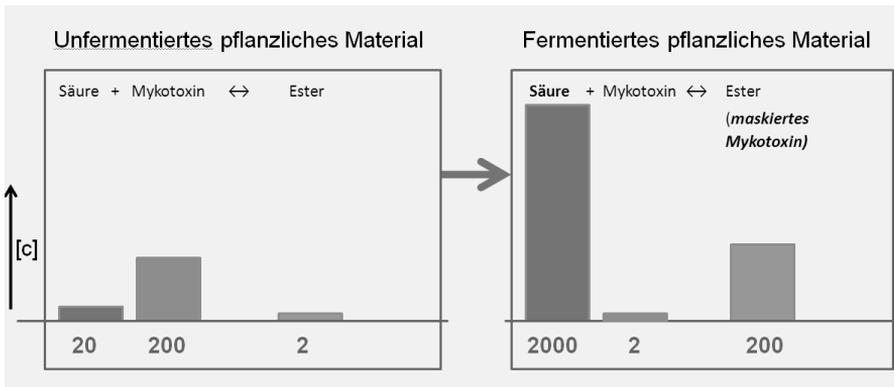


Abb. 3: Veranschaulichung zur Wirkung des Massenwirkungsgesetzes bei der Maskierung von Mykotoxinen während der Fermentation: Die Silierung mit der Anhäufung von Gärssäuren verschiebt das Gleichgewicht auf Seite der Ester, es kommt zur obligaten Bildung maskierter Mykotoxine, da Reaktionspartner, Reaktionszeit, Katalysatoren und pH-Wert geeignete Bedingungen schaffen; Anmerkung: es handelt sich um willkürliche Zahlenangaben

Tatsächlich wurden von Weiß et al. (2011) hohe Konzentrationen an flüchtigen Esterverbindungen (z. B. Ethylacetat oder Ethyllactat) gefunden, deren Entstehung bisher nicht geklärt werden konnte.

Auch für die Mikroorganismen hat die Veresterung ihrer Stoffwechselprodukte einen elementaren Vorteil: die Anhäufung dieser Gärprodukte hemmt die Energiegewinnung ihres Gärstoffwechsel, da es zu einer Gleichgewichtseinstellung

kommt. Dadurch dass die Gärssäuren aus dem Gleichgewicht entzogen werden, können diese energieliefernden Prozesse effizienter ablaufen. Zudem sind hohe Konzentrationen an Enzymen (Esterasen), also Biokatalysatoren, aus lysierten pflanzlichen Zellen oder bakteriellen Ursprungs vorhanden. Durch die Veresterung kann auch der Ansäuerung des Substrats entgegengewirkt werden, die auch für säuretolerante Gärer zu einer Wachstumshemmung führt.

3.4 Experimentelle Hinweise

3.4.1 Deoxynivalenol (DON) in Gegenwart organischer Säuren

Tab.2: Messwerte von Deoxynivalenol in Gegenwart organischer Säuren nach verschiedenen Inkubationszeiten: Bei *in-vitro*-Versuchen wurde Deoxynivalenol (DON) zusammen mit organischen Säuren inkubiert und sowohl mittels ELISA- als auch LC-MS/MS-Verfahren analysiert, nach einer Inkubation von 10 Tagen wurden in den Testansätzen in Abhängigkeit vom Analysenverfahren unterschiedliche Mykotoxingehalte gemessen

	ELISA-Analyse		LC-MS/ MS-Analyse		
	DON	DON	DON	DON	
	($\mu\text{g/l}$)	(%)	($\mu\text{g/l}$)	(%)	
Kontrolle (1200 $\mu\text{g/l}$ DON)	1143	100 %	1155	100 %	24 h Inkubation
Säurezusatz (1200 $\mu\text{g/l}$ DON, 2 % Milchsäure, 2 % Essigsäure, pH 4,2)	1135	99 %	1265	110 %	24 h Inkubation
Säurezusatz (1200 $\mu\text{g/l}$ DON, 2 % Milchsäure, 2 % Essigsäure, pH 4,2)	1531	134 %	1040	90 %	10 Tage Inkubation

Der Einfluss kurzkettiger organischer Säuren auf den messbaren Gehalt an DON wurde in wässrigen Lösungen durchgeführt. Deoxynivalenol (1200 $\mu\text{g/l}$) wurde in Gegenwart von Milchsäure (2 %) bzw. Essigsäure (2 %) inkubiert. Die Veränderungen der mittels ELISA- bzw. LC-MS/MS ermittelten Gehalte bestätigen eine unterschiedliche Entwicklung der Analysenergebnisse, die sich mit der Veresterung von DON erklären lässt. Nach 24 Stunden Inkubation waren keine Unterschiede erkennbar. Nach 10 Tagen Inkubation bei Raumtemperatur war mittels LC-MS/MS-Analytik geringfügig weniger Deoxynivalenol (10 %) nach-

weisbar, während die ELISA-Analyse eine scheinbare Zunahme (35 %) ergab (Tab. 2). Die Versuche zeigen damit dass die Analysenergebnisse einer Zeitabhängigkeit unterliegen.

Möglicherweise besitzen entstandene Konjugate für den ELISA eine höhere Kreuzreaktivität als das ursprüngliche Ziel-Antigen. Es könnte hier offensichtlich im Gegensatz zur LC-MS/MS-Analytik nicht zu einer Unterschätzung, sondern zu einer Überschätzung des Mykotoxingehalts durch die Metabolisierung kommen (Berthiller et al., 2013).

Es ist davon auszugehen, dass in fermentierten Lebens- oder Futtermitteln die Reaktionsbedingungen sowie Reaktionspartner differieren, so dass eine sehr große Vielfalt an veresterten Verbindungen zu erwarten ist.

3.4.2 Mais-Fermentationsversuche mit Zearalenon

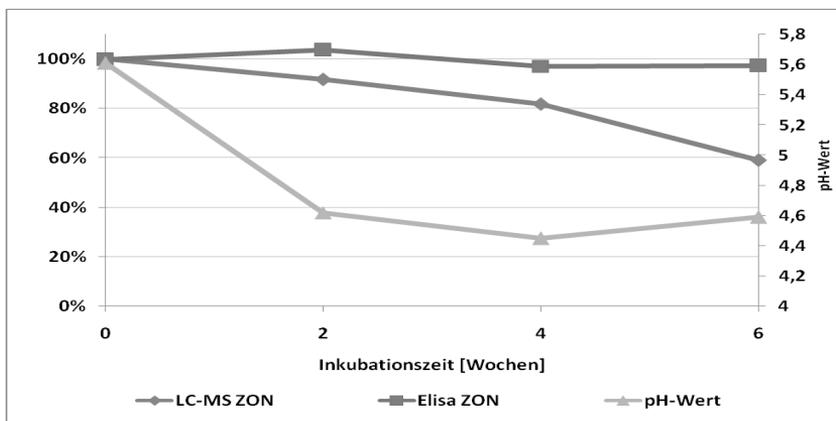


Abb. 3: Nachweisbarkeit des zugesetzten Mykotoxins Zearalenon (300 µg/kg TM) in einem Silierversuch mit Maispflanzen. Die mittels ELISA- bzw. LC-MS/MS-Verfahren messbaren Konzentrationen an Zearalenon entwickelten sich im Versuchszeitraum unterschiedlich. Nach 6 Wochen Inkubation sank der Messwert für Zearalenon bei der LC-MS/MS-Analyse um 40 %. Der ELISA-Messwert veränderte sich unwesentlich.

In Fermentationsversuchen mit Maispflanzen im Labormaßstab, die mit 300 µg/kg TM Zearalenon versetzt wurden, blieb über den Beobachtungszeitraum von 6 Wochen die mittels ELISA bestimmbare Zearalenonkonzentration konstant. In den gleichen Testansätzen bzw. Extrakten wurde über das LC-MS/MS-Verfahren eine Abnahme der Zearalenonkonzentration um 40 % gemessen (Abb. 3). Diese Versuche zeigen, dass über den Versuchszeitraum von 6 Wochen zeitabhängige messbare Differenzen beim LC-MS/MS-Verfahren auftreten. Die Messwerte beim ELISA-Verfahren bleiben während des Untersuchungszeitraums im Wesentlichen konstant. Die Analysenergebnisse zeigen auch hier eine deutliche Zeitabhängigkeit. Die bisherigen Versuche veranschaulichen damit, dass unter säurehaltigen Inkubationsbedingungen im Hinblick auf den bestimmbaren Mykotoxingehalt eine Abhängigkeit von der Inkubationsdauer, dem angewandten Analysenverfahren und den Inkubationsbedingungen feststellbar ist. Diese Ergebnisse decken sich mit den Daten, die unter Praxisbedingungen gewonnen wurden (Koch et al., 2013).

4. Bedeutung für fermentierte bzw. säurekonservierte Lebens- und Futtermittel

In fermentierten Lebensmitteln, bei den in den Ausgangsprodukten oder durch Fehlgärungen Toxine von Bakterien, Pflanzen oder Mykotoxine vorhanden waren, besteht durch Umsetzungen mit Gärprodukten die Möglichkeit, dass diese Substanzen einer Analytik im Rahmen der Routine-Diagnostik entzogen werden (Berthiller et al., 2013). Im tierischen Organismus können diese Esterverbindungen durch entsprechende Enzyme wieder gespalten werden und eine physiologische Wirkung ausüben. Von veresterten Trichothecenen gibt es Hinweise, dass die Toxizität in Abhängigkeit von der Anzahl der Esterbindungen sogar zunimmt (Nishie et al., 1989).

Die Anwendung des Massenwirkungsgesetzes postuliert, dass in diesen fermentierten Produkten praktisch umfangreiche biochemische Modifikationen an allen organischen Verbindungen stattfinden, die entsprechende funktionelle Gruppen tragen. Diese mikrobiologischen, biochemischen und analytischen Aspekte sollten bei der Bewertung fermentierter oder säurekonservierter Lebens- und Futtermittel mit einfließen. Die Vielfalt an möglichen Konjugaten muss in Anbetracht der Vielzahl an Gärprodukten als hoch angesehen werden.

