

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher
Untersuchungs- und Forschungsanstalten



KONGRESSBAND 2011 SPEYER

Vorträge zum Generalthema:
Spezialisierte Landwirtschaft –
Risiko oder Chance?

und weitere Beiträge aus den öffentlichen Sitzungen
und Workshops des 123. VDLUFA-Kongresses
vom 13. - 16. September 2011 in Speyer

Der Kongress wurde in Zusammenarbeit mit der
Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer
durchgeführt



Verband Deutscher Landwirtschaftlicher
Untersuchungs- und Forschungsanstalten



KONGRESSBAND 2011 SPEYER

Vorträge zum Generalthema:
Spezialisierte Landwirtschaft –
Risiko oder Chance?

und weitere Beiträge aus den öffentlichen Sitzungen und
Workshops des 123. VDLUFA-Kongresses
vom 13. - 16. September 2011 in Speyer

VDLUFA-Schriftenreihe Band 67/2011
VDLUFA-Verlag, Darmstadt
ISBN 978-3-941273-12-2

Gefördert durch:



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

© 2011 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

Verlag:

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

Redaktionskomitee:

Dr. H.G. Brod, Prof. Dr. M. Kruse, Prof. Dr. H. Schenkel, Prof. Dr. T. Ebertseder,
Prof. Dr. F. Wiesler

Endredaktion und herstellerische Betreuung:

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

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 beim Autor.

Druck: REISIG Druck & Service, Mittelweg 5, 92237 Sulzbach-Rosenberg

Inhalt

Grußworte

Eröffnung und Begrüßung F. Wiesler	15
Grusswort des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz F. Cramer	19
Grußwort des Staatssekretärs im Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten T. Griese	24
Grusswort des Präsidenten der Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen G. Bedlan	32

Plenartagung

Spezialisierte Landwirtschaft – Chancen oder Risiken für Biodiversität und Naturhaushalt? B. Jessel	33
Spezialisierte Landwirtschaft – Risiken und Chancen für die Pflanzenproduktion H. Kage	45
Spezialisierte Landwirtschaft – Risiko oder Chance für die Tierproduktion T. Jungbluth	51
Spezialisierte Landwirtschaft – Risiken und Chancen aus Sicht der Ökonomie K. Hoff	59

Workshop

Spezialisierung oder Diversifizierung – Markt und Unternehmensentwicklung in einer Intensivregion A. Hortmann-Scholten	66
Gestaltung von Agrarlandschaften in der Schweiz F. Herzog	74

Züchterische Optimierung von Energiemais – Chance oder Risiko? P. Westermeier	82
Agrobiodiversität und Pflanzenzüchtung – zwei Seiten einer Medaille R. von Broock	90
Freilandgemüsebau – ein Beispiel für Chancen und Risiken einer hochspezialisierten Pflanzenproduktion M. Armbruster, N. Laun, F. Wiesler	95
Spezialisierung und vertikale Integration in der Tierproduktion – Chance oder Risiko? H. Bronsema, L. Theuvsen	106
Herausforderungen an die Tiergesundheit in der spezialisierten Tierhaltung G. Wittkowski	114
Erfolgreiche Milch- und Fleischerzeugung unter Nutzung der Beratung H. Spiekers, H. Lindermayer, M. Pries	120
Europäische und deutsche Regelungen zur Luftreinhaltung und deren Bedeutung für die Nutztierhaltung E. Grimm	131

Pflanzliche Produktion

Pflanzenernährung

Sollten unterschiedlich entwickelte Wintergetreidebestände im Frühjahr differenziert mit Stickstoff angedüngt werden? L. Boese	139
Nährstoffverteilung im Boden nach langjähriger pflugloser Bodenbearbeitung und ihre Konsequenzen für die P-Düngung W. Zorn, S. Wagner, M. Heubach, H. Schröter	146
Ergebnisse aus P-Düngungsversuchen der BASF SE für die gemeinsame Auswertung zur Überarbeitung des P-VDLUFA-Standpunktes G. Pasda, W. Zerulla, S. Willkommen	154
BASF-Phosphatschätzrahmen zur Bemessung der mineralischen P-Düngung W. Zerulla, G. Pasda, M. Lex	162
N- und P-Bilanzen der Landwirtschaft in Rheinland-Pfalz F. Fritsch	171
Das Malat-Sulfat-Verhältnis als Indikator des Schwefelbedarfs von Raps: Erfahrungen aus einem dreijährigen Feldversuch H. Pralle, H.-W. Olf	180

Erstellung von pH-Wert Schlagkarten basierend auf online-erfassten Boden-pH-Werten als Grundlage teilflächenspezifischer Kalkapplikation A. Borchert, H. Pralle, D. Trautz, H.-W. Olfs	187
Bor-Verfügbarkeit für die Zuckerrübe in Abhängigkeit von der Bor-Düngung, der Kalkung und dem Carbonatgehalt der Böden T. Appel, J. Seelig, D. Horn	195
Untersuchungen zum Bor-Ernährungszustand von Getreide in Thüringen W. Zorn, H. Schröter, S. Wagner	202
Wer kann was? - Aktive und passive Spektrensensoren im Pflanzenbau und ihre Unterschiede in der Differenzierung von Biomasseparametern bei Weizen K. Erdle, B. Mistele, U. Schmidhalter	210
Möglichkeiten zur Minderung der N ₂ O-Freisetzung aus einem gemüsebaulich genutzten Boden R. Ruser, H. Pfab, I. Palmer, F. Buegger, R. Schulz, S. Fiedler, T. Müller	219
Boden-Pflanze Transfer von anorganischen und organischen Schadstoffen nach lang-jähriger Klärschlamm Düngung H. Pang, M. Armbruster, D. Martens, K. Wies, F. Wiesler	227
Rückgewinnung und Nutzbarmachung von Phosphor aus Klärschlämmen A.K. Brock, S. Ruppel	236
19 Jahre Bodendauerbeobachtung in Thüringen – Gefügeuntersuchungen R. Paul	241
Langzeitbetrachtung der N _{min} -Gehalte von Thüringer Dauertestflächen nach der Hauptfruchternte – N-Salden und Bedeutung für die N-Düngung nachfolgender Winterungen V. König, E. Höpfner, S. Wagner	249
Entwicklung der Nährstoffversorgung von landwirtschaftlich genutzten Böden Baden-Württembergs in den letzten 16 Jahren H. Hartwig, W. Übelhör	257
Mit welcher Methode der N-Bilanzierung können Auswirkungen einer Spezialisierung von landwirtschaftlichen Betriebssystemen am besten gezeigt werden? H. Sommer, A. Schmid-Eisert, K. Franz, G. Leithold	261
Anbau der Sojabohne in klimatischen Grenzlagen und die Nutzung von Sojabohnenschrot als vegetables Düngemittel im ökologischen Gemüsebau Th. Makary, R. Schulz, H. Bucher, T. Müller	266
Lysimeteruntersuchungen zum Einfluss von Leguminosen in Fruchtfolgen auf den N-Austrag C. Strauß, J. Bischoff, M. Schrödter, J. Seeger, R. Meißner	274

Welketracht und Nährstoffmangel von Mais bei ausreichender Wasser- und Nährstoffversorgung F. Herbst, B. Apelt, W. Gans	279
Methodenvergleich: Bestimmung von pflanzenverfügbarem Bor im Boden T. Appel, K. Schuh, D. Horn	286
Modelle zur Bewertung von Stoffgehalten im Boden auf Basis der fraktionierten Analyse I. Diethart, H. Unterfrauner, W. Wenzl, R. Peticzka	294
Güllemonitoring mit nasschemischen, spektroskopischen und elektroanalytischen Methoden W. Wenzl, B. Steiner, L. Haberl, W. Somitsch, A. Gilhofer	300

Lysimeter

Langzeituntersuchungen zur N-Auswaschung aus landwirtschaftlich genutzten Böden im Thüringer Becken unter der Bedingung empfehlungskonformer und praxisüblicher Bewirtschaftung S. Knoblauch	306
Langjährige Lysimeteruntersuchungen zum N-Austrag mit dem Sickerwasser unter einem lehmigen Sand C. Strauß, M. Schrödter, J. Seeger, R. Meißner	315
Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf die N-Auswaschung (Ergebnisse der Lysimeterstation Brandis) U. Haferkorn	323
Bewirtschaftungsmodelle im Vergleich Ergebnisse aus 15 Versuchsjahren in der Lysimeteranlage Kassel – Teilaspekte: Produktivität, Wasser- und Stickstoffhaushalt J. Heyn	331
Wirkung einer langjährig differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf Ertrag, Humusgehalt, N-Bilanz, N_{\min} -Vorrat und N-Einwaschung in Unterflurlysimeter E. Albert	340
Untersuchungen zum Einfluss des N-Düngeverfahrens auf die Wassernutzungseffizienz von Wintergetreide M. Kücke, C. zu Eulenburg, J. M. Greef	353

Humus / Nährstoffwirkung von Gärresten

Modellierung der Humusreproduktion mit dem Modell CCB E. Thiel, U. Franko, H. Kolbe	362
Neue Ergebnisse zur Düngewirkung von Gärresten aus der Biogaserzeugung H. Schröter, W. Zorn	370

Kurz- und längerfristige Stickstoffwirkung nicht separierter und separierter Biogasgärreste zu Weidelgras nach einmaliger und wiederholter Düngung S. von Tucher, S. Fouda, F. Lichti, U. Schmidhalter	379
Bedeutung des pflanzenbedingten Eintrages von organischem Kohlenstoff in den Boden für die Humusbilanzierung C. Engels	387

Produktionssysteme

Spezialisierung in der Ökologischen Milchproduktion H. Sommer, A. Schmid-Eisert, K. Franz, G. Leithold	397
Kriterienkatalog Nutzungsänderung von Grünlandstandorten in Niedersachsen K. Severin, J. Boess, J. Fortmann, U. Müller, W. Schäfer	402
Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen zur Biomasseerzeugung – Wassereffizienz und Berechnungswürdigkeit S. Kruse	409
Potenziale der Nahinfrarotspektroskopie für die Online-Prozessüberwachung landwirtschaftlicher Biogasanlagen L.C. Krapf, A. Gronauer, U. Schmidhalter, H. Heuwinkel	416

Saatgut

Der Handel mit Wildpflanzensaatgut auf Basis der EU-Richtlinie B. Voit, B. Killermann	424
Bestimmung der optimalen Keimtemperaturen von Akelei (<i>Aquilegia vulgaris</i> L.) und Schlüsselblume (<i>Primula veris</i> L.) mittels eines Gradiententisches S. Kersten, M. Kruse, S. Bopper	429
Sauerstoffverbrauch keimender und dormanter Salatsamen S. Bopper, M. Kruse	437
Sind die zulässigen Keimfähigkeitsabweichungen für Getreideanbauer relevant? W. Jackisch, L. Boese, B. Krellig	445
Unterscheidung von zwei- und mehrzeiliger Gerste mittels Pyrosequenzierung von Punktmutationen B. Killermann, M. Diethelm, A. Jestadt, G. Schweizer, B. Voit	454
Mehrjährige Ergebnisse zur Strategie gegen Zwergsteinbrand (<i>Tilletia controversa</i>) und Steinbrand (<i>Tilletia caries</i>) im Ökologischen Getreidebau M. Dressler, B. Voit, P. Büttner, B. Killermann	460

Pflanzenschutzmittelrückstände in Bio-Saatgut T. G. Nagel	468
---------------------------------------------------------------------------	-----

Tierische Produktion und Futtermittel

Anwendung neuer Prognosebereiche zur Beurteilung von Blutanalysen bei der Milchkuh M. Steyer, T. Ettle, H. Spiekers	473
Entwicklung eines Strukturindexes aus der physikalisch effektiven NDF K. Rutzmoser, T. Ettle	481
Einfluss von Menge und Abbaurate des Kraftfutters auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkuhen bei unterschiedlichem Wachstumsstadium des Wiesenfutters L. Gruber, A. Schauer, J. Häusler, S. Kirchhof, M. Urdl, A. Adelwöhrer, K.-H. Südekum	490
Einfluss eines exogenen NSP-spaltenden Enzyms auf Leistungsparameter hochleistender Milchkuhe J. J. Gross, F. J. Schwarz	510
Experimentelle Untersuchungen zum Einsatz unterschiedlichen Grundfutters (Heu bzw. Heu und Maissilage) in der Kälberaufzucht J. Ertl, J. J. Gross, V. Spreng, W. Windisch, F.J. Schwarz	518
Einfluss extrudierter Leinsaat auf Leistungsparameter bei Milchkuhen M. Pries, A. Menke, S. Beintmann, E. Tholen	525
Flüchtige Substanzen in Maissilagen in Abhängigkeit von Silierbedingungen und aerober Lagerungsdauer K. Weiß, K. Gerlach, K.-H. Südekum	534
Untersuchungen zur Veränderung der Proteinqualität während der Silierung von Grassilagen unter Berücksichtigung biogener Amine W. Richardt, R. Wein, O. Steinhöfel, M. Pries	541
Ergebnisse eines Monitorings zu Kobaltgehalten im Mischfutter K.-H. Grünewald, J. Danier, W. Lüpping, G. Steuer	550
Ermittlung von laktationsspezifischen Prognosebereichen zur Beurteilung der Konzentration von Blutparametern beprobter Milchkuhe C. Kronschnabl, H. Spiekers, W. Preißinger, M. Stangassinger, K. Mahlkow-Nerge, M. Pries, T. Jilg, B. Losand, F. Schwarz	558
Herzratenvariabilität bei Rindern: Methodik zur Messung von vegetativer Reaktionslage und Stress M. Frühwirth, J. Wohlers, D. Messerschmidt, T. Baars, W. Wenzl, M. Moser .	568
Erweiterung der WEENDER-Analyse mit dem CORNELL-System und NIRS W. Wenzl, B. Steiner, L. Haberl	574

Anwendung des Strukturindex bei einem Versuch mit Milchkühen K. Rutzmoser, H. Schuster	583
Luzernesilage im Austausch gegen Grassilage bei der Milchkuh T. Ettle, A. Obermaier, S. Weinfurter, H. Spiekers	588
Hohe Milchleistungen bei 100 Prozent Biofuttermitteln? H. Sommer, A. Schmid-Eisert, K. Franz, G. Leithold	595
Evaluierung des DLG-Schlüssels 2006 für Silagen mit heterofermentativer Milchsäuregärung (<i>Lactobacillus buchneri</i> -Typ) K. Weiß, R. Krause	601
Einfluss einer Kombination von Milchsäure-bakterien auf den Umfang der Proteolyse in Grassilagen unterschiedlichen Ausgangsmaterials E. Kramer, P. Leber, C. Kalzendorf	608
Zur Wirkung von Leinsamen auf Fruchtbarkeit und Leistung von Milchkühen F. Weller, S. Dunkel, K. Trauboth, K. Gödeke, M. Strube	613
Einsatz von vollfetten thermisch behandelten Sojabohnen in der Ferkelaufzucht W. Wetscherek, Ch. Mair, K. Schedle	624
Untersuchungen zum Einfluss einer gestaffelten Supplementierung von Vitamin B12 und Kobalt zum Mastfutter auf das Wachstum von Broilern und Mastenten I. Halle	632

Workshop Analytik

ANKOM Technologie – Innovative Technik für die energetische Bewertung von Biomasse und Futtermitteln B. Stadler, N. Engler	636
Schnelles Pestizid-Screening im komplexen Matrixproben mittels High ResolutionTOF-MS J. Wendt	642
Entwicklung und Validierung einer Analysenmethode zur quantitativen Bestimmung von As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, U, V und Zn in Misch- und Mineralfutter sowie Düngemitteln mittels ICP-MS M. Leiterer, J. Bilz, H.-J. Detlefsen, R. Klose, H. Meister	648
Bestimmung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen (PSM) in Behandlungsflüssigkeiten A. Trenkle	669
Fettbestimmung nach Weibull-Stoldt: Automatisierung der Hydrolyse mittels Hydrotherm U. Fettweis	677

Probenaufarbeitung in der organischen Analytik mit automatisierten Systemen A. Trenkle	681
Workflowoptimierung (nicht nur) im Futtermittellabor J. Flekna	691
Methodenvalidierung nach EU-Entscheidung 2002/657/EG am Beispiel der Bestimmung von Nitroimidazolrückständen in Futtermitteln J. Polzer, C. Stachel, P. Gowik	695
Anwendung des DR [®] -Calux Bioassays zum Nachweis von Dioxinen und dioxinähnlichen Verbindungen J. Winkler	705
Die Ringversuchsdatenbank der Fachgruppe Bodenuntersuchung H. Hartwig, W. Übelhör	711
Weitergehende Auswertungsmöglichkeiten von Ringversuchen S. Grimm, W. Übelhör	717
Bestimmung ausgewählter Nährstoffe mit der Fließinjektionsanalytik A. Schöne	724
Ringversuch zur Gülleanalyse nach der nasschemischen Methode und dem NIRS- NANOBAG-Verfahren B. Überbacher, P. Tillmann, W. Somitsch, W. Wenzl, B. Steiner, L. Haberl	732
Autorenindex	739
Adressliste der Autoren	743

Eröffnung und Begrüßung

F. Wiesler

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

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich möchte Sie ganz herzlich auf dem 123. Kongress des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten in Speyer begrüßen.

Der jährlich wiederkehrende Kongress blickt tatsächlich auf eine 123-jährige Geschichte zurück. Er hat nach Gründung des Landes auch mehrmals in Rheinland-Pfalz stattgefunden, zuletzt 1996 in Trier. Um die Pfalz hat er aber immer einen großen Bogen gemacht, mit einer Ausnahme: der zweite Kongress überhaupt fand im Jahre 1889 in Speyer statt.

Schon damals haben neben den Naturwissenschaften die Finanzen die Gemüter bewegt. Ein Schwerpunkt des Kongresses war das Bemühen nicht nur um einheitliche Untersuchungsmethoden, sondern auch um einheitliche Honorartarife unter den Anstalten für durchgeführte Analysen.

Wir freuen uns jedenfalls, dass der Kongress nach 122 Jahren wieder nach Speyer gekommen ist. Mit uns freuen sich zahlreiche Ehrengäste. Unter diesen begrüße ich ganz herzlich:

- das Mitglied des Deutschen Bundestags und Präsidenten der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz, Herrn Ökonomierat Norbert Schindler,
- die Mitglieder des rheinland-pfälzischen Landtags Frau Friederike Ebli und Frau Ruth Ratter,
- den Vorsitzenden des Bezirkstags Pfalz, Herrn Oberbürgermeister Theo Wieder sowie die Abgeordnete und stellvertretende Fraktionsvorsitzende im Bezirkstag Pfalz, Frau Hildrun Siegrist.

Als Vertreter des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz begrüße ich

- Herrn Ministerialrat Friedel Cramer

und als Vertreter des rheinland-pfälzischen Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten

- Herrn Staatssekretär Dr. Thomas Griese.

Mit Herrn Dr. Griese begrüße ich auch ganz herzlich alle Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen seines Ministeriums sowie dessen nachgelagerten Behörden im Land.

Mit den weitesten Weg hierher hatte der Präsident unserer österreichischen Schwesterorganisation ALVA,

- Herr Privatdozent Dr. Bedlan aus Wien,
den ich ebenfalls ganz herzlich willkommen heiße.

Auf dem diesjährigen Kongress wollen wir uns dem Generalthema

„Spezialisierte Landwirtschaft – Risiko oder Chance?“

widmen.

Die Gunst oder Ungunst eines Standorts hat schon immer zu einer Spezialisierung in der Landwirtschaft geführt. Deren Grad hat in den letzten Jahrzehnten jedoch extrem zugenommen, zuerst durch die Entkopplung von Pflanzen- und Tierproduktion, dann durch die Beschränkung auf immer weniger Nutztier- oder Nutzpflanzenarten im Einzelbetrieb. Dies führt regional zu ausgeprägten Produktionsschwerpunkten, so einer sehr intensiven Gemüseproduktion rund um Speyer oder weiter südlich, im Elsaß und in Baden, einer hochspezialisierten Körnermaisproduktion häufig in Monokultur – nur um zwei Beispiele aus der Region zu nennen. Die mit der Spezialisierung verbundenen ökonomischen Vorteile und Risiken, aber auch das entstehende Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie in einer Landwirtschaft mit multifunktionalem Anspruch sind Gegenstand der anschließenden Plenartagung.