Diese neuen Erkenntnisse erklären letztendlich mit der Bildung von Estern plausibel die auffälligen analytischen Diskrepanzen und verbessern die Möglichkeiten der toxikologischen Bewertung von Analyseergebnissen insbesondere bei fermentierten Lebens- und Futtermitteln sowie Getränken im Hinblick auf möglicherweise vorhandene Mykotoxine.

5. Literaturangaben

- Berthiller, F., Crews, C., Dall'Asta, C., Saeger, S., Haesert, G., Karlovsky, P., Oswald, I., Seefelder, W., Speijers, G., Stroka, J., 2013: Masked Mycotoxins – A review. *Mol. Nutr. Food Res.* 57, 165-186.
- Koch, C., Romberg, F.J., Kühl, J., Strauß, G., 2013: Mykotoxingehalte von Mais- und Grassilagen – Ein Vergleich von zwei Analyseverfahren. *Mais* 2: 89-91.
- Nishie, K., Cutler, H.G., Cole, R.J., 1989: Toxicity of Trichothecenes, Moniliformin, Zearalenone / ol, Griseofulvin, Patulin, Pr Toxin and Rubratoxin B on Protozoan Tetrahymena pyriformis. *Res. Commun. Chem. Pathol. Pharm.* 65, 197-210.
- Strauß, G., 2013: Maskierte Mykotoxine in fermentierten Lebens- und Futtermitteln: biochemische, mikrobiologische und analytische Aspekte. *J. Verbr. Lebensm.*, eingereicht.
- Weiss, K., Gerlach, K., Südekum, K.-H., 2011: Flüchtige Substanzen in Maissilagen in Abhängigkeit von Silierbedingungen und aerober Lagerungsdauer. *VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 67*, 534-540, Kongressband 2011 Speyer, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976: Methode 16.13.1, Identifizierung und Quantifizierung von Fusarientoxinen in Getreide und Futtermitteln mittels LC-MS/MS. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Optimierung von Silierversuchen durch Lagerung des Siliergutes und Einsatz von einem Hilfsgerät bei der Befüllung der Siliergläser

A. Schuldt, R. Dinse

Hochschule Neubrandenburg, Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Silierversuche werden in Laboren durchgeführt, um mit relativ geringen Mengen die Silierbarkeit von Erntegut zu untersuchen. Dabei sind sowohl die Silierbarkeit, als auch der Silierverlauf von Interesse. In der Erntezeit entstehen Arbeitsspitzen im Labor, wenn sehr viele Proben in einem kurzen Zeitraum anfallen. Bei der Öffnung der Laborsilos kann es zu einer hohen Arbeitsbelastung kommen, wenn eine bestimmte Silierdauer eingehalten werden muss, um z. B. den Verlauf der Silierung beurteilen zu können.

1. Silierversuche mit gefroren gelagertem Probenmaterial

Im Labor des Fachgebietes Tierernährung und Futtermittelkunde der Hochschule Neubrandenburg werden seit einigen Jahren Silierversuche durchgeführt. In Weckgläsern mit einem Volumen von 1000 ml werden Mais- und Anwelksilagen, aber auch Rübensilagen hergestellt. Die Arbeitsspitzen werden zumeist mit Unterstützung von Studierenden bewältigt. Da gerade der Silomais in der vorlesungsfreien Zeit geerntet wird und deshalb die Hilfskräfte nicht zur Verfügung stehen, wurde geprüft, ob das Erntegut vor der Silierung gelagert werden kann. Zweckmäßig erscheint eine Lagerung in Tiefkühltruhen oder -räumen bei einer Temperatur von -18 °C.

2. Material und Methoden

Von Mais- und Grasanwelksilage wurden je 9 Weckgläser (Volumen 1000 ml) am Tag der Ernte sowie nach einer Lagerung bei -18 °C mit Probenmaterial gefüllt. Nach der Lagerung des Erntegutes vor der Silierung wurde das tiefgefrorene Probenmaterial in einem Kühlraum bei 4 °C über 24 Stunden schonend aufgetaut. Jeweils 2 Gläser, in denen sich kein sichtbarer Schimmel gebildet hatte oder deren Silierverlust nicht deutlich über dem Durchschnitt lag, wurden 1, 4

und 6 Wochen nach der Silierung geöffnet. Um den Silierverlauf beurteilen zu können, wurden der Silierverlust und der pH-Wert ermittelt sowie die Gärsäuren (Milch- und Essigsäure) enzymatisch bestimmt. Die Inhaltsstoffe wurden nach der Weender Analyse und nach van Soest untersucht, der Energiegehalt nach der Schätzgleichung der GfE (2008) berechnet.

2.1 Verdichtung, Silierverluste, pH-Wert, Gehalt an Gärsäuren

Während das angewelkte Gras wegen des höheren Trockenmassegehaltes nach dem Auftauen beim Verdichten kaum gesaftet hat, trat aus dem Silomais nach einer sechswöchigen Lagerung bei -18 °C erheblich Saft aus. Daraus ergab sich ein hoher Silierverlust von 1,6 bis 1,8 % der TM im Mittel (Tab. 1). In einem weiteren Versuch wurde geprüft, wie hoch die Gläser befüllt werden müssen, damit der Silierverlust akzeptabel ist, jedoch keine Fehlgärungen auftreten. Eine Befüllung der Gläser von 80-90 % führte zu dem geforderten Ergebnis. Der Füllstand von 70 % ist nicht zu empfehlen, da sich vermehrt Schimmel bildete und die Silierverluste zunahmen.

Die durchschnittliche Verdichtung der Maissilage von 244 g TM/ltr. (90 % Befüllung) bis 284 g TM/ltr. (100 % Befüllung) sowie der Grasanwelksilage von 312 g TM/ltr. (100 % Befüllung) entspricht den anzustrebenden Werten für eine gute Silierung (Pries, 2004; Richter und Rößl, 2010).

Tab. 1: Silierverlust ohne und mit Lagerung bei -18 °C

Silierdauer	Silierverlust in % TM, Lagerdauer		
	Ohne n = 2	6 Wochen n = 2	3 Jahre n = 6
Maissilage			
1 Woche	0,6	1,6	0,3
4 Wochen	0,7	1,6	0,3
6 Wochen	0,7	1,8	0,3
Grasanwelksilage, n=6			
1 Woche	0,4	0,4	
4 Wochen	0,5	0,4	
6 Wochen	0,5	0,4	

Der pH-Wert der Silagen änderte sich nach der Lagerung des Erntegutes im Verlauf der sechswöchigen Silierung nicht (Tab. 2). Er lag bei der Maissilage zwischen 3,7 und 3,9 und bei der Grasanwelksilage zwischen 4,3 und 4,4, was auf eine gute Silagequalität schließen lässt. Der Gehalt an Milch- und Essigsäure unterschied sich bei der Silierung von Mais um ca. 1 % der TM zwischen den Silagen, deren Ausgangsmaterial 3 Jahre gelagert wurde und den Varianten frisch siliert und 6 Wochen gelagert. Er ist mit weniger als 4 % der TM bei allen Varianten nicht ausreichend. Bei der Grasanwelksilage lagen die Gehalte an Milch- und Essigsäure im Bereich von 5,5 bis 6,1 mit einer maximalen Differenz von 0,6 % zwischen den Varianten ohne und mit Lagerung vor dem Silieren (Tab. 2).

Tab. 2: pH-Wert und Gehalt an Gärsäuren (Milch- + Essigsäure) im Silierverlauf ohne und mit Lagerung bei -18 °C

Silierdauer	Lagerdauer		
	Ohne n = 2	6 Wochen n = 2	3 Jahre n = 6
pH-Wert			
Maissilage			
1 Woche	3,8	3,8	3,7
4 Wochen	3,8	3,9	3,8
6 Wochen	3,9	3,9	3,9
Grasanwelksilage			
1 Woche	4,3	4,3	
4 Wochen	4,4	4,4	
6 Wochen	4,4	4,4	
Gärsäuren in % der TM			
Maissilage			
1 Woche	2,1	2,3	1,1
4 Wochen	2,0	2,2	1,2
6 Wochen	2,2	2,4	1,2
Grasanwelksilage			
1 Woche	5,6	5,5	
4 Wochen	6,1	5,5	
6 Wochen	5,9	6,0	

2.2 Nährstoff- und Energiehalte von Silagen ohne und mit Lagerung vor dem Silieren

Die Inhaltsstoffe und die Energiegehalte der Silagen haben sich durch die Lagerung nur unerheblich verändert. Die höheren Trockenmassegehalte der vor der Silierung 6 Wochen gelagerten Maissilagen sind auf den Saftaustritt zurück zu führen.

Die Differenzen zu dem am Erntetag silierten Material liegen mit Ausnahme des Stärkegehaltes bei der Variante „3 Jahre Lagerdauer“ innerhalb der zulässigen Toleranzen lt. VO (EU) Nr. 939/2010 (BMELV und BVL, 2012; VDLUFA, 2012) (Tab. 3).

Tab. 3: Nährstoff- und Energiegehalte der Silagen ohne und mit Lagerung bei -18 °C

Analytischer Bestandteil	Lagerdauer		
	Ohne n = 2	6 Wochen n = 2	3 Jahre n = 6
Maissilage			
Trockenmasse	32,1 %	34,6%	32,5%
NEL in MJ/kg TM	6,5	6,6	6,6
	Angaben in % der Trockenmasse		
Rohprotein	8,6	8,3	8,3
Rohasche	4,4	4,1	4,6
NDF org	41,0	41,2	43,2
Rohfett	3,5	3,5	2,9
Stärke	28,2	28,3	32,0
Grasanweltsilage			
Trockenmasse	38,8 %	38,4 %	
NEL in MJ/kg TM	5,9	5,9	
	Angaben in % der Trockenmasse		
Rohprotein	21,2	21,9	
Rohasche	10,2	9,8	
ADF org	28,1	28,6	
Rohfett	3,6	3,5	
Zucker	3,3	2,8	

2.3 Einsatz eines Hilfsgerätes für die Silierung im Labor

Als Laborsilos dienen handelsübliche Weckgläser. Das Siliergut muss stark verdichtet werden, weil das Innere eines Großsilos im Versuch dargestellt werden soll. Um jeweils die gleiche Menge in die Gläser zu stopfen, wird zunächst ein Glas gefüllt und das Nettogewicht ermittelt. Diese Menge Siliergut wird für jedes weitere Glas ausgewogen, um abzusichern, dass in allen Laborsilos die gleiche Verdichtung realisiert wird. Zumeist erfolgt das Stopfen mit der Hand, da im Fachhandel keine Hilfsgeräte angeboten werden. Der individuelle Einfluss auf die Höhe der Verdichtung ist aufgrund unterschiedlicher Körperkräfte der handelnden Personen sehr groß. Zudem nimmt die Verdichtung bei „Handstopfung“ über einen Zeitraum von mehreren Stunden, d. h. bei zunehmender Anzahl gestopfter Gläser, ab. Aus diesem Grund wurde nach einer Möglichkeit gesucht, das Verfahren kräfteschonend zu vereinfachen und die Wiederholbarkeit zu verbessern.