Dazu begrüße ich als Referenten

- Frau Professor Beate Jessel, Präsidentin des Bundesamtes für Naturschutz,
- Herrn Professor Henning Kage von der Christian-Albrechts-Universität Kiel,
- Herrn Professor Thomas Jungbluth von der Universität Hohenheim und
- Herrn Professor Klaus Hoff von der Fachhochschule Bingen.

Da Frau Professor Jessel früher gehen muss, wird auf der abschließenden Podiumsdiskussion

- Herr Ludwig Simon vom Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht in Mainz

die Anliegen der Biodiversität vertreten, wofür ich mich schon jetzt sehr bedanke.

Ebenso wie die Referenten des heutigen Nachmittags begrüße ich alle Referenten und Referentinnen, die mit ihren Beiträgen auf dem morgigen Workshop sowie in den öffentlichen Sitzungen und Posterpräsentationen zum Erfolg dieses Kongresses beitragen werden.

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

Die Durchführung des VDLUFA-Kongresses wäre undenkbar ohne Unterstützung vor Ort. Dass der Kongress überhaupt in einer vergleichsweise kleinen Stadt wie Speyer stattfinden kann, verdanken wir der Bereitstellung von Tagungsräumen hier an der Deutschen Hochschule für Verwaltungswissenschaften. Bei meinen Kollegen und Mitarbeitern an der LUFA, die die Durchführung des Kongresses in Speyer als Chance gesehen haben, unsere Stadt und unsere Region einem großen Publikum vorzustellen, bedanke ich mich ebenfalls ganz herzlich für Ihr Engagement.

In diesem Zusammenhang möchte ich auch auf die Exkursion am Freitag hinweisen, die uns einen umfassenden Einblick in die Landschaft und die Landnutzung in der Pfalz geben wird. Wir werden einen großen Gemüsebaubetrieb besichtigen, einen tiefen Blick in den Pfälzer Wald werfen und schließlich bei den Weinmachern am DLR Neustadt mit allen Sinnen etwas über eines der Spezialprodukte der Pfalz erfahren. Daneben werden wir im Museum Herxheim in die Geschichte der Region eingeführt.

Bedanken möchte ich mich auch bei den Firmen

- ANTEC GmbH
- Berghof Products + Instruments GmbH

- Elementar Analysensysteme GmbH
- Gerhardt GmbH & Co.KG
- Gesellschaft für Analystechnik HLS
- LCTech GmbH
- LECO Instrumente GmbH
- Pragmatis GmbH
- Spectro Analytical Instruments
- T&P Triestram & Partner GmbH
- Unity Scientific GmbH

Durch deren Unterstützung werden wir das Defizit des Kongresses in Grenzen halten können.

Herr **Ministerialrat Friedel Cramer** vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Herr **Staatssekretär Dr. Thomas Griese** vom Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten in Mainz, der Vorsitzende des Bezirkstag Pfalz, **Herr Theo Wieder**, und der Präsident der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz, **Herr Ökonomierat Norbert Schindler**, haben sich freundlicherweise bereit erklärt den Kongress mit einem Grußwort zu eröffnen.

Es freut mich besonders, dass abschließend Herr **Hofrat Dr. Bedlan, Präsident** unserer österreichische Schwesterorganisation ALVA, ein Grußwort an uns richten wird.

Grusswort des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

F. Cramer

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn

Sehr geehrter Herr Präsident Wiesler,
sehr geehrte Damen und Herren Parlamentsabgeordnete,
sehr geehrter Herr Staatssekretär Dr. Griese,
sehr geehrter Herr Bezirkstagspräsident Wieder,
sehr geehrter Herr Kammerpräsident Schindler,
liebe VDLUFA-Mitglieder,
meine sehr geehrten Damen und Herren!

für Ihre Einladung, zum 123. VDLUFA-Kongress danke ich herzlich.

Ich bin gern' nach Speyer gekommen – fühle ich mich der Pfalz doch auch heimatisch verbunden! Ich freue mich deshalb, das Grußwort des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz halten zu können. Frau Bundesministerin Ilse Aigner hat die Schirmherrschaft auch über Ihren diesjährigen Kongress gerne übernommen – sie hat mich gebeten, Ihnen 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. 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. Ursprünglich hatte mein Abteilungsleiter, Herr Ministerialdirektor Neumann, vor, selbst zu kommen – zu seinem Bedauern ist ihm dies wegen anderweitiger Verpflichtungen nicht möglich.

Das diesjährige Generalthema „Spezialisierte Landwirtschaft – Risiko oder Chance?“ lädt zu interessanten Diskussionen ein, für die Sie wieder hochkarä-

tige Referentinnen und Referenten gewinnen konnten. Ein gutes Grußwort ist hinreichend kurz – was nicht heißen muss, dass jedes kurze Grußwort ein Gutes ist Ich werde versuchen, mich Ihrem Kongressthema ein wenig zu nähern, ohne den Anspruch zu haben, all' das hier aufgreifen zu wollen, was Sie in den kommenden Tagen intensiv erörtern werden.

Die Frage „Spezialisierte Landwirtschaft – Risiko oder Chance?“ erfordert zunächst, den Rahmen abzustecken, womit man sich befassen möchte:

Klar ist, es geht um Landwirtschaft; Spezialisierung ist schon etwas schwieriger, zu fassen: je nachdem, ob Sie die Spezialisierung auf einzelbetrieblicher oder regionaler Ebene betrachten, werden Sie zu unterschiedlichen Ergebnissen gelangen. Eine besondere Herausforderung wird die Kombination beider Ebenen darstellen.

Hier in der Rheinpfalz lässt sich das gut veranschaulichen: Die Region hat sich aufgrund ihrer natürlichen und wirtschaftlichen Standortvorteile zu einen der führenden Gemüsebaugebiete Deutschlands entwickelt. Dies verschafft der Region und ihren Betrieben Vorteile auf den Beschaffungsmärkten und den Absatzmärkten - macht sie aber auch anfällig gegen unvorhergesehene Krisen, Stichwort „EHEC“.

Vorteile beim produktionstechnischen Know-how ermöglichen Wettbewerbsvorteile, die damit verbundene hohe Produktionsintensität kann aber auch Nachteile für Umwelt und Landschaft nach sich ziehen. Der Einzelbetrieb steht vor der Frage, sich ebenfalls zu spezialisieren, das heißt sein Erzeugungsprogramm zu begrenzen. Falls er das möchte, hat er zu entscheiden, ob er der regionalen Spezialisierung folgt oder sich gegenläufig verhält, beispielsweise um Synergien mit anderen Betrieben zu generieren. So ist es vorstellbar, dass ein Marktfruchtbaubetrieb mit einem Gemüsebaubetrieb kooperiert, der aufgrund seiner Flächenausstattung auf Flächentausch angewiesen ist. Beide Partner können dabei individuell ihre Neigungen und Fähigkeiten und damit Chancen optimieren sowie Risiken mindern.

Betrachten wir das Begriffspaar Chance und Risiko: In unserer Gesellschaft hat es sich ja eingebürgert, die Reihenfolge umzukehren – auch Ihr Kongressthema, „Spezialisierte Landwirtschaft – Risiko oder Chance?“ verdeutlicht das. Ich meine, Spezialisierung in der Landwirtschaft ist eine Entwicklung, die beides in

sich birgt: Chance und Risiko. Bleiben wir hier in der Region: Die mit einem intensiven Gemüsebau zweifelsohne verbundenen Chancen sind gegen die ebenfalls möglichen Risiken abzuwägen.

Auch hier sind unterschiedliche Ebenen zu betrachten: Grob vereinfacht geht es im Kern um die ökonomische, ökologische und soziale Bewertung – kurz, es geht um die Frage der Nachhaltigkeit.

Zur ökonomischen Dimension: Kann ein Betrieb ein nachhaltiges Einkommen erwirtschaften und ist der mögliche Einkommenszuwachs aus der Spezialisierung ausreichend um Markt- oder Ernterisiken zu kompensieren? Schafft die regionale spezialisierte Wertschöpfungskette genügend Wohlstand zur Anpassung an künftige Erfordernisse oder zur Überwindung krisenhafter Ereignisse?

Zur ökologischen Dimension: Ist mit der Spezialisierung eine Optimierung der Produktionsprozesse auch im Hinblick auf eine Minimierung unerwünschter Auswirkungen verbunden (Beispiel N-Bilanzüberschüsse)?

Zur sozialen Dimension: Kommen die Vorteile der Spezialisierung nur sehr wenigen zu Gute – den Produzenten – oder haben viele etwas davon (Beispiel: Versorgung mit hochwertigem, frischem und preiswertem Gemüse und regionale Wertschöpfung)?

Der Blick in die Tagungsunterlagen zeigt, dass Sie sich in den Sitzungen und Workshops intensiv mit den relevanten Fragestellungen der jeweiligen Fachgruppen befassen werden. Ich bin gespannt auf die Ergebnisse Ihrer Arbeit – vieles davon wird in die Arbeit der Ministerien des Bundes und der Länder einfließen:

Düngemittel und Düngung, Bodenkultur und Biodiversität, Futtermittel und Fütterung, Saatgut, Analytik und Qualitätssicherung sind die Kernkompetenzen des VDLUFA, die auch für unsere Arbeit von besonderem Interesse sind.

Für die Politikberatung kommt es vor allem darauf an, auf seriöse und belastbare Risikobewertungen für Stoffe und Verfahren zugreifen zu können. Sie müssen Grundlage rechtstaatlichen und insbesondere ordnungsrechtlichen Handelns sein und spiegeln sich in Fachgesetzen und -verordnungen wider.

Allerdings spielen in der öffentlichen Diskussion nicht nur tatsächliche Risiken eine Rolle sondern, wie eine Fachtagung zum 5-jährigen Bestehen des Bundesinstituts für Risikobewertung zeigte; auch „gefühlte Risiken“. Auch diese führen in unserer stark medial bestimmten Welt oft zu staatlichem Handeln bis hin zu Änderungen des Ordnungsrechts. Ich nenne nur das Stichwort Dioxin und den damit verbundenen Aktionsplan mit den noch laufenden Änderungen des Lebens- und Futtermittelrechts.

Das Düngegesetz wurde dagegen bislang in der Regel im ruhigeren Fahrwasser fachlicher Diskussionen behandelt. Dieses Gesetz hat ebenfalls den Zweck, Gefahren für die Gesundheit von Menschen und Tieren sowie für den Naturhaushalt vorzubeugen oder abzuwenden (...). Diese Zwecke bestimmen die notwendige Risikobewertung; dabei ist vor allem im Hinblick auf gesundheitliche Risiken ein besonders strenger Maßstab anzulegen und das Vorsorgeprinzip anzuwenden. Im Hinblick auf vertretbare Umweltrisiken werden hingegen schon häufiger kontroverse Diskussionen geführt. Dabei ist die „Gefechtslage“ nicht immer übersichtlich. So ist steht beispielsweise das Ziel, möglichst viele Abfallstoffe als Düngemittel zu verwerten, gelegentlich im Konflikt mit dem Wunsch, den Eintrag von Schadstoffen in Böden zu minimieren. Den meisten von Ihnen sind die damit verbundenen Diskussionen bestens vertraut. Aktuell stehen alleine in meinem Arbeitsbereich folgende Diskussionen an, bei denen der VDLUFA seine Expertise einbringt:

- Laufende Verbändebeteiligung zur Düngemittelverordnung, (umfangreich, da Neuerlass auf Grundlage des Düngegesetzes sinnvoll ist),
- Einheitliches Schadstoffmodell für Düngemittel - Tagung am 6. Oktober hier in Speyer,
- Evaluierung der Düngeverordnung und Vorschläge zur Weiterentwicklung,
- Bewertung der düngerechtlichen Anforderungen zur Seuchenhygiene.

Meine Damen und Herren,
sinnvolles wirtschaftliches Handeln vollzieht sich in einem rechtlichen Rahmen, der ökologischen, ökonomische und soziale Belange zu berücksichtigen hat. Wir möchten, dass bei uns Landwirtschaft betrieben werden kann, die den Betrieben eine Existenzgrundlage bietet und die natürlichen Ressourcen schont.

Der VDLUFA verfügt mit seinen Fachgruppen über hochrangige, hochmotivierte Expertengremien, deren Rat für die Gestaltung des genannten Rahmens sehr hilfreich ist. Sie decken damit wichtige Fragestellungen u. a. aus den Bereichen

Boden, Düngung und Saatgut sowie der Tierernährung, der Produktqualität und der Umweltanalytik ab.

Nicht ganz uneigennützig wünsche ich Ihnen, sehr geehrter Herr Präsident, meine Damen und Herren, einen erfolgreichen Kongress mit viele fruchtbaren Diskussionen.

Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit.

Grußwort des Staatssekretärs im Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten

T. Griese

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten, Rheinland-Pfalz, Mainz

Sehr geehrte Damen und Herren,

Ich freue mich, dass nach 15 Jahren seit Trier der VDLUFA-Kongress wieder in Rheinland-Pfalz stattfindet.

Und wieder haben Sie passend zu Ihrem Thema eine Stadt und eine Region gewählt, die dieses in hervorragender Weise widerspiegelt. Wo anders als hier in der Vorderpfalz kann man das Thema spezialisierte Landwirtschaft mit all seinen Vorteilen, aber auch allen Herausforderungen so anschaulich präsentieren wie hier.

Wie ich dem Programm entnehmen konnte, werden Sie sich diesem Thema ja nicht nur hier in den Hörsälen in der Theorie, sondern am Freitag auch in der praktischen Anschauung widmen.

Landwirtschaft, in Rheinland-Pfalz mit einem Flächenanteil von 42 %, prägt - wie auch immer sie gestaltet ist - die ländlichen Räume. Daneben ist sie aber auch ein sozialer, kultureller und wirtschaftlicher Faktor. Und alle Bereiche sind administrativ eng miteinander verwoben. Politik für Landwirtschaft muss deshalb alle diese Bereiche auch berücksichtigen und sich der engen Verknüpfung bewusst sein.

Gestatten Sie mir deshalb, dass ich in den nachfolgenden Betrachtungen nicht nur die Spezialisierung für die Landwirtschaft selbst, sondern auch ihre Auswirkungen auf Natur- und Landschaft sowie Kultur und Wirtschaft streife.

1. Entwicklung der Landwirtschaft in den letzten 100 Jahren

Die Landwirtschaft des 20. und 21. Jahrhunderts ist durch einen gewaltigen technischen Fortschritt gekennzeichnet, der gleichermaßen die Produktivität des Bodens und die Produktivität der Arbeit steigerte. In der Folge nahm der Anteil des Agrarsektors an den Erwerbstätigen dramatisch ab. Parallel dazu führten die Fortschritte zu einer Vervielfachung der Ertragsleistungen.

Damit wuchs das Produktangebot der Landwirtschaft rasch an, während die Nachfrage nach Lebensmitteln nur geringfügig zunahm. Dieses Auseinanderdriften von Angebot und Nachfrage führte zu einem Verfall der Preise, wodurch die Landwirtschaft gezwungen war und ist, den aus dem technischen Fortschritt resultierenden wirtschaftlichen Nutzen nahezu vollständig an die Verarbeiter und Verbraucher weiterzureichen.

Wie der Anteil der Ausgaben für Nahrungsmittel am privaten Verbrauch kontinuierlich abnahm, so sank auch der Anteil der Landwirtschaft an der Bruttowertschöpfung beständig. Ironischerweise führten also gerade die enormen technischen Neuerungen in der Landwirtschaft zu deren „ökonomischem Dauerproblem“ und zu einem Rückgang ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung.

2. Situation der Landwirtschaft heute

Kennzeichnend für die heutige Situation der Landwirtschaft in Deutschland, aber auch in Rheinland-Pfalz ist, dass derzeit sie – anders als früher – nicht mehr der alleinige, sondern einer von mehreren Wirtschaftsfaktoren im ländlichen Raum ist.

Dies bedeutet allerdings nicht, dass wir sie vernachlässigen dürfen. Unsere Landwirtschaft hat große Bedeutung für die Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen, für den Erhalt der Sozialstruktur und des Kulturerbes ländlicher Räume sowie für die Gestaltung der Kulturlandschaft als Siedlungs-, Wirtschafts- und Erholungsraum. Zudem steht die Landwirtschaft in engem Zusammenhang mit vor- und nachgelagerten Wirtschaftsbereichen, etwa der Agrarindustrie, dem Ernährungshandwerk, der Ernährungsindustrie, dem Groß- und Einzelhandel und dem Gastgewerbe.

3. Entwicklungen und Trends lassen einen sehr prägnanten Strukturwandel erkennen

Ich möchte sie hier nicht mit Zahlen langweilen, jedoch kann ich Ihnen einen kleinen Vergleich mit der Situation der Landwirtschaft in Rheinland-Pfalz vor ca. einem halben Jahrhundert nicht ersparen.

- 1960 wirtschafteten hier 180 000 Betriebe, heute haben wir noch ca. 20 000, also rund. 1/9.
- Alleine in der Viehhaltung hatten wir damals 112 000 Betriebe mit ca. 730 000 Rindern. Die Zahl der Rinder hat sich heute zwar nahezu halbiert, diese werden jedoch von nur noch 5 000 Betrieben gehalten, also 1/20 der Betriebe!
- Betrachtet man den Weinbau, so haben vor 50 Jahren auf ca. 47 000 ha bestockter Rebfläche knapp 42 000 Betriebe ihr Einkommen erwirtschaftet. Die Rebfläche heute beläuft sich auf ca. 64 000 ha bewirtschaftet von rund 10 000 Betrieben.
- Noch eklatanter lässt sich diese Entwicklung am Beispiel des Gemüses aufzeigen. Die Betriebszahlen vor 50 Jahren lassen sich leider nicht ermitteln, jedoch wurden Produkte von ungefähr 5 000 ha in Rheinland-Pfalz vermarktet. Vor 25 Jahren hatten wir die erstmals verlässlichen Zahlen, rund 2 500 Betriebe bewirtschafteten ungefähr 8 000 ha mit Gemüse. Heute registriert die Statistik 550 Gemüsebaubetriebe mit einer Anbaufläche von ca. 18 000 ha.

Zwei wesentliche Tendenzen lassen sich aus diesen Entwicklungen herauslesen. Zum einen bewirtschaften immer weniger Betriebe immer mehr Fläche und die Breite der Produktpalette in den Betrieben wird immer geringer. Selbst innerhalb eines Betriebes findet man heute häufig schon eine Trennung der Bewirtschaftung.

So ist es keine Seltenheit mehr, dass z. B. Milchvieherzeuger sich ausschließlich um die Produktion der Milch im Stall kümmern und die Futtererzeugung über Lohnunternehmer oder sogar von einem anderen Betrieb durchführen lassen.

Im Weinbau kennt man eine vergleichbare Trennung zwischen Außenwirtschaft im Wingert und der Weinbereitung im Keller, die zwar nicht zwingend von verschiedenen Betrieben durchgeführt werden muss, jedoch häufig unterschiedlichen Spezialisten anheim gegeben wird.

Ein weiteres Beispiel aus dem Bereich des ökologischen Landbaus will ich Ihnen geben, das ich heute morgen anlässlich einer Betriebsbesichtigung in Kerzenheim vorgestellt bekam: Der Betrieb vermarktet seine gesamte Milchproduktion von über 100 000 kg jährlich direkt, insbesondere über die Direktvermarktung der selbst hergestellten Käsespezialitäten. Das ist hochqualifizierte und anspruchsvolle Spezialistenarbeit.

Fragt man nach den Gründen dieser Entwicklung, so stellt man fest, dass neben den vielfältigen ökonomischen Aspekten in der Regel auch eine Konzentration von Kompetenz und verfügbarer Arbeitskapazität die Ursache sind. Rheinland-Pfalz hat einen Anteil von mittlerweile fast 60 % an Nebenerwerbsbetrieben. Insbesondere hier spielt neben einer Kostenminimierung häufig auch die verfügbare Arbeitszeit und immer stärker auch die Qualifizierung aber auch die Anforderungen in den Randbereichen wie Agrarförderung, Regelungen im Bereich des Umweltrechts, des Natur- und Landschaftsschutzes und vielen anderen Sektoren eine wesentliche Rolle.

Daneben kommen insbesondere für die flächenintensiven Haupterwerbsbetriebe erhebliche Herausforderungen im Bereich der spezifischen Qualitätsproduktion und der Vermarktung hinzu. Ohne Zertifizierung sind derzeit weder Obst und Gemüse noch viele andere Agrarprodukte zu vermarkten. Dieser Trend zeigt sich auch auf Bundesebene.