Das Siliergerät besteht aus Stahl, ist leicht zusammenzubauen, zu zerlegen und zu reinigen. Auf eine Grundplatte wurde rechtwinklig eine Säule mit Bohrungen geschweißt. Mittels Bolzen wird ein Rohr an die Säule geschraubt, an dem ein beweglicher Stempel angebracht ist. Mit diesem Stempel, deren Grundfläche etwas kleiner als die Öffnung der Gläser ist, wird das Siliergut im Glas verdichtet. Er muss beweglich sein, damit auch die Ränder im unteren, weiteren Teil der Gläser gut erreichbar sind. An die Säule ist eine Sicherung für das schwere Rohr mit dem Stempel anzubringen. Bei den Geräten in Neubrandenburg sind oben Laschen angeschweißt, die mit einem Splint das Rohr fixieren können. Für den sicheren Stand bei der Arbeit werden die Geräte mit Schraubzwingen am Arbeitstisch befestigt.

Um das Glas beim Verdichten des Siliergutes nicht zu zerbrechen, sollte es auf eine Hartgummimatte o. ä. gestellt werden. Einen gleichbleibenden Druck bei der Verdichtung gewährleistet die Kontrolle mit einer Waage, die unter die Matte gestellt wird, um den Anpressdruck beim Silieren kontrollieren zu können. Gut geeignet sind analoge Personenwaagen, digitale Waagen messen nur punktuell.

2.4 Silierung mit Hilfsgeräten

Laborsilos müssen so befüllt sein, dass Fehlgärungen vermieden werden, d. h., das Siliergut muss stark verdichtet werden und der Glasrand muss sauber sein,

bevor Deckel und Weckgummi mit Klammern befestigt werden. Bei der Silierung von Material mit geringer Trockenmasse – z. B. Rüben oder Zwischenfrüchte – sollten die Gläser nicht bis zum Rand befüllt werden, da sonst Saft austritt, was zu hohen Silierverlusten führt. Auch Probenmaterial, das vor der Silierung gefroren gelagert wurde, saftet beim Verdichten. Wenn die Gläser nur anteilig gefüllt werden, muss das Material trotzdem mit hohem Druck verdichtet werden.

Beim Stopfen mit der Hand wurde die gleiche Verdichtung des Siliergutes erreicht, wie mit dem Hilfsgerät (Tab. 4). Der relative Silierverlust liegt beim Verdichten mit dem Hilfsgerät jedoch ca. 60 % unter dem der Gläser, die mit der Hand gestopft wurden. Durch die geringere körperliche Belastung wird das Material gleichmäßiger verdichtet und eine sehr gute Wiederholbarkeit der Verdichtung beim Befüllen einer größeren Anzahl an Gläsern erreicht. Darüber hinaus wird der Zeitaufwand für das Befüllen eines Glases durch den Einsatz dieses Gerätes gegenüber der Befüllung per Hand um ca. 50 % gesenkt.

Tab. 4: Silierverluste von Maissilage bei Verdichtung mit der Hand und dem Hilfsgerät

	Verdichtung mit der Hand	Verdichtung mit dem Hilfsgerät
Anzahl Proben	88	18
Trockenmasse in %	32,7	32,5
Verdichtung in g TM/ltr.	252	251
Gärverlust in g TM	1,8	0,7
Gärverlust in % der TM	0,7	0,3



Abb. 1: Befüllen von Laborsilos mit einem Hilfsgerät



Abb. 2: Silierversuch mit Anwelksilage



Abb. 3: Silierversuch mit Rüben, Gläser nur zu 60% gefüllt

3. Zusammenfassung

Zur Vermeidung von Arbeitsspitzen im Labor während der Erntezeit können Substrate vor dem Anlegen von Silierversuchen bei -18 °C gelagert werden.

Das Anlegen von Silierversuchen im Labor mit einem Hilfsgerät erleichtert die Befüllung der Gläser und gewährleistet gleichbleibend hohe Verdichtungen. Um einen Saftaustritt bei Erntegut mit geringem Trockenmassegehalt zu vermeiden, sollten die Siliergläser nicht vollständig gefüllt werden. Die Bauanleitung für das Hilfsgerät kann bei den Autorinnen nachgefragt werden (schuldt@hs-nb.de, <http://www.hs-nb.de/ppages/schuldt-anke/>).

4. Literaturangaben

BMELV und BVL, (Hrsg.), 2012: Leitfaden zur Kennzeichnung von Einzelfuttermitteln und Mischfuttermitteln (nach Verordnung (EG) Nr. 767/2009), Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft; Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Tier/Futtermittel/Leitfaden-Kennzeichnung-Futtermittel.pdf;jsessionid=D6FC8261F4692422849183ADC3115D14.2_cid296?__blob=publicationFile.

- EU, 2010: Verordnung Nr. 939/2010 der Kommission vom 20. Oktober 2010 für die Angabe der Zusammensetzung von Einzelfuttermitteln oder Mischfuttermitteln nach Artikel 11 Absatz 5; Amtsblatt der Europäischen Union, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:277:0004:0007:DE:PDF>.
- GfE, 2008: New Equations for Predicting Metabolisable Energy of Grass and Maize Products for Ruminants. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 17, 191-197.
- Pries, M., 2004: Mais richtig silieren. LWK Nordrhein-Westfalen, <http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/rinderhaltung/fuetterung/archiv/maissilage.htm>.
- Richter, W., Rößl, G., 2010: Höhere Verluste bei nicht abgedeckten Silos, Ergebnisse einer Feldstudie. Biogas Forum Bayern Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft (ITE). https://biogas-forum-bayern.de/publikationen/Hohere_Verluste_bei_nicht_abgedeckten_Silos_Ergebnisse_einer_Feldstudie.pdf.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Methode 32.1, Analysespielräume für Futtermitteluntersuchungen. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 8. Ergänzungslieferung http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Fachgruppen/FG6/ASR_Stand_2012_Oktober_Homepage.pdf.

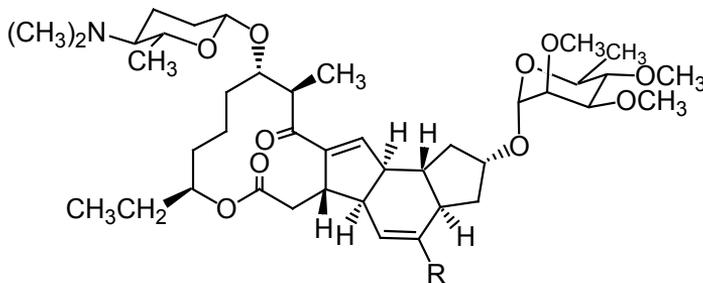
Abbauverhalten von Spinosad

J. Santer, M. Kelderer

Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg, Italien

1. Einführung

Spinosad ist ein Makrolid, das von einer vor relativ kurzer Zeit entdeckten Actinomyceten-Bakterienspezies, *Saccharopolyspora spinosa*, gebildet wird. Durch Fermentierung dieses Bakteriums werden verschiedene Metaboliten gebildet, die Spinosyne genannt werden. Spinosad besteht aus den biologisch wirksamsten Spinosynen A und D (Roberts, 1999).



spinosyn A, R = H-

spinosyn D, R = CH₃-

Abb. 1: Strukturformel von Spinosad

Das Insektizid aktiviert nicotinerge Acetylcholinesteraserezeptoren, allein der Wirkungsmechanismus ist neu, die Aktivierung erfolgt von einer anderen Seite als etwa Nikotin oder Imidacloprid etc.. Eingesetzt wird Spinosad gegen eine Vielzahl von Insekten im Pflanzenschutz, eine Verwendung in der Veterinärmedizin ist in Vorbereitung (Tomlin, 2003).

2. Vorgehensweise

Der Abbaueversuch wurde auf Äpfeln, Apfelblättern, Trauben und Traubenblättern durchgeführt. Als Apfelversuchsanlage wurde der Block 64 des Versuchszentrums Laimburg ausgewählt, bepflanzt mit Golden Delicious auf der

Unterlage M9, Pflanzabstände 3,0 m x 1,2 m, Pflanzjahr 1993. Als Traubenversuchsanlage hingegen eine Chardonnayanlage auf SO4 im Block „Hausanger“ immer des Versuchszentrums Laimburg, Pflanzjahr 2009, Pflanzabstände 2.0 m x 0.80 m. Apfel- und Traubenanlagen wurden am 03.06.2010 mit Spinosad behandelt. Eingesetzt wurde das Formulat „Laser“ (44.2 % Spinosad) in einer Dosierung 30 mL/hL für die Apfelbäume und 20 mL/hL für die Reben. Es wurde mit normaler Konzentration ausgebracht.

Das Probenziehen erfolgten zu jeweils 4 verschiedenen Zeitpunkten, am 10.08., 18.08., 24.08. und am 17.09. Es wurden jeweils 20 Früchte/100 Blätter auf Augenhöhe entnommen.

3. Analytik

Das Probenmaterial (Äpfel und Trauben) wurde zerkleinert, jeweils 100 g wurden mit dem Ultraturrax mit 200 mL Acetonitril aufmazeriert. Anschließend wurde filtriert und auf Volumen gebracht (200 mL). Die Blätter wurden ebenfalls zerkleinert, 20 g ausgewogen, mit 30 mL entionisiertem Wasser versetzt sowie 150 mL Acetonitril, maziert, anschließend 2 Minuten Ultraschallbad, filtriert und auf Volumen gebracht (200 mL) (Tsiplakou, 2010). Technisches Spinosad ist eine Mischung aus Spinosyn A und Spinosyn D.

4. Messung

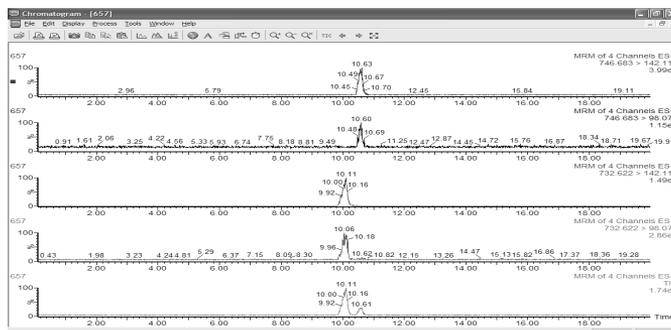


Abb. 2: Chromatogramm von Spinosad, als „total ion chromatogramm“ und mit den verschiedenen Übergängen

Gemessen wurde Spinosad mit einem Alliance 2695 HPLC/Premier XE triple quad Massenspektrometer, als Elutionsmittel Methanol/0,1 % Ameisensäure und Wasser/0,1 % Ameisensäure, wobei mit 10 % organischer Phase startete in 10 Minuten auf 100 % fuhr und anschließend 10 Minuten mit reiner organischer Phase eluierte. Als Trennsäule wurde eine Ascentis Express 10 cm x 2,1 mm x 2,7 μm verwendet. Die gemessenen Übergänge waren 732 > 98 und 732 > 142 für Spinosyn A und 746 > 98 sowie 746 > 142 für Spinosyn D. In Abbildung 1 wird ein Chromatogramm von Spinosad und den einzelnen Übergängen gezeigt.

5. Ergebnisse

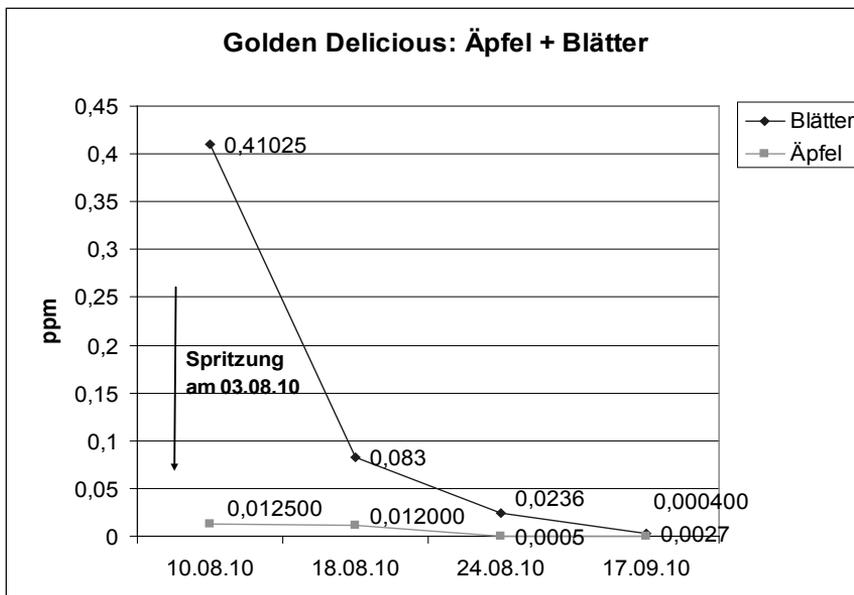


Abb. 3: Abbau von Spinosad auf Apfel und Apfelblatt

Die Ergebnisse zeigen einen schnellen Abbau von Spinosad, wobei allerdings das Anfangsdepot auf den Früchten sehr niedrig ist (ca. 0,01 mg/kg), bei den Blättern auf Grund des viel größeren Verhältnisses Oberfläche/Gewicht startet man mit einem Rückstandsdepot von ca. 0,4 mg/kg. Bei den Früchten, Äpfeln und Trauben, ist man bereits nach 2 Wochen unter der gesetzlichen Nachweisgrenze von 0,01 mg/kg. Soweit abgebaut hat sich Spinosad auf Blättern bei

Äpfeln erst nach vier Wochen, während man sich bei Reben nach 4 Wochen noch auf einem Niveau von 0,05 mg/kg befindet. In Abbildung 3 sind die Abbaukurven von Spinosad auf Äpfeln dargestellt (Früchte und Blätter), in Abbildung 4 die Abbaukurven auf Reben (Trauben und Blätter).

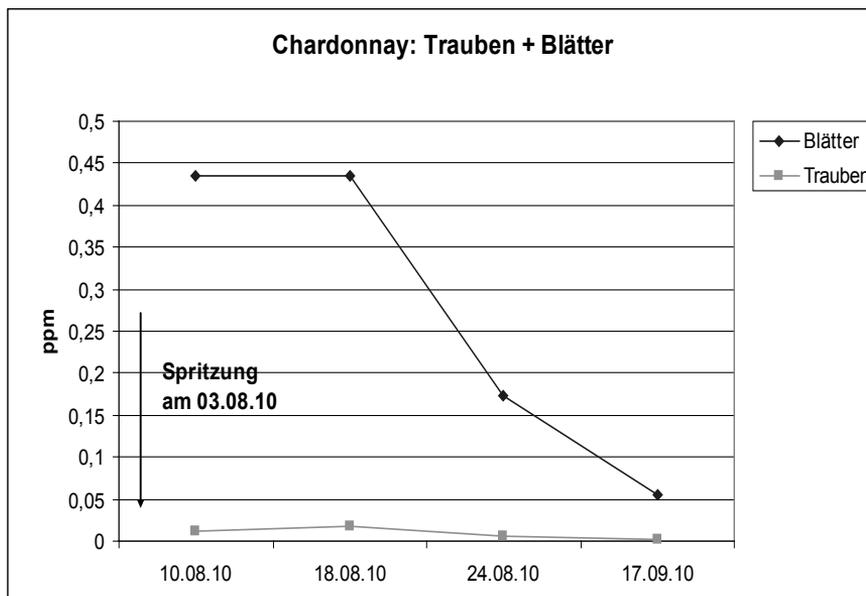


Abb. 4: Abbau auf Trauben und Traubenblatt

6. Literaturangaben

Roberts, T., Hutson, D., (ed.), 1999: Metabolic Pathways of Agrochemicals. Cambridge.

Tomlin, C.D.S. (Ed.), 2003: The e-Pesticide Manual. 13th ed., Alton.

Tsiplakou, E., Anagnostopoulos, C.J., Liapis, K., Haroutounian, S.A., Zervas, G., 2010: Pesticide residues in milks and feedstuff of animal farms drawn from Greece. Chemosphere 80, 504-512.

Autorenindex

Adam, A.	143	Camp, F.	143
Ahl, C.	254	Carrasco, S.	662, 703
Aichele, T.	289	Christ, E.	152
Albert, E.	368	Claus, H.	535
Alert, H.-J.	505, 761	Danier, J.	528
Alt, M.	828	Diepolder, M.	384
Andresen, J.	834	Diethelm, M.	794
Appel, T.	862	Dinse, R.	879
Armbruster, M.	174, 182	Drissen, P.	244
Arrigo, Y.	761	Dunkel, S.	592
Balík, J.	226	Dusseldorf, T.	679
Barthelmes, G.	327, 492, 498	Dänicke, S.	63
Bartsch, S.	244	Ebel, G.	327, 498
Bauer, R.	799	Einax, J.W.	392
Baumgartner, D.U.	688	El-Henawy, A.S.	462
Baumgärtel, T.	512	Ellmer, F.	89
Bedlan, G.	15	EiB, S.	558
Belkner, C.	804	Engels, C.	109, 116, 143, 431
Bellof, G.	652, 662, 703	Ettle, T.	520, 636, 644, 761
Benckiser, G.	152	Ewald, C.	728
Benkmann, A.	621	Falk, S.	404
Berendonk, C.	671	Felix, J.	342
Berk, A.	535	Felsner, M.	558
Beßler, H.	109, 143	Fettweis, U.	823
Bischoff, J.	192	Finck, M.	210
Bischoff, M.	475	Fischer, C.	540
Blome, J.	152	Fischer-Kaiser, K.	845
Boese, L.	167	Flachowsky, G.	63
Borchardt, I.	271	Flaig, H.	359, 484
Borchert, A.	123, 384	Flekna, J.	839
Breuer, J.	244, 289	Freisfeld, G.	713
Brunn, H.	404	Freitag, M.	713
Bystricky, M.	688	Fritsch, F.	136
Bähr, R.-P.	540	Fröhlich, B.	621
Böker, K.	644	Frühwirth, M.	744
Büsing, K.	535	Gaillard, G.	688