Eine hohe Zahl kleiner Agrarbetriebe, die häufig im Nebenerwerb betrieben werden, steht einer kleinen Zahl großer Betriebe gegenüber: Nur 8 % der Betriebe sind größer als 100 ha, bewirtschaften aber 50 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche Deutschlands.

Eine ähnliche Konzentration zeigt sich für die Viehbestände: So hielten im Jahr 2005 4 % der Rinderbetriebe 26 % des gesamten deutschen Milchviehbestandes und 3 % der Betriebe 29 % des Mastschweinebestandes.

Dieser Trend zur Spezialisierung in der Landwirtschaft spiegelt sich auch in der Landschaft. Viehhaltung und Ackerbau, Wein- und Obstbau finden in zunehmendem Maße als dominierende Bewirtschaftungsformen in weit voneinander entfernten Landesteilen statt. Und auch diese Entwicklung schreitet fort. Gemischtbetriebe zwischen Tierhaltung und Ackerbau, Weinbau und Ackerbau oder auch Gemüse- und Obstbau gehören mehr oder weniger der Vergangenheit an.

Sokonzentriert sich z. B. die Milchviehhaltung immer mehr in Regionen, in denen aufgrund der obligatorischen Grünlandwirtschaft die sonstigen Alternativen rar sind. Der Weinbau hat aufgrund der gesetzlich festgelegten Weinanbaugebiete zwar traditionell begrenzte Ausweitungsmöglichkeiten, jedoch sind die Gemischtbetriebe, die insbesondere in der Pfalz und in Rheinhessen eine lange Tradition haben, immer mehr im Rückgang begriffen. Der Gemüsebau hat sich auf die klimatischen Gunstgebiete mit Berechnungsmöglichkeit konzentriert. Dort haben sich auch die Märkte und die entsprechende Infrastruktur etabliert, während in den sonstigen Regionen von Rheinland-Pfalz diese Produktionszweige überwiegend in der Direktvermarktung arbeiten.

4. Was sind die Folgen dieser Entwicklung?

Die Spezialisierung, d. h. die Einengung des Produktionsprogramms auf eines oder wenige Agrarprodukte, zwingt in aller Regel zu globalisierten Handelsbeziehungen und zur Konzentration der Produktion vornehmlich in wenigen, spezialisierten Betrieben oder zumindest Regionen.

Bleiben wir hier in der Region beim Gemüsebau. Hoch spezialisierte Betriebe produzieren teilweise nur noch eine Kulturart, wie z. B. Radies oder Karotten. Dies bedeutet, dass das Verlustrisiko bei Schädlingsbefall, Krankheiten oder Witterungsunbilden gewaltig ist. Die gerade stattgefundene EHEC-Krise hat die Dramatik dieser Abhängigkeit gezeigt. Aber auch die Auswirkungen von Hagel Schäden oder das Auftreten des Maiswurzelbohrers machen uns klar, dass eine hochgradige Spezialisierung auf eine oder wenige Fruchtarten enorme Verlustrisiken in sich bergen. Durch die Abhängigkeiten von wenigen Großabnehmern und die fehlenden Ausgleichsmöglichkeiten, benötigen die Betriebe eine immense finanzielle Flexibilität um dauerhaft bestehen zu können. Eine solchermaßen produktionsorientierte Landwirtschaft ist gekennzeichnet durch strukturarme Agrarlandschaften mit einem geringen Anteil naturnaher Lebensräume. Sie wird für Umweltprobleme verantwortlich gemacht, etwa für Grundwasserbelastungen, Verlust der Artenvielfalt und Unterbrechung von Stoffkreisläufen. Dabei ist nicht die Spezialisierung allein das Problem, sondern die fehlende Nachhaltigkeit der Produktionsmethoden, die diese Schäden verursachen.

Auch die möglichen Beiträge der Landwirtschaft zur Regionalentwicklung sind eher gering, da die hoch mechanisierte Landwirtschaft nur wenige Arbeitskräfte

benötigt und selbst diese zu einem großen Teil außerhalb der Region oder – im Falle der Saisonarbeitskräfte – aus dem Ausland rekrutiert. Zudem findet die Weiterverarbeitung und Vermarktung der erzeugten Agrarprodukte vielfach außerhalb der peripheren ländlichen Regionen statt. Im ländlichen Raum werden vorrangig nur die unverarbeiteten Rohstoffe bereitgestellt, während der Großteil der Wertschöpfung und der dadurch induzierten Beschäftigungseffekte bei der Veredelung dieser Produkte andernorts besteht.

Es ist mir durchaus bewusst, dass es daneben nach wie vor auch Formen der Landwirtschaft gibt, die durch einen geringen Einsatz kapitalintensiver Produktionsmittel und durch geringere Flächenerträge charakterisiert sind. In der Regel produzieren sie eine deutlich größere Vielfalt an Agrarerzeugnissen. Ihre Handelsbeziehungen finden vorwiegend in der Region statt, und die räumliche Verteilung von Produktionsbereichen ist durch relativ geringe räumliche Konzentration gekennzeichnet. Durch einen hohen Anteil naturnaher Habitate ist die Landschaftsstruktur, in denen sie agieren, komplex. Diese Form der Landnutzung nimmt häufig auf Belange des Umwelt- und Tierschutzes besondere Rücksicht. Ein Beispiel hierfür sind die Betriebe des ökologischen Landbaus, die 2010 auf ca. 5 % der rheinland-pfälzischen Landwirtschaftsfläche wirtschafteten. Auch diese Form der Produktion stellt für mich eine Art der Spezialisierung dar.

Stellt sich nun die Frage, welche dieser Bewirtschaftungsform ist die zukunftsträchtigste, welche soll gefördert und gefordert werden?

5. Forderungen für eine zukunftsorientierte Landwirtschaft

An eine zukunftsorientierte Landwirtschaft, die Impulse für die Entwicklung ländlicher Räume geben kann, wären demzufolge die folgenden Anforderungen zu stellen:

Sie soll

- möglichst hohe Beschäftigungseffekte generieren, die vor Ort befindlichen Ressourcen nutzen und regionale Wirtschaftskreisläufe unterstützen
- innovativ und wirtschaftlich sein und sich idealerweise ohne Fördergelder und Subventionen weitgehend selbst tragen
- die gewachsene Kulturlandschaft erhalten und die Belange des Ressourcenschutzes adäquat berücksichtigen

- zur Erhaltung und Entwicklung regionaler Eigenarten sowie zur Identifikation im Land, seiner Kultur und seinen Traditionen beitragen
- kompatibel mit anderen Landnutzungen sein und alternative Entwicklungspfade nicht behindern.

Tatsächlich finden sich in vielen ländlichen Regionen auch von Rheinland-Pfalz Pioniere einer nachhaltigen Landbewirtschaftung, die zur regionalen Wertschöpfung, zur Landschaftspflege und zum Erhalt von Dorfgemeinschaften beitragen. Zu diesen gehören sicherlich die ökologisch wirtschaftenden Betriebe, aber auch eine Vielzahl weiterer landwirtschaftlicher Unternehmen, die neben den ökonomischen Überlegungen auch ein ganzheitliches Denken als Basis ihres Wirtschaftens haben.

Ich bin davon überzeugt, dass mittelfristig eine rein auf die Erzeugung standardisierter Agrarrohstoffe ausgerichtete Landwirtschaft keine Überlebenschancen hat. Es muss uns gelingen, die bislang unterentwickelten Märkte für die gesamtgesellschaftlichen Leistungen der Landwirtschaft wie etwa im Bereich der Pflege von Kulturlandschaften, für die Landwirte betriebswirtschaftlich interessant und für die Verbraucher attraktiv zu machen.

Einen ersten Schritt haben wir mit den Agrarumweltprogrammen sicherlich geleistet. Aber wir können und dürfen hierbei nicht stehen bleiben. Die Landwirtschaft, möge sie noch so spezialisiert produzieren, ist Teil der Umwelt, der Landschaft, der Bevölkerung, der Wirtschaft und deren integrierter Entwicklung. Und nur wenn sie sich so begreift, hat sie dauerhaft ökonomische und ökologische Chancen zu überleben, aber auch zusammen mit den Menschen in der Region sich weiterzuentwickeln. Um aktiv zur Regionalentwicklung beizutragen, ist die Landwirtschaft gezwungen, permanent innovativ zu sein. Chancen sehe ich durchaus in dem Bereich, der Thema dieses Kongresses ist, in der Suche nach spezialisierten Absatzsegmenten oder in der Diversifizierung der Produktpalette.

Ganz besondere Möglichkeiten liegen meines Erachtens in der Option, das „Besondere“ der regionaltypischen Produkte gegenüber den globalisierten Agrarprodukten herauszustellen. Dies setzt auch voraus, den Verbraucherwünschen in Bezug auf eine gentechnikfreie Lebensmittelproduktion nachzukommen, und auf Gentechnik bei der Produktion von Lebensmitteln zu verzichten.

Die Spezialisierung heute fordert noch mehr als früher den Aufbau betrieblicher

Kooperationen, um die Verbindungen zu vor- und nachgelagerten Wirtschaftsbereichen in der Region zu stärken, um größere Teile der Wertschöpfungsketten in den Regionen zu halten. Wenn dies beherzigt wird, sehe ich für unsere Agrarbetriebe sogar eine Spezialisierung in klassischen „außerwirtschaftlichen“ Sektoren Anknüpfungspunkte, sich dort neue Märkte zu erschließen: Etwa im Bereich der erneuerbaren Energien, in Gastronomie und Tourismus, Naturschutz und Landschaftspflege sowie Gesundheit und Wellness.

Gerade in letzteren Bereichen wird dies allerdings nur gelingen, wenn die Gesellschaft in der Lage ist, die bislang nicht marktfähigen Leistungen der Landwirtschaft – etwa die Bereitstellung von sauberem Wasser, von Biodiversität und von attraktiven Landschaften – gerecht zu honorieren.

Die aktuellen Vorschläge der EU zur Agrarreform bieten hierzu eine gute Grundlage, denn sie knüpfen die Gewährung von Leistungen an die Landwirtschaft an die Erbringung konkreter ökologischer Leistungen. Mit diesem Greening verbindet sich der Grundsatz, dass öffentliches Geld nur für gesellschaftlich nützliche Güter ausgegeben wird.

Lassen Sie uns diese Reform der EU-Agrarpolitik als unsere gemeinsame Chance begreifen auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Landwirtschaft.

Ich bedanke mich für die Einladung und die Möglichkeit, die Vorstellungen unseres Ministeriums hier darlegen zu können und wünsche dem Kongress einen erfolgreichen Verlauf.

Grusswort des Präsidenten der Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen

G. Bedlan

Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen (ALVA),
Wien

Sehr geehrter Herr Präsident Wiesler!

Sehr geehrte Ehrengäste!

Sehr geehrte Damen und Herren!

Ich freue mich, heute hier bei Ihnen sein zu dürfen und am 123. VDLUFA-Kongress teilzunehmen.

Wie von den Vorrednern schon angesprochen, ist das Tagungsmotto „Spezialisierte Landwirtschaft – Risiko oder Chance?“ hochaktuell. Der Anbau weniger Kulturen auf immer größer werdenden Flächen fördert kulturartspezifische Schadorganismen wie zum Beispiel Diabrotica. Auch der Fall EHEC zeigt deutlich, wo die Risiken einer spezialisierten Landwirtschaft liegen. In den Beiträgen des Kongresses werden aber auch die Chancen einer Spezialisierung aufgezeigt.

Unsere beiden Verbände, der VDLUFA und die ALVA, als deren Präsident ich die Ehre habe sie seit nunmehr acht Jahren zu leiten, verbindet nicht nur die gemeinsame Arbeit in den Fachgruppen. Auch die persönlichen Kontakte der beiden Vorstände haben sich in den letzten Jahren vertieft. Hervorgehend daraus wird auch der 124. VDLUFA-Kongress grenznah zu Österreich, und zwar in Passau stattfinden. Thematisch als auch gestalterisch wird sich die ALVA zu diesem Kongress einbringen. Die Fachexkursion wird nach Österreich führen. Diese mehr oder weniger gemeinsame Gestaltung wurde durch Herrn Hofrat Leopold Girsch angeregt und gefördert. Herr Girsch wäre heute sehr gerne hier bei Ihnen in Speyer gewesen, dringende Termine zur Neuausrichtung des Bereiches Landwirtschaft der AGES haben es ihm jedoch in letzter Minute nicht möglich gemacht. Er bedauert dies sehr und wünscht dem Kongress die besten Erfolge und Grüße und ersucht Sie um Nachsicht.

Meine Damen und Herren, der Vorstand der ALVA und ich wünschen dem 123. VDLUFA-Kongress viel Erfolg und beste wissenschaftliche Diskussionen.

Spezialisierte Landwirtschaft – Chancen oder Risiken für Biodiversität und Naturhaushalt?

B. Jessel

Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bonn

1. Einleitung

Mit über 50 % Flächenanteil ist die Landwirtschaft der größte Flächennutzer in Deutschland. Sie hat damit zwangsläufig einen großen Einfluss auf die biologische Vielfalt und prägt nachhaltig das Landschaftsbild. Landwirtschaftlich genutzte Fläche, einschließlich Grünland und Acker hat zudem einen Anteil von knapp 40 % an den europäisch geschützten Natura 2000-Gebieten (Stand: 2009). Daher sind praxistaugliche und integrative Ansätze erforderlich, um den Erhalt der biologischen Vielfalt und des Naturhaushaltes in der Agrarlandschaft in Kooperation mit der Landwirtschaft zu erreichen.

Die Landbewirtschaftung hat früher maßgeblich zur Diversifizierung von Lebensräumen und damit zur Entstehung komplexer artenreicher Agrarökosysteme beigetragen; – man könnte auch sagen: es gab früher eine regional stark differenzierte, an die jeweiligen Standortbedingungen angepasste und somit auch in diesem Sinne (wenn auch nicht im Sinne dieser Tagung!) spezialisierte Bewirtschaftung. Hingegen führt ihre heutige, „industrialisierte“ Ausprägung zur Vereinheitlichung und Monotonisierung ganzer Landschaften.

2. Risiken und Auswirkungen einer spezialisierten Landwirtschaft

Einige Schlaglichter sollen zunächst verdeutlichen, wie es um den Zustand der biologischen Vielfalt in der Kulturlandschaft bestellt ist: In der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie und in der Nationalen Biodiversitätsstrategie der Bundesregierung (BMU, 2007) wird ein Teilindikator für die Artenvielfalt im Agrarland angewendet, der sich aus den Populationsentwicklungen von 10 typischen Vogelarten zusammensetzt und über diese auch Rückschlüsse auf den Zustand des Lebensraumtyps „Agrarland“ zulässt. Dieser Indikator stagniert nach einem

starken Abfall in den 1970er und 1980er Jahren seit Ende des letzten Jahrtausends bei 66 % des Zielwertes. Der Zielwert spiegelt den Zustand wider, der zu erwarten wäre, wenn die bereits heute geltenden Vorgaben und rechtlichen Bestimmungen konsequent umgesetzt würden. Die nach wie vor angespannte Lage bei den Vögeln in der Agrarlandschaft steht dabei stellvertretend für die ungünstige Situation bei vielen anderen Artengruppen.

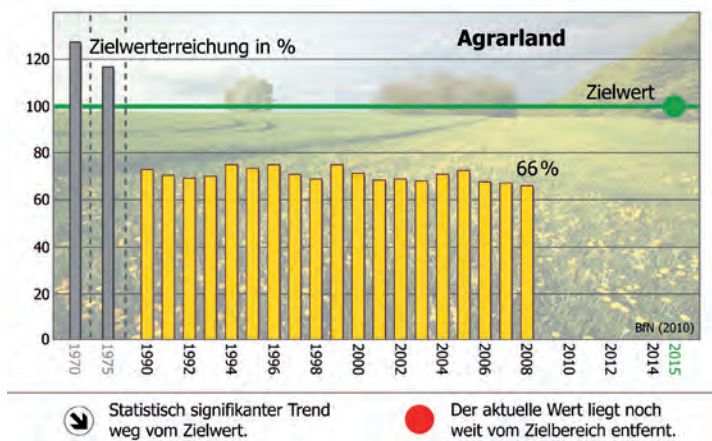


Abb. 1: Entwicklung des Teilindikators Artenvielfalt (repräsentiert durch 10 typische Vogelarten) für den Lebensraumtyp Agrarland (Sudfeldt et al., 2010)

Auf Ebene der Lebensräume ist ein kontinuierlicher Verlust einer vielfältigen Kulturlandschaft zu verzeichnen. Aus Naturschutzsicht problematisch ist insbesondere die Entwicklung der Fläche des Dauergrünlands. Der Grünlandanteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche ist zwischen 2003 und 2008 in Deutschland um 3,7 % gesunken (Alliance Environnement, 2007), in einigen Bundesländern ist der Verlust sogar noch deutlich höher und übersteigt mittlerweile die 5 %-Marke. Auf den verbleibenden Grünlandflächen findet häufig eine zunehmende Intensivierung statt, was zu einem Rückgang von extensiv genutztem und damit oftmals naturschutzfachlich wertvollem Grünland führt. Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert, das sog. High Nature Value Farmland, haben derzeit einen Anteil von 13 % an der Landwirtschaftsfläche; nur 2,2 % davon können als Flächen mit äußerst hohem Naturwert eingestuft werden (BMU, 2010).

Neben den Auswirkungen auf die biologische Vielfalt beeinflusst die Landwirtschaft auch Klima, Böden und Gewässer. Der landwirtschaftliche Sektor verursacht trotz insgesamt rückläufiger Emissionen zwischen 13,3-15,6 % der gesamten deutschen Treibhausgasemissionen (Hirschfeld et al., 2008) und ist damit ein bedeutender Emittent von Treibhausgasen in Deutschland; ein beträchtlicher Teil davon geht auf das Konto der landwirtschaftlichen Nutzung von Mooren. Landwirtschaftlich genutzte Böden und deren Funktionen werden durch landwirtschaftliche Nähr- und Schadstoffeinträge als Folge des Einsatzes von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln beeinträchtigt. So ist der Stickstoffüberschuss in den Böden Deutschlands in den letzten Jahren zwar von durchschnittlich 130 kg/ha auf 104 kg/ha gesunken; dies entspricht jedoch kaum mehr als der Hälfte der bis 2010 eigentlich erwünschten Reduktion auf 80 kg/ha; in den letzten Jahren war sogar wieder eine Zunahme zu verzeichnen (UBA, 2009). Die durch die Landwirtschaft verursachten diffusen Nährstoff- und Pflanzenschutzmitteleinträge als Folge von Erosion und Auswaschungsprozessen tragen zudem maßgeblich zur Gewässerbelastung bei. Zwar hat auch diese im Bundesdurchschnitt abgenommen, dennoch ist die Nitratbelastung in einigen Regionen Deutschlands unvermindert hoch (UBA, 2009).

Besonders anschaulich werden die Risiken einer spezialisierten Landwirtschaft aktuell anhand des Biomassebooms. Die Förderung durch das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG), insbesondere mit dem 2004 eingeführten Nawaro-Bonus, führte in den vergangenen Jahren zu einer beispiellosen Zunahme nachwachsender Rohstoffe auf ein Rekordniveau von über 2,1 Mio ha (das sind über 18 % der Ackerfläche) im Jahr 2010, vorwiegend für die energetische Verwertung. Der Hauptzuwachs fand dabei beim Maisanbau statt, der in 90 % der Biogasanlagen als Substrat zum Einsatz kommt; gleichwohl nimmt in absoluten Zahlen mit 0,94 Mio ha der Rapsanbau die größte Anbaufläche ein (FNR, 2010).

Dadurch haben zumindest in bestimmten Regionen Deutschlands Konzentrations- und Spezialisierungsprozesse eingesetzt, die regional zu einer Intensivierung der Landnutzung beitragen und sich in Monokulturen, Vergrößerungen der Schläge und einer regionalen Verengung von Fruchtfolgen manifestieren (vgl. hierzu Schümann et al. (2010) für exemplarische Landschaftsräume). Neben direkten treten in Folge einer verstärkten Spezialisierung auf einen intensiven Biomasseanbau in bestimmten Regionen indirekte Landnutzungsänderungen auf. Überproportional betroffen ist dabei das Grünland. Nitsch et al. (2009) etwa konnten auf Grundlage einer flächenscharfen Auswertung von Invekos-Daten

in vier repräsentativ ausgewählten Bundesländern) zeigen, dass mehr als die Hälfte des umgebrochenen Grünlands anschließend für den Maisanbau genutzt wird.