Gans, W.	449	Häusler, J.	744
Georgii, S.	200, 404, 438	Höcker, S.	109, 116
Gierke, U.	785	Hölzle, L. E.	308
Goldbach, H. E.	43	Hülsbergen, K.-J.	799
Goldmann, D.	392	Hünting, K.	736
Greef, J.-M.	254	Immig, I.	575
Gruber, L.	744	Jil, T.	753
Grunert, M.	368	Jilg, T.	563
Grünewald, K.-H.	528	John, N.	143
Guetta, Y.	143	Jurkschat, M.	545, 728
Guggenberger, T.	688	Kelderer, M.	887
Gödeke, K.	475, 854	Kerschberger, M.	234
Hagemann, L.	535	Khalifa, M.R.	462
Hagl, G.	575	Kießling, G.	263, 392
Halle, I.	582, 587	Killermann, B.	779, 794, 799
Hans, J.	679	Kirchhof, S.	505
Hardinghaus, A.	535	Kirmse, R.	392
Hardt, M.	152	Kirsten, F.	455
Hartlein, T.	815	Kluge, R.	97, 300
Hartwig, H.	210	Kluth, H.	512, 761
Haumacher, R.	308	Knapp, H.	558
Heck, A.	417	Koch, C.	761
Heger, A.	174, 182	Koch, D.	200, 404
Heiermann, M.	327	Koch, D.	438
Heinrich, J.	455	Kock, C.	271
Heinz, S.	384	Kowalczyk, J.	601
Heller, C.	828	Krehl, I.	553
Hendrichske, C.	417	Kroschewski, B.	89
Hengelhaupt, F.	475, 854	Krüger, K.	535
Henkelmann, G.	845	Kuhn, G.	384
Herbert, T.	152	Kulhánek, M.	226
Herbst, F.	449	König, V.	234
Herndl, M.	688	Kücke, M.	254
Herzog, E.	540	Kühl, J.	823
Heyn, J.	200, 404, 438	Lahrssen-Wiederholt, M.	38, 601, 621
Hochberg, H.	263	Laun, N.	182
Hoedemaker, M.	736	Leiterer, M.	392
Hoffmanns, C.	736		

Leiterer, M.	627	Otten, C.	535
Liebert, F.	695	Paterson, M.	475
Lindermayer, H.	720	Patz, A.	744
Liroy, R.	679	Paulsen, H.M.	335, 342
Lobach, M.	116	Philipp, W.	308
Lorenz, F.	280	Pickl, M.	644
Losand, B.	761	Pieper, B.	770
Lubkowitz, C.	271	Pikula, D.	501
Lüttschwager, D.	728	Pischke, J.	244
Machulla, G.	455	Plesch, P.	703
Martens, D.	834	Potthast, C.	563
Mashali, S.A.	462	Pralle, H.	123, 384
Matthes, W.	535	Preißinger, W.	720
Mayer, F.	11	Priepke, A.	761
Meier, A.	679	Pries, M.	671, 736, 761
Meierfrankenfeld, U.	713	Prischenk, R.	644
Meiser, H.	558	Propstmeier, G.	720
Meissner, R.	192	Rabie, A.	462
Menke, A.	736, 761	Rademacher, M.	535
Mewes, P.	109, 116	Radermacher, F.J.	18
Michels, K.	289	Rahmann, G.	342
Mikolajewski, S.	636	Raschbacher, S.	384
Mindermann, B.	862	Reding, R.	679
Mokry, M.	289	Reinhold, G.	854
Moosmeyer, M.	575	Reinhold, J.	97, 300
Märtin, M.	492	Reinsch, M.	210
Müller, S.	535	Rex, M.	244
Müller, T.	174	Richardt, W.	770
Münch, K.	553	Riedel, M.	804
Netzer, J.	810	Riewenherm, G.	535
Neumann, C.	6	Rodehutscond, M.	636
Nitzsche, O.	455	Romberg, F.-J.	761
Obenauf, U.	271	Roscher, S.	770
Obermaier, A.	520	Rudischina, N.	571
Oehme, S.	512	Ruhland, M.	558
Ohm, M.	335, 342	Rupp, H.	192
Olf, H.-W.	123, 384	Ruser, R.	174
Opperer, J.	76	Salzeder, G.	779

Sandhäger, A.	404	Steuer, G.	528
Santer, J.	887	Steyer, M.	636
Schaaf, H.	200, 404, 417, 438	Strauß, G.	612, 871
Schade, B.	703	Streuff, B.	736
Schadow, L.	545	Strube, M.	592
Schaeffer, H.	592	Stürmer, H.	56
Schafft, H.	601, 621, 770	Tauchnitz, N.	192
Schauer, A.	744	Titze, A.	505
Schenkel, H.	28	Trauboth, K.	592
Schlicht, C.	558	Trautwein, J.	761
Schmidt, E.	652, 662	Turme., S.	679
Schmidt, M.	351	Urdl, M.	744
Schmidtmann, A.	431	Verhoeven, A.	671
Schmutz, M.	662	Verhülsdonk, C.	671, 736
Schrödter, M.	192	Voit, B.	779, 794, 799
Schröter, H.	80, 392	Wagne., S.	218
Schuldt, A.	879	Walgern, B.	713
Schulz, R.	174	Weber, M.	535
Schuster, M.	636	Wecke, C.	695
Schwarz, F.J.	575	Weindl, P.	652, 662
Schweitzer, K.	109, 116, 226	Weiser, C.	319
Schweizer, G.	794	Weiske, A.	152
Schöne, F.	540, 582, 627	Weiß, K.	828
Schüler, M.	335, 342	Wiese, F.	192
Seiz, P.	174	Wiesler, F.	1, 182, 174
Severin, M.	254	Windisch, W.	575
Simon, A.	621	Youssef, S.M.	462
Sobioch, C.	143	Zentek, J.	621
Somitsch, W.	744	Zeyner, A.	535
Spiekers, H.	575, 636, 644	Zimmer, J.	498
Spolders, M.	621	Zimmer, J.	89
Stahl, T.	404	Ziron, M.	713
Stamer, E.	753	Zopf, D.	263
Steinberger, S.	644	Zorn, W.	80, 218, 263, 319, 392, 862
Steiner, B.	744	Zweifel, B.	592
Steinhöfel, O.	621, 761, 770		

Adressliste der korrespondierenden Autoren**Adam, Anna**

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Dr. Ahl, Christian

Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Agrarpädologie
Göttingen

Aichele, Thomas

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)
Karlsruhe

Aigner, Klara

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Dr. Alert, Hans-Joachim

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Tierische Erzeugung
Köllitsch

Alt, Manuela

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Gemeinschaftslabor Analytik
Berlin

Annette, Menke

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Münster

Prof. Dr. Appel, Thomas

Fachhochschule Bingen
Bingen

Arrigo, Yves

Forschungsanstalt Agroscope Liebefeld-Posieux (ALP)
Posieux, Schweiz

Dr. Aulwurm, Uwe

LCTech GmbH
Dorfen

Bähr, Ralf-Peter

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
Jena

Dr. Barthelmes, Gert

Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Referat Ackerbau und Grünland
Stahnsdorf

Bartsch, Siegfried

Erich Friedrich Hüttenservice GmbH
Salzgitter

Bauer, Robert

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Saatgutuntersuchung/
Saatgutforschung
Freising

Dr. Baumgärtel, Tina

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
Jena

Dr. Baumgarten, Andreas

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES), Institut für Nachhaltige Pflanzenproduktion
Wien, Österreich

Baumgartner, Daniel

Forschungsanstalt Agroscope
Reckenholz-Tänikon (ART)
Zürich, Schweiz

Behle-Schalck, L

Justus-Liebig-Universität Gießen,
Institut für Pflanzenbau und Pflanzen-
züchtung I
Gießen

Belkner, Christine

Landesamt für Ländliche Entwicklung,
Landwirtschaft und Flurneuordnung
des Landes Brandenburg, Referat
Saatenanerkennung
Zossen

Prof. Dr. Bellof, Gerhard

Hochschule Weihenstephan-Tries-
dorf
Freising

PD Dr Benckiser, Gero

Justus-Liebig-Universität Gießen
Gießen

Benkmann, Ariane

Humboldt-Universität zu Berlin
Berlin

Berendonk, Clara

Landwirtschaftskammer Nordrhein-
Westfalen
Münster

Dr. Bernsmann, Thorsten

Chemisches und Veterinäruntersu-
chungsamt Münsterland-Emscher-
Lippe
Münster

Beßler, Holger

Humboldt-Universität zu Berlin, Insti-
tut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Bieber, Marisa

Humboldt-Universität zu Berlin, Insti-
tut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Dr. Bischoff, Joachim

Landesanstalt für Landwirtschaft,
Forsten und Gartenbau Sachsen-
Anhalt
Bernburg

Dr. Bischoff, Manfred

LUFA Nord-West
Oldenburg

Prof. Dr. Blume, Hans-Peter

Christian-Albrechts-Universität zu
Kiel (CAU), Institut für Pflanzenernäh-
rung und Bodenkunde
Kiel

Dr. Boese, Lothar

Landesanstalt für Landwirtschaft,
Forsten und Gartenbau (LLFG)
Sachsen-Anhalt
Bernburg (Saale)

Böker, Karsten

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Lehr-, Versuchs- und Fach-
zentrum für ökologischen Landbau
Kringell
Hutthurm

Borchardt, Imke

Landwirtschaftskammer Schleswig-
Holstein
Rendsburg

Borchert, Anne

Hochschule Osnabrück
Osnabrück

Böttger, Christian

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften
Bonn

Breuer, Joachim

Reterra Service GmbH
Erftstadt

Dr. Breuer, Jörn

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)
Karlsruhe

Dr. Brock, Christopher

Justus-Liebig-Universität Gießen
Gießen

Prof. Dr. Brunn, Hubertus

Landesbetrieb Hessisches Landeslabor
Gießen

Bystricky, Maria

Forschungsanstalt Agroscope
Reckenholz-Tänikon (ART)
Zürich, Schweiz

Camp, Frederico

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Dr. Carrasco, Luz

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Freising

Dr. Carrasco, Luz Salomé

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Freising

Prof. Dr. Dr. Dänicke, Sven

Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Institut für Tierernährung
Braunschweig

Danier, Jürgen

Bioanalytik Weihenstephan (ZIEL)
Freising

Dr. Deller, Berthold

Pfingsttal

Deplewski, Peter

Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik
Stuttgart

Dr. Dersch, Georg

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES), Institut für Nachhaltige Pflanzenproduktion
Wien, Österreich

Dr. Diepolder, Michael

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz
Freising

Dr. Diethelm, Manuela

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Freising

Dinse, R

Hochschule Neubrandenburg
Neubrandenburg

Prof. Dr. Dittert, Klaus

Georg-August-Universität Göttingen,
Department für Nutzpflanzenwissen-
schaften, Universität Göttingen
Göttingen

Dr. Domey, Sabine

Thüringer Landesanstalt für Landwirt-
schaft (TLL)
Jena

Dos Santos, T

AB Vista Feed Ingredients
Marlborough, UK

Dr. Drissen, Peter

FEhS-Institut für Baustoff-Forschung
Duisburg

Dunkel, Silke

Thüringer Landesanstalt für Landwirt-
schaft (TLL)
Jena

Dusseldorf, Tom

CONVIS s.c.
Ettelbrück, Luxemburg

Dr. Ebel, Gunter

Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e. V.
Stahnsdorf

Prof. Dr. Einax, Jürgen W.

Friedrich-Schiller-Universität Jena,
Institut für Anorganische und Analyti-
sche Chemie
Jena

Dr. Eiß, Sandra

Bayerisches Landesamt für Gesund-
heit und Lebensmittelsicherheit
Erlangen

Engels, Christof

Humboldt-Universität zu Berlin, Insti-
tut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Dr. Ettle, Thomas

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Institut für Tierernährung
und Futterwirtschaft
Poing

Falk, Sandy

Landesbetrieb Hessisches Landes-
labor
Wiesbaden

Dr. Fauhl-Hassek, Carsten

Bundesinstitut für Risikobewertung
Berlin

Felsner, Martin

Bayerisches Landesamt für Gesund-
heit und Lebensmittelsicherheit
Oberschleißheim

Dr. Fettweis, Ulrich

C. Gerhardt GmbH & Co. KG
Königswinter

Dr. Finck, Margarete

Landwirtschaftliches Technologie-
zentrum Augustenberg (LTZ), Referat
Agrarökologie
Karlsruhe

Fischer, Christine

Thüringer Landesanstalt für Landwirt-
schaft (TLL)
Jena

Fischer, Katrin

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen
Freising

Dr. Flaig, Holger

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)
Karlsruhe

Flanagan, S

AB Vista Feed Ingredients
Towcester, UK

Flekna, Jürgen

Pragmatis GmbH
Neufahrn

Freisfeld, Georg

Erzeugerring Westfalen
Senden

Prof. Dr. Freitag, Mechthild

Fachhochschule Südwestfalen
Soest

Dr. Fritsch, Friedhelm

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum
Bad Kreuznach

Fröhlich, Brigitte

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Köllitsch

Frühwirth, Matthias

Human Research
Weiz, Österreich

Fry, Hildburg

Bundesinstitut für Risikobewertung
Berlin

Dr. Fürst, Peter

Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Münsterland-Emscher-Lippe
Münster

Dr. Gaillard, Gérard

Forschungsanstalt Agroscope
Reckenholz-Tänikon (ART)
Zürich, Schweiz

Dr. Georgii, Sebastian

Landesbetrieb Hessisches Landeslabor
Wiesbaden

Gerlach, Katrin

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften
Bonn

Ghulham, H

Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Pflanzenökologie
Gießen

Gierke, Ulrich

Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Prüf- und Anerkennungsstelle für Saat- und Pflanzgut
Halle/Saale

Gilhofer, Andre

BIOLAB, Technisches Büro für Biologie
Haslach

Dr. Gödeke, Katja

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
Jena

Goldmann, Daniel

Friedrich Schiller Universität Jena,
Institut für Anorganische und Analyti-
sche Chemie
Jena

Prof. Dr. Greef, Jörg-Michael

Julius Kühn-Institut – Bundesfor-
schungsinstitut für Kulturpflanzen
(JKI), Institut für Pflanzenbau und
Bodenkunde
Braunschweig

Univ. Doz. Dr. Gruber, Leonhard

LFZ Raumberg-Gumpenstein, Institut
für Nutztierforschung
Irdning, Österreich

Dr. Gründling, Ralf

Helmholtz-Zentrum für Umweltfor-
schung GmbH
Halle/Saale

Dr. Grunert, Michael

Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie
Nossen

Dr. Grünewald, Karl-Hermann

Verein Futtermitteltest (VFT)
Bonn

Guetta, Yotam

Humboldt-Universität zu Berlin, Insti-
tut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Guggenberger, Thomas

LFZ Raumberg-Gumpenstein
Irdning

Haberl, Lucia

LFZ Raumberg-Gumpenstein
Irdning

Hagemann, Luise

Landesamt für Ländliche Entwicklung,
Landwirtschaft und Flurneuordnung
des Landes Brandenburg, Abteilung
Landwirtschaft und Gartenbau
Teltow-Ruhlsdorf

Dr. Halle, Ingrid

Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Institut
für Tierernährung
Braunschweig

Hans, Jeff

CONVIS s.c.
Ettelbrück, Luxemburg

Hartlein, Thomas

Teledyne Tekmar
Ohio, USA

Dr. Hartmann, Gerhard

LLFG Sachsen-Anhalt
Bernburg

Hartwig, H

Landwirtschaftliches Technologie-
zentrum Augustenberg (LTZ), Referat
Agrarökologie
Karlsruhe

Dr. Haslmayr, Hans-Peter

Österreichische Agentur für Gesund-
heit und Ernährungssicherheit GmbH
(AGES)
Linz, Österreich

Dr. Heiermann, Monika

Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e. V.
Potsdam

Prof. Dr. Heinrich, Jürgen

Institut für Geografie, Universität
Leipzig
Leipzig

Heller, Christian

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät
Berlin

Hengelhaupt, Frank

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
Jena

Henkelmann, Günter

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen
Freising

Dr. Herbst, Friedhelm

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften
Halle/Saale

Dr. Herndl, Markus

LFZ Raumberg-Gumpenstein
Irdning, Österreich

Dr. Hertwig, Frank

Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung
Brandenburg
Paulinenaue

Herzog, Christine

Forschungsanstalt Agroscope
Reckenholz-Tänikon (ART)
Zürich, Schweiz

Herzog, Elke

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Referat Futtermittel und Produktprüfung
Jena

Dr. Heyn, Johannes

Landesbetrieb Hessisches Landeslabor
Kassel

Dr. Hochberg, Hans

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
Jena

Höcker, Paul

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Höcker, Sven

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Hoedemaker, Martina

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Münster

Hoffmanns, Christine

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Münster

Prof. Dr. Horst, Walter, J.

Universität Hannover, Institut für Pflanzenernährung
Hannover

PhD Hughes, Scott

Elementa Americas
Mt. Laurel, PA, USA

Prof. Dr. Hülsbergen, Kurt-Jürgen

Technische Universität München,
Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt
Freising

Hünting, Klaus

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Münster

Dr. Hüther, Liane

Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Institut für Tierernährung
Braunschweig

Ingelmann, Christoph-Johannes

Universität Hohenheim, Institut für Tierernährung
Stuttgart

Dr. Jilg, Thomas

Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW)
Aulendorf

John, Nina

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Dr. Jurkschat, Michael

LELF Brandenburg, Referat Tierzucht, Fischerei
Groß Kreutz

Prof. Dr. Kage, Henning

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Kiel

Dr. Kalzendorf, Christine

Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Oldenburg

Kammann, C

Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Pflanzenökologie
Gießen

Kaufmann, Josef

HBLFA-Raumberg-Gumpenstein
Irdning

Dr. Kerschberger, Manfred

Weimar

Kießling, Günter

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
Jena

Dr. agr. Killermann, Berta

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Saatgutuntersuchung / Saatgutforschung
Freising

Dr. agr. Kirchhof, Susanne

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie
Kiel

Kirsten, Fabian

Institut für Geografie, Universität
Leipzig
Leipzig

Dr. Kluge, Rainer

Karlsruhe

Dr. Kluth, Holger

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften
Halle/Saale

Dr. Knapp, Holger

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
Erlangen

Knebl, Lucas

Justus-Liebig-Universität Gießen
Gießen

Dr. Koch, Christian

Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung, Hofgut Neumühle
Münchweiler an der Alsenz

Koch, Dierk

Landesbetrieb Hessisches Landeslabor
Kassel

Dr. Koenig, Volkmar

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
Jena

Dr. Köller, Claus

t&p Triestram & Partner GmbH
Bochum

Kolodzeyzik, Katharina

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften
Bonn

Korn, Ulrich

Dr. Pieper TuP GmbH
Wuthenow

Köslin-Findeklee, Fabian

Universität Hannover, Institut für Pflanzenernährung
Hannover

Köster, Jan Reent

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde
Kiel

Kowalczyk, Janine

Bundesinstitut für Risikobewertung
Berlin

Dr. Krehl, Ines

Lehr- und Versuchsanstalt für Tierzucht und Tierhaltung e. V.
Groß Kreutz

Prof. Dr. sc. agr. Kruse, Michael

Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik
Stuttgart

Dr. Kücke, Martin

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI), Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde
Braunschweig

Kunz, Katja

HLS Gesellschaft für Analysentechnik
Salzwedel

Kunzner, Heike

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)
Karlsruhe

Dr. Lahrssen-Wiederholt, Monika

Bundesinstitut für Risikobewertung
Berlin

Dr. Lange, Lutz

Elementar Analysensysteme GmbH
Hanau

Dr. Leberl, Patricia

Universität Hohenheim, Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie
Stuttgart

Dr. Lebzien, Peter

Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Institut für Tierernährung
Braunschweig

Dr. Leiterer, Matthias

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
Jena

Prof. Dr. Leithold, Günter

Justus-Liebig-Universität Gießen
Gießen

Liao, Yuwei

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften
Bonn

Prof. Dr. Liebert, Frank

Georg-August-Universität Göttingen, Tierernährungsphysiologie
Göttingen

Dr. Lindermayer, Hermann

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft
Poing

Lioy, Rocco

CONVIS s.c.
Ettelbrück, Luxemburg

Lobach, M.