Besonders problematisch sind die Auswirkungen des Maisanbaus auf Brutvögel in der Agrarlandschaft (Dziewiaty und Bernardy, 2007), vor allem durch die Zerstörung der Gelege durch wiederholte Arbeitsgänge (z. B. bei der Beikrautregulierung) oder vorgezogene Erntetermine im Biomasseanbau. Die Bestände europäischer Agrarvögel, selbst früher so häufiger Arten wie Feldlerche oder Kiebitz, sind daher stark rückläufig, eine Trendumkehr ist nicht absehbar.

Allerdings gilt es, bei der Beurteilung wie sich der Energiepflanzenanbau auswirkt, keine Pauschalaussagen zu treffen, sondern differenziert die jeweiligen landschaftsräumlichen Gegebenheiten mit einzubeziehen. Es stellt jedenfalls eine große Herausforderung dar, wie der künftig sich weiter ausdehnende Biomasseanbau naturverträglich gestaltet werden kann.

3. Umwelleistungen durch Biodiversität und Landwirtschaft

Die Sicherung der biologischen Vielfalt und die nachhaltige Nutzung der Naturgüter liegen jedoch auch im ureigenen Interesse der Landwirtschaft selbst, stellen sie doch eine entscheidende Voraussetzung für eine langfristige Aufrechterhaltung der landwirtschaftlichen Produktion dar. Die Prozesse, die durch eine Vielzahl an Organismen in einen Landschaftsraum geprägt sind und die ökologischen Funktionen sicherstellen die auch die Grundlage einer Agrarproduktion bilden, bezeichnet man als funktionelle Biodiversität. Darunter fallen etwa der Erhalt der Bodenstruktur, -funktion und -fruchtbarkeit, die Bestäubung der Kulturpflanzen, Erosionsschutz, Nährstoffkreislauf, ein ausgeglichener Wasserhaushalt sowie die Aufrechterhaltung des natürlichen Schädlingsregulationspotenzials.

Dass die Landwirtschaft auch selber vom Verlust an biologischer Vielfalt betroffen sein kann, wird etwa am Beispiel der Bestäubungsleistungen durch Insekten deutlich, von denen 75 % der 115 global bedeutsamen Kulturpflanzen mit einem Marktwert von 150 Mrd. € pro Jahr abhängen (TEEB, 2010). Durch den Verlust der Bestäuberleistung können daher den Landwirten weltweit enorme Ertragseinbußen entstehen. Anzuführen ist auch die schleichende Generosion

bei Kulturpflanzen und Tierrassen, die künftig ein Problem für die Landwirtschaft darstellen könnte. Denn mit dem Verlust genetischer Vielfalt eng verknüpft ist ein Verlust von Züchtungsoptionen, von Optionen zur Anpassung wichtiger Kulturpflanzen an sich verändernde Umweltbedingungen, beispielsweise im Zuge des Klimawandels.

Die zunehmende Intensivierung und Spezialisierung führt zudem zum kontinuierlichen Verlust traditioneller, nicht mehr konkurrenzfähiger Landnutzungssysteme und davon abhängiger Agrarlebensräume. Mit ihnen geht auch ein Stück kultureller Identität in ländlich geprägten Räumen verloren.

Der letztgenannte Aspekt führt zu dem Punkt, dass Landwirtschaft heute eben nicht mehr nur der Produktion von Nahrung und Biomasse dient, sondern wichtige gesellschaftliche Leistungen erbringt. Neben der Produktionsfunktion sind die besagten ökologischen Funktionen zur Sicherung der biologischen Vielfalt sowie von Wasser und Boden – einschließlich beispielsweise von Nährstoffkreisläufen, dem Schutz von Wassereinzugsgebieten, der Regulierung von Kulturschädlingen und vieles mehr. Darüber hinaus sind die sozioökonomischen Funktionen der Landwirtschaft von Bedeutung, – die Erwirtschaftung eines Einkommens und die Sicherung von Arbeitsplätzen, aber auch die Bewahrung bäuerlicher Werte und Kulturgüter in ländlichen Räumen. Zudem schafft und erhält die Landwirtschaft in vielen Regionen die Basis für einen naturorientierten Tourismus. Zu dem dahinter stehenden Leitbild einer multifunktionalen Landwirtschaft bekennt sich seit längerem explizit auch die OECD (2001).

Die meisten dieser durch die Landwirtschaft erbrachten Leistungen sind bislang umsonst verfügbar. Darüber hinaus werden Kosten die in Folge reduzierter Ökosystemleistungen entstehen nach wie vor externalisiert und von der gesamten Gesellschaft getragen. Die Bewirtschaftung von High Nature Value Farmland etwa lohnt sich aktuell erst durch eine zusätzliche Honorierung, z. B. in Form von Agrarumweltmaßnahmen; die Produktionskosten werden in aller Regel nicht durch Markterlöse gedeckt. Den reinen Markterlösen wären jedoch etwa die Leistungen, die Grünland für die Kohlenstoffspeicherung, den Grundwasserschutz (anhand der Vermeidungskosten, die für eine Landbewirtschaftung entstehen, die N-Emissionen vermeidet) und die Erhaltung der Biodiversität (die sich etwa im Wert Grünlandgeprägter Landschaften für den Tourismus oder der Zahlungsbereitschaften der Bevölkerung für den ästhetischen Wert von Landschaften ausdrücken lässt) gegenüber zu stellen (Matzdorf et al., 2010).

4. Optionen durch eine Spezialisierung auf den Erhalt von biologischer Vielfalt und die Erbringung ökosystemarer Leistungen

Spezialisierung kann jedoch auch eine Chance für die biologische Vielfalt darstellen, dann nämlich, wenn sie auf deren Erhalt abzielt. Ein solches Wirtschaften wird durch die sogenannten Agrarumweltmaßnahmen unterstützt, die 1992 von der EU eingeführt wurden, um Umweltbelange in die europäische Agrarpolitik zu integrieren und eine Honorierung von Leistungen beinhalten, die über die gesetzlichen Vorschriften hinausgehen. Gefördert wird eine Bandbreite von Maßnahmen, die auf unterschiedliche Biodiversitäts- und Umweltziele abstellt.

Derzeit werden circa ein Viertel der in Deutschland im EU-Programmzeitraum 2007 bis 2013 für die ländliche Entwicklung zur Verfügung stehenden Finanzmittel für Agrarumweltmaßnahmen eingesetzt (BfN, 2012). Allerdings geht seit 2005 der Umfang der Fördermittel für Agrarumweltmaßnahmen kontinuierlich zurück. Dies widerspricht dem im Rahmen des Health Checks der EU formulierten Ziel, die Agrarumweltförderung zu stärken, um den neuen Herausforderungen wie dem Rückgang der biologischen Vielfalt, aber auch dem Landschaftswassermanagement oder dem Klimawandel besser begegnen zu können. Die im Rahmen von Agrarumweltprogrammen in Deutschland geförderte Fläche belief sich im Jahre 2007 auf 4,8 Mio. ha, was 29 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche Deutschlands entspricht. Ob diese Fläche langfristig gefördert und damit natur- und umweltverträglich bewirtschaftet werden kann ist aufgrund der sinkenden Bereitstellung öffentlicher Mittel für die Agrarumweltförderung allerdings fraglich.

Der europäischen Umweltagentur zufolge sind Agrarumweltmaßnahmen die bedeutendsten politischen Instrumente zum Schutz der Biodiversität in der europäischen Agrarlandschaft (EEA, 2004), wobei sie seit ihrer Einführung in Zuge der MacSharry-Reform von 1992 einen politisch gewollten, kontinuierlichen Bedeutungszuwachs erfahren haben. Agrarumweltmaßnahmen wurden und werden etwa sehr erfolgreich zur Aufrechterhaltung einer extensiven Grünlandnutzung eingesetzt; sie greifen gerade in von Grünland dominierten Mittelgebirgsregionen, in denen Landnutzungsaufgabe droht. Wissenschaftlich belegt ist auch die durch Agrarumweltmaßnahmen geförderte positive Bestandsentwicklung vor allem von sogenannten „Allerweltsarten“ (Klejin et al., 2006). Für bestimmte gefährdete Arten, bspw. den Ortolan oder den Feldhamster, erzielt man in Deutschland allerdings vor allem über zielgerichtete Vertragsnaturschutzprogramme gute Erfolge. Ergebnisse von Studien des BfN (Nitsch et al.,

2009) deuten zudem darauf hin, dass eine erfolgreiche räumliche Schwerpunktsetzung der Agrarumweltförderung stattfindet. Dies verdeutlicht die in Abb. 2 dargestellte Graphik, die basierend auf einer Verschneidung von Invekos Daten und GIS-Fachdaten aus vier Ländern (MV, NS, NW und RP) die durch Vertragsnaturschutz und andere Agrarumweltmaßnahmen geförderte Fläche in verschiedenen Gebietskulissen darstellt. Es zeigt sich, dass die Förderfläche in den Schutzgebieten und bei naturschutzfachlich wertvollen Biotopen deutlich über dem Mittelwert für alle Landwirtschaftsflächen liegt. Daraus folgt, dass der Vertragsnaturschutz vor allem in Naturschutzgebieten, Nationalparks und FFH-Lebensraumtypen und -gebieten eine herausragende Rolle spielt.