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Dr. Lorenz, Frank

LUFA Nord-West
Oldenburg

Dr. Losand, Bernd

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
Dummerstorf

Lupo, M

Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Pflanzenernährung
Gießen

Dr. Machulla, Galina

Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
Nossen

Dr. Margraf, Dominik

Elementar Analysensysteme GmbH
Hanau

Dr. Marquardt, Dieter

Thermo Fisher Scientific GmbH
Dreieich

Dr. Martens, Dieter

Landwirtschaftliches Untersuchungs- u. Forschungsanstalt (LUFA) Speyer
Speyer

Märtin, Manuela

Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung
Güterfelde

Prof. Dr. Mashali, Samir Ali

Kafr-El-Sheikh University, Faculty of
Agriculture
Kafr-El Sheikh, Egypt

Dr. agr. Maurer, Hans Peter

Universität Hohenheim, Landessaat-
zuchtanstalt
Stuttgart

Meier, André

CONVIS s.c.
Ettelbrück, Luxemburg

Meierfrankenfeld, Ulrich

Erzeugerring Westfalen
Senden

Meiser, PD Dr. Heribert

Bayerisches Landesamt für Gesund-
heit und Lebensmittelsicherheit
Oberschleißheim

Prof. Dr. Meissner, Ralph

Helmholtz-Zentrum für Umweltfor-
schung GmbH (UFZ)
Falkenberg

Menke, Albert

Landwirtschaftskammer Nordrhein-
Westfalen
Münster

Mewes, Paul

Humboldt-Universität zu Berlin, Insti-
tut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Dr. Meyer, Lutz

LLFG Sachsen-Anhalt
Halle/Saale

Dr. Meyer, Ulrich

Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Institut
für Tierernährung
Braunschweig

Dr. Michels, Klaus

Landwirtschaftliches Technologie-
zentrum Augustenberg (LTZ)
Karlsruhe

Miersch, Martin

Humboldt-Universität zu Berlin, Insti-
tut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Dr. Mikolajewski, Sabine

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Abteilung Qualitätssiche-
rung und Untersuchungswesen
Freising

Mindermann, Barbara

Fachhochschule Bingen
Bingen

Dr. Mokry, Markus

Landwirtschaftliches Technologie-
zentrum Augustenberg (LTZ)
Karlsruhe

Prof. Dr. Mühling, Karl H.

Christian-Albrechts-Universität zu
Kiel (CAU), Institut für Pflanzenernäh-
rung und Bodenkunde
Kiel

Netzer, Jessica

J2 Scientific
Columbia, USA

Nietner, Thorben

Bundesinstitut für Risikobewertung
Berlin

Nina, John

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Dr. Nitzsche, Olaf

Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
Nossen

Dr. Obenauf, Ulfried

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
Rendsburg

Obermaier, Anton

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft
Poing

Oehme, Sebastian

Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften
Halle/Saale

Ohm, Magdalena

Thünen-Institut für Ökologischen Landbau – Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Westerau

Olfs, Hans-Werner

Hochschule Osnabrück
Osnabrück

Prof. Dr. Pacholski, Andreas

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Kiel

Paterson, Mark

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL)
Darmstadt

DI Pfundtner, Erwin

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES)
Wien, Österreich

Dr. med. vet. Philipp, Werner

Universität Hohenheim, Umwelt- und Tierhygiene
Stuttgart

PhD Philipps, Petra

AB Vista Feed Ingredients
Wiltshire, UK

Dr. Pick, Denis

Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Anorganische und Analytische Chemie
Jena

Pickl, Maximilian

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierzucht
Poing

Pischke, Jens

Salzgitter Flachstahl GmbH
Salzgitter

Plesch, Petra

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Freising

Dr. Potthast, Christine

Südzucker AG Mannheim/Ochsenfurt
Ochsenfurt

Pralle, Herbert

Hochschule Osnabrück
Osnabrück

Dr. Preißinger, Wolfgang

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Institut für Tierernährung
und Futterwirtschaft
Schwarzenau

Dr. Preiß-Weigert, Angelika

Bundesinstitut für Risikobewertung
Berlin

Dr. Priebe, Reinhard

Landesamt für Ländliche Entwicklung,
Landwirtschaft und Flurneuordnung
Brandenburg
Paulinenaue

Dr. Priepke, Antje

Landesforschungsanstalt für Land-
wirtschaft und Fischerei Mecklenburg-
Vorpommern
Dummerstorf

Dr. Pries, Martin

Landwirtschaftskammer Nordrhein-
Westfalen
Münster

Prischenk, Rainer

Landwirtschaftliche Lehranstalten
Bayreuth
Bayreuth

Propstmeier, Günther

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Institut für Tierernährung
und Futterwirtschaft
Poing

Prof. Dr. Dr. Radermacher, F. J

Universität Ulm, Institut für Datenban-
ken und Künstliche Intelligenz
Ulm

Reding, Romain

CONVIS s.c.
Ettelbrück, Luxemburg

Reichardt, Nina

SPECTRO Analytical Instruments
GmbH
Kleve

Dr. Reinhold, Gerd

Thüringer Landesanstalt für Landwirt-
schaft (TLL)
Jena

Dr. Reinhold, Jürgen

Potsdam

Reinsch, M

Landwirtschaftliches Technologie-
zentrum Augustenberg (LTZ), Referat
Agrarökologie
Karlsruhe

Dr. Rex, Martin

Arbeitsgemeinschaft Hüttenkalk e. V.
Duisburg

Dr. Richardt, Wolfram

LKS - Landwirtschaftliche Kommuni-
kations- und Servicegesellschaft mbH
Lichtenwalde

Dr. Riedel, Marko

Landesamt für Ländliche Entwicklung,
Landwirtschaft und Flurneuordnung
des Landes Brandenburg, Referat
Saatenanerkennung
Zossen

Prof. Dr. Rodehutsord, Markus

Universität Hohenheim, Institut für
Tierernährung
Stuttgart

Rödiger, Lutz

Thüringer Landesanstalt für Landwirt-
schaft (TLL)
Jena

Röhl, David

Humboldt-Universität zu Berlin, Insti-
tut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Roscher, Simone

Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie
Köllitsch

Dr. Rudischina, Natalya

Altaier Staatliche Agraruniversität
Barnaul
Barnaul, Russland

Dr. Ruhland, Monika

Bayerisches Landesamt für Gesund-
heit und Lebensmittelsicherheit
Oberschleißheim

Dr. Rupp, Holger

Helmholtz-Zentrum für Umweltfor-
schung GmbH (UFZ)
Falkenberg

Prof. Dr. Saffan, M.Mohye

Kafr-El-Sheikh University, Faculty of
Agriculture
Kafr-El Sheikh, Egypt

Salzeder, Georg

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Institut für Pflanzenbau und
Pflanzenzüchtung, Saatgutuntersu-
chung/Saatgutforschung
Freising

Sandhäger, Andreas

Landesbetrieb Hessisches Landes-
labor
Kassel

Dr. Santer, Johann

Land- und Forstwirtschaftliches Ver-
suchszentrum Laimburg
Auer, Italien

Dr. Schaaf, Harald

Landesbetrieb Hessisches Landes-
labor Abteilung Landwirtschaft und
Umwelt
Kassel

Dr. Schade, Benjamin

Tiergesundheitsdienst Bayern e. V.
Poing

Schaeffer, Helena

BASU Mineralfutter GmbH
Bad Sulza

PD Dr. Schafft, Helmut

Bundesinstitut für Risikobewertung
Berlin

Schalow, Linda

Universität Potsdam, Institut für Bio-
chemie und Biologie
Potsdam

Prof. Schenkel, Hans

Universität Hohenheim, Landes-
anstalt für Landwirtschaftliche Chemie
Stuttgart

Schiffermüller, Laurenz

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES)
Wien, Österreich

DI Schlatter, Norman

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES), Institut für Nachhaltige Pflanzenproduktion
Wien, Österreich

Dr. Schlicht, Claus

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
Oberschleißheim

Prof. Dr. Schmidt, Eggert

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Freising

Schmidt, Martin

Deutscher Wetterdienst, Abteilung Agrarmeteorologie
Leipzig

Schmidtman, Aaron

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Tierarzt Schmutz, Matthias

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Freising

Schneider, Carolin

Universität Hohenheim, Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie
Stuttgart

Professor Dr. habil. Schöne, Friedrich

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Referat Futtermittel und Produktprüfung
Jena

Dr. Schrödter, Matthias

Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt
Bernburg

Schröter, Hubert

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
Jena

Schuldt, Anke

Hochschule Neubrandenburg
Neubrandenburg

Schüler, Maximilian

Thünen-Institut für Ökologischen Landbau – Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Westerau

Dr. Schulte auf'm Erley, Gunda

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), Institut für Pflanzenernährung
Kiel

Dr Schuppenies, Rudolf

Paulinenauer Arbeitskreis Grünland und Futterwirtschaft
Paulinenaue

Dr. Schuster, Manfred

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen
Poing

Prof. Schwarz, F.J.

Freising

Dr. Schweitzer, Günther

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Institut für Pflanzenbau und
Pflanzenzüchtung
Freising

Schweitzer, Kathlin

Humboldt-Universität zu Berlin, Insti-
tut für Pflanzenbauwissenschaften
Berlin

Seiz, Perik

Universität Hohenheim, Institut für
Pflanzenernährung
Stuttgart

Severin, Maximilian

Georg-August-Universität Göttingen
Agrarpedologie
Göttingen

Sheehan, N

AB Vista Feed Ingredients
Caerphilly, UK

Sieper, Albrecht

Elementar Analysensysteme GmbH
Hanau

Dr. Sieper, Hans-Peter

Elementar Analysensysteme GmbH
Hanau

Dr. Simon, Annette

Humboldt-Universität zu Berlin
Berlin

Slight, Kenneth

Elementar Americas
Mt Laurel, PA, USA

Sobioch, Christian

Berliner Stadtgüter GmbH
Berlin

Somitsch, Walter

IPUS GmbH
Rottenmann

DI Dr. Spiegel, Heide

Österreichische Agentur für Gesund-
heit und Ernährungssicherheit GmbH
(AGES), Institut für Nachhaltige Pflan-
zenproduktion
Wien, Österreich

Dr. Spiekers, Hubert

Bayerische Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Institut für Tierernährung
und Futterwirtschaft
Poing

Dr. Spolders, Markus

Bundesinstitut für Risikobewertung
Berlin

Stadler, Barbara

HLS Gesellschaft für Analysetechnik
Salzwedel

Stahl, Thorsten

Landesbetrieb Hessisches Landes-
labor
Wiesbaden

Dr. Stamer, Eckhard

Christian-Albrechts-Universität zu
Kiel (CAU), Institut für Tierzucht und
Tierhaltung
Kiel

Prof. Dr. Steffens, Diedrich

Justus-Liebig-Universität Gießen,
Institut für Pflanzenernährung
Gießen

Steinberger, Siegfried

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft
Poing

Steiner, Barbara

LFZ Raumberg-Gumpenstein
Irdning, Österreich

Dr. Steingaß, Herbert

Universität Hohenheim, Institut für Tierernährung
Stuttgart

Dr. Steinhöfel, Olaf

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Köllitsch

Steuer, Georg

DLGe. V., VFT-Koordinierungsstelle
Groß-Umstadt

Steyer, Mariana

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft
Poing

Dr. Strauß, Gerhard

Landwirtschaftliches Untersuchungs- u. Forschungsanstalt (LUFA) Speyer
Speyer

Streuff, Beate

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Münster

Strube, Manfred

Landwirtschaftsgenossenschaft e. G.
Förtha
Eckardtshausen

Prof. Dr. Südekum, Karl-Heinz

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Institut für Tierwissenschaften
Bonn

Dr. Tauchnitz, Nadine

Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt
Bernburg

Ten Doeschate, R

AB Vista Feed Ingredients
Marlborough, UK

Thaler, Albert

Hörmann Interstall GmbH & Co KG
St. Peter

Tischler, Juliane

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
Oberschleißheim

Titze, Andreas

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
Gülzow

Trauboth, Katrin

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
Jena

Trautwein, Julia

Fachhochschule Bingen
Bingen

Turmes, Steve

CONVIS s.c.
Ettelbrück, Luxemburg

Verhoeven, Anne

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Münster

Verhülsdonk, Claudia

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Münster

Voit, Benno

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Saatgutuntersuchung/Saatgutforschung
Freising

Wagner, Sabine

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
Jena

Walgern, Bernhard

Agravis
Münster

Prof. Dr. Wätzig, Hermann

TU Braunschweig, Institut für medizinische und pharmazeutische Chemie
Braunschweig

Weber, Monica

Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik
Stuttgart

Dr. habil. Wecke, Christian

Georg-August-Universität Göttingen, Tierernährungsphysiologie
Göttingen

Weindl, Peter

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Freising

Weiser, Christian

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
Jena

Dr. Weiß, Kirsten

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät
Berlin

Dr. Wenzl, Wilfried

Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein
Irdning, Österreich

Westreicher-Kristen, Edwin

Universität Hohenheim, Institut für Tierernährung
Stuttgart

Wiese, Frank

Agrargenossenschaft „Altmärkische Höhe e. G.“
Lückstedt

Windhausen, Manuela

Verband der Deutschen Milchwirtschaft
Berlin

Winter, Laura

Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Institut für Tierernährung
Braunschweig

Wroblewitz, Stefanie

Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Institut für Tierernährung
Braunschweig

Dr. Wüstkamp, Dirk

SPECTRO Analytical Instruments
GmbH
Kleve

Prof. Dr. Youssef, Sarwat**Mokhtar**

Kafr-El-Sheikh University, Faculty of
Agriculture
Kafr-El Sheikh, Egypt

Prof. Dr. Zentek, Jürgen

Freie Universität Berlin
Berlin

Prof. Dr. Zhang, Weili

Chinese Academy of Agricultural
Sciences
Beijing, China

Zhao-jun, Y

Chinese Academy of Agricultural
Sciences
Beijing, China

Zimmer, Jörg

Landesamt für Ländliche Entwicklung,
Landwirtschaft und Flurneuordnung
Referat Ackerbau & Grünland
Stahnsdorf

Prof. Dr. Ziron, Martin

Fachhochschule Südwestfalen
Soest

Zopf, Dorit

Thüringer Landesanstalt für Landwirt-
schaft (TLL)
Jena

Dr. Zorn, Wilfried

Thüringer Landesanstalt für Landwirt-
schaft (TLL)
Jena

Zweifel, Beatrice

AGOLIN SA
Bière, Schweiz

t&p Triestram und Partner GmbH, Bochum

Mit mehr als 20jähriger Erfahrung haben wir unser Labor-Informations- und Managementsystem **lisa.lims** sehr erfolgreich am Markt etabliert und in enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden ständig weiter entwickelt. Die aktuelle Version **lisa.lims 10** zeichnet sich besonders durch ihre Benutzerfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit aus. Der modulare Aufbau ermöglicht die Anpassung an branchenspezifische Anforderungen.

Wir finden für jedes Labor die passende Lösung, denn die Zufriedenheit und qualifizierte Betreuung unserer Kunden steht für uns im Mittelpunkt. Namhafte Referenzkunden bestätigen uns in dieser Philosophie mit einer erfolgreichen, in vielen Fällen langjährigen Zusammenarbeit, wie zum Beispiel AGES in Österreich, ART in der Schweiz, LALLF, LUFA Rostock, RKW Süd, oder UFAAG in der Schweiz.



www.t-p.com

Thermo Fisher Scientific Inc.

Thermo Fisher Scientific Inc. (NYSE: TMO) ist der weltweit führende Partner der Wissenschaft. Unsere Mission ist es, unsere Kunden in die Lage zu versetzen, die Welt gesünder, sauberer und sicherer zu machen. Mit einem Jahresumsatz von ca. 12 Mrd. \$ und etwa 39.000 Beschäftigten beliefern wir Kunden mit Produkten, die in der Pharma- und Biotech-Industrie, in Krankenhäusern, Labors für klinische Diagnostik, Hochschulen und Forschungslabors, in Behörden, der Umweltanalytik und bei der Steuerung von industriellen Prozessen zum Einsatz kommen. Mit unseren drei Hauptmarken Thermo Scientific, Fisher Scientific und Unity Lab Services bieten wir einen weit reichenden Nutzen, der sich auf fortwährender technologischer Entwicklung zu günstigen Konditionen begründet und bieten einen einmaligen Service sowie Lösungen für das Labormanagement. Unsere Produkte und Dienstleistungen unterstützen den schnellen wissenschaftlichen Fortschritt und meistern analytische Herausforderungen - von komplexer Forschung über Routine-tests bis hin zu spezifischen Anwendungsgebieten.

Thermo
SCIENTIFIC

Besuchen Sie www.thermofisher.com



LABORTECHNIK

Mikrowellenaufschluss
einfache Handhabung
bei Routine- und
schwierigsten Proben

B^o BERGHOF

Berghof Products + Instruments GmbH
Harretstrasse 1
72800 Eningen
www.berghof.com



Das weltweit tätige Life-Science-Unternehmen R-Biopharm AG zählt zu den führenden Anbietern zuverlässiger Testsysteme zur Futter- und Lebensmittelanalytik sowie zur Klinischen Diagnostik. Seit 1988 entwickelt und produziert R-Biopharm innovative Produkte, die sich durch Qualität, Zuverlässigkeit und Effizienz auszeichnen. Die Testsysteme nutzen hierzu unterschiedliche Technologieplattformen wie Lateral-Flow-Tests, ELISA, real-time PCR und Multiplex-Testsystemen

Für die Lebens- und Futtermittelanalytik bietet das Portfolio Tests zum Nachweis von Mykotoxinen, Rückständen wie Antibiotika, Anabolika & Hormonen, Inhaltsstoffen, Lebensmittelallergenen, GVO und mikrobiologischen Kontaminationen in Nahrungsmitteln. Zu den wichtigsten Produkten zählen RIDA®QUICK DON, RIDASCREEN® Chloramphenicol und RIDASCREEN® Gliadin.

In der klinischen Diagnostik ist R-Biopharm führend in der infektiologischen Stuhldiagnostik. Testsysteme für die Bereiche serologische Infektions-, Allergie- und Molekulardiagnostik sowie Gastroenterologie

r-biopharm 
www.r-biopharm.com

SPECTRO ist einer der weltweit führenden Anbieter von Analysegeräten auf dem Gebiet der Optischen Emissions- und Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie. Als Unternehmensbereich der AMETEK Materials Analysis Division produziert SPECTRO zukunftsweisende Geräte, entwickelt für die verschiedenartigsten Aufgabenstellungen die besten Lösungen und stellt eine beispielhafte Kundenbetreuung sicher. SPECTRO Produkte sind beispielhaft für ihre einzigartige technische Leistungsfähigkeit, die messbaren Nutzen für den Kunden bedeutet. Von der Gründung 1979 bis heute wurden weltweit bereits mehr als 30.000 Analysegeräte an Kunden geliefert.

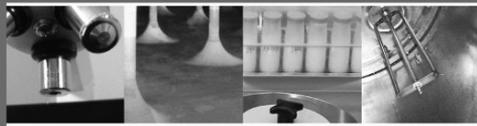
AMETEK, Inc. ist ein weltweit führender Hersteller von elektronischen Instrumenten und Elektromotoren mit einem Jahresumsatz von rund 3,5 Milliarden USD. AMETEKs Wachstumsplan fußt auf vier Schlüsselstrategien: operative Exzellenz, strategische Akquisitionen und Allianzen, geografische und Markt-Expansion sowie neue Produkte.

Die Stammaktien von AMETEK sind Teil des S&P MidCap 400 Index und des Russell 1000 Index.



AMETEK[®]
MATERIALS ANALYSIS DIVISION

PRAGMATIS.
LÖSUNGEN AUF DEN PUNKT.



Pragmatis ist Experte für Datenbankanwendungen in Labor und Technik. Wir verfügen über 30 Jahre Erfahrung in der Verwaltung und Verarbeitung von Messdaten (LIMS, LIS, CAQ, AQS, ELN).

Pragmatis LIMS für Desktop, Tablet und Smartphone

Pragmatisch und modern - unsere Lösungen sind immer auf der Höhe der Zeit, und mit ihnen unsere Kunden, von denen wir die meisten seit vielen Jahren begleiten.

Informieren Sie sich über moderne Datenverarbeitung in Labor und Technik. Nehmen Sie Kontakt mit uns auf - wir freuen uns auf Sie!

www.pragmatis.de sales@pragmatis.de

Telefon ++49.8165.999210 Fax ++49.8165.999218