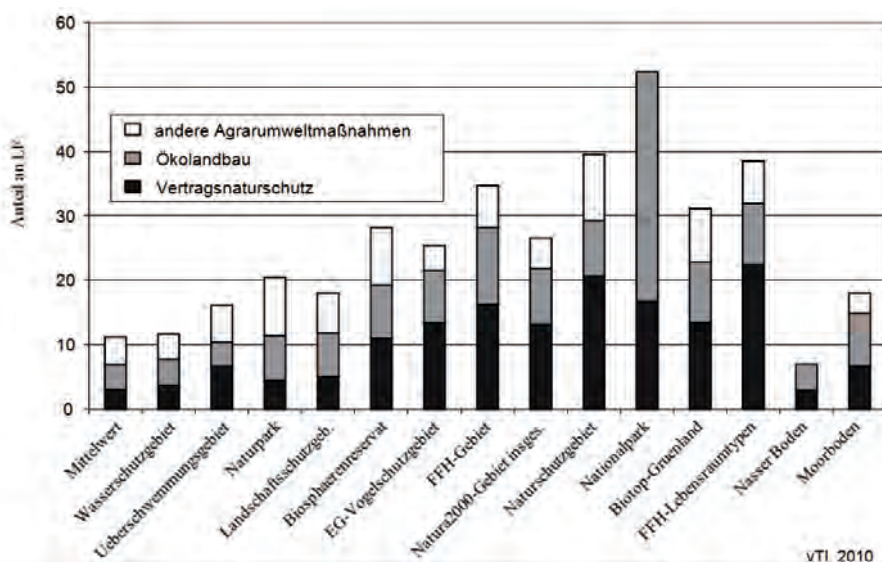


Abb. 2: Verteilung von Agrarumweltmaßnahmen auf verschiedene Gebietstypen (Nitsch et al., 2009)

Trotz der genannten Erfolge besteht im Bereich Agrarumweltmaßnahmen weiterhin Verbesserungsbedarf. So ist die Bereitschaft bei Landwirten, Agrarumweltmaßnahmen im Ackerbereich umzusetzen, deutlich niedriger als im Grünland. Dies liegt ganz wesentlich in den von der EU vorgegebenen Höchstprämien begründet, die die Opportunitätskosten gerade in intensiv genutzten Ackerbauregionen nicht ausgleichen. Um die Attraktivität der Programme für Landwirte zu erhöhen, müssten die Prämien erhöht und/oder Maßnahmen konzipiert werden, die sich bei geringen Ertragsverlusten in die Betriebsabläufe

integrieren lassen. Ein weiteres Defizit stellt die derzeit bestehende gravierende Finanzierungslücke in der Agrarumweltförderung dar: So schätzen Experten den Finanzbedarf zur Erfüllung gesetzlicher Vorgaben im Bereich Naturschutz alleine in Deutschland auf 1,2 bis 1,5 Milliarden € pro Jahr (BMU, 2009). Tatsächlich stehen dem Vertragsnaturschutz aber gerade einmal 110 Mio € pro Jahr zur Verfügung. Spielraum für eine Aufstockung der Mittel für zielgerichtete biodiversitätsrelevante Maßnahmen gibt es durchaus. So fließen derzeit mit 70 % ein Großteil der für Agrarumweltmaßnahmen verfügbaren öffentlichen Mittel in nicht flächenspezifische Ressourcenschutzmaßnahmen, die lediglich geringe indirekte positive Wirkungen auf die Biodiversität erwarten lassen – hier wäre also eine stärkere Fokussierung und damit auch Spezialisierung durchaus angesagt.

Ein weiteres Beispiel für eine aus Natur- und Umweltsicht positive Spezialisierung stellt der Ökologische Landbau dar. Wissenschaftlich nachgewiesen sind seine vielen positiven Wirkungen auf Biodiversität, Umwelt und Klima (z. B. Fuller et al., 2005; Hole et al., 2005; Bengtsson et al., 2005.) Zumindest für den Ackerbau zählt dazu bspw. die Förderung wildlebender Arten durch eine umweltverträgliche und ressourcenschonende Bewirtschaftung; im Grünland hingegen gibt es kaum Unterschiede zwischen Ökolandbau und konventioneller Landwirtschaft. Außerdem ist der Ökologische Landbau durch seinen auf einer Kreislaufwirtschaft beruhenden Ansatz und den Verzicht auf Mineraldünger auf eine diverse Fruchtfolge angewiesen, er hat eine höhere Ressourceneffizienz im Dünger- und Energieeinsatz und ist mit dem Anbausystem, das die größten Potenziale für eine klimaschonende Agrarproduktion aufweist.

Derzeit beträgt der Anteil des Ökolandbaus an der landwirtschaftlich genutzten Fläche lediglich 5,9 % (BÖLW, 2011), das seinerzeit politisch gesetzte Ziel beläuft sich hingegen auf 20 % (BMU, 2010). Erst aktuell hat der Deutsche Rat für nachhaltige Entwicklung (2011) eine Ausweitung der Anbaufläche für den ökologischen Landbau gefordert und ihm eine Leitfunktion für die Weiterentwicklung der europäischen Landwirtschaft zugesprochen.

Gelungene Beispiele für die Integration von Naturschutzleistungen in die Abläufe von landwirtschaftlichen Betrieben verdeutlichen zudem die vom BfN prämierten Naturschutzhöfe, die eine Vielzahl individueller, auf die jeweiligen landschaftlichen und betrieblichen Rahmenbedingungen ausgerichteter Beispiele deutlich werden lassen, wie sich Naturschutzleistungen in die Abläufe von landwirtschaftlichen Betrieben integrieren lassen (vgl. dazu unter www.naturschutzhoefe.org).

5. Schlüsselrolle einer künftigen Ausgestaltung der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP)

Verschiedene Abkommen und Konventionen auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene wie die Biodiversitätskonvention, Ziele der EU wie die im Mai 2011 veröffentlichte europäische Biodiversitätsstrategie (EU-KOM, 2011, 244 final) oder die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt messen der Landwirtschaft eine zentrale Bedeutung bei dem Erhalt der biologischen Vielfalt bei. Zudem handelt es sich hier um Ziele, zu deren Erfüllung sich Deutschland verpflichtet hat

Eine Schlüsselrolle, um angemessene Rahmenbedingungen für eine flächendeckend natur- und umweltverträgliche Landwirtschaft zu schaffen, kommt der anstehende Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU nach 2013 zu. Aus Naturschutzsicht sind dabei zwei gleichermaßen erforderliche komplementäre Ansätze erforderlich:

- Einmal die Etablierung eines flächendeckenden Mindeststandards für den Erhalt der biologischen Vielfalt und die Sicherung des Naturhaushaltes, der auch in intensiv genutzten Agrarlandschaften seine Wirkung entfaltet. Maßgeblich ist dabei insbesondere die Einführung eines ausreichenden Mindestanteils ökologischer Vorrangflächen, die typischen Arten des Agrarlandes Rückzugsmöglichkeiten, Nahrungsflächen, Lebens- und Reproduktionsräume bieten, die ansonsten in ausgeräumten Agrarlandschaften weitgehend verloren gegangen sind, weiterhin Maßgaben zum Erhalt des ökologisch wertvollen Dauergrünlands sowie eine Diversifizierung der Fruchtartenvielfalt.
- Gleichzeitig ist eine Ausweitung einer wirksamen Agrarumweltförderung in der zweiten Säule und ihre stärkere Fokussierung auf anspruchsvollere Maßnahmen im Rahmen der Weiterentwicklung der EU-Agrarpolitik unerlässlich, um den aktuellen Herausforderungen, wie Biodiversitätserhalt, Klima- und Gewässerschutz, gerecht zu werden. Die Stärkung der Agrarumweltförderung soll gleichzeitig dazu beitragen, dass durch angemessene Prämiensätze, die die Opportunitätskosten der Landwirte auch an ertragreichen Agrarstandorten ausgleichen, sowie durch eine langfristige Verlässlichkeit der Förderung die Attraktivität der Programme für Landwirte erhöht wird und dass in Gebieten mit entsprechenden Standortvoraussetzungen und hohem Potenzial für die biologische Vielfalt eine Spezialisierung auf die Erbringung von Naturschutzleistungen möglich wird.

6. Fazit

Biodiversitätsziele, die von einer naturverträglichen Landbewirtschaftung abhängen und auf internationaler, europäischer wie nationaler Ebene einzuhaltende Verpflichtungen darstellen, werden derzeit nicht erreicht. Der Naturschutz ist jedoch auf eine lebensfähige, naturverträgliche Landwirtschaft angewiesen, um Kulturlandschaften mit den von ihnen erbrachten gesellschaftlichen Leistungen zu erhalten. Auch die Landwirtschaft ist negativ vom Verlust biologischer Vielfalt und von Belastungen des Naturhaushalts betroffen. Nachhaltigkeit und Naturverträglichkeit haben daher als Prämissen und Leitplanken für jedwede Landbewirtschaftung und Spezialisierung zu gelten.

Eine auf Ressourcenschutz bzw. die Produktion gesellschaftlicher Leistungen ausgerichtete Landwirtschaft eröffnet Chancen für die Verbesserung des Erhaltungszustandes der biologischen Vielfalt in der Agrarlandschaft. Bestehende erfolgreiche Ansätze sollten weiter ausgebaut und mit tragfähigen (ökonomischen) Anreizen untersetzt werden. Darüber hinaus sollten alle Produktionsformen über Einführung ökologischer Mindeststandards nachhaltig gestaltet werden.

7. Literatur

Alliance Environnement, 2007: Pressemitteilung vom 16.04.2008 mit Daten aus der Antwort der Bundesregierung auf eine Kleine Anfrage (Bündnis 90/Die Grünen, 2008); Pressemitteilung vom 13.11.2008 mit Daten aus der Antwort der Bundesregierung auf eine Schriftliche Frage (Bündnis 90/Die Grünen, 2008); Pressemitteilung vom 18.11.2008 mit Daten der Bundesregierung auf eine Schriftliche Frage (Bündnis 90/Die Grünen, 2009).

Bengtsson, J., Ahnström, J., Weibull, A.-C., 2005: The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, Vol. 42, 261-269.

BfN (Bundesamt für Naturschutz), 2012: Daten zur Natur 2012. Münster, Landwirtschaftsverlag (in Druck).

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit), 2007: Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Berlin.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit),

- 2009: Ökologisch wirtschaften: Zukunftsperspektiven ländlicher Räume. Berlin.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit), 2010: Indikatorbericht 2010 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Berlin.
- BÖLW, 2011: Die Biobranche 2011: Zahlen, Daten Fakten. Bilanzpressekonferenz Biofach 15.02.2011, <http://www.boelw.de/zdf.html>).
- Dziewiaty, K., Bernardy, P., 2007: Auswirkungen zunehmender Biomassenutzung (EEG) auf die Artenvielfalt – Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für den Schutz der Vögel in der Agrarlandschaft. Endbericht. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- EEA, 2004: Europäische Umweltagentur, EUA Signale 2004 - Aktuelle Informationen der Europäischen Umweltagentur zu ausgewählten Themen. 8-9.
- EU-KOM, 2011, 244 final: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020.
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe), 2010: Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe 2010.
- Fuller, R.J., Norton, L.R., Feber, R.E., Johnson, P.J., Chamberlain, D.E., Joys, A.C., Mathews, F., Stuart, R.C., Townsend, M.C., Manley, W.J., Wolfe, M.S., Macdonald, D.W., Firbank, L.G., 2005: Benefits of organic farming to biodiversity vary among taxa. *Biology Letters*, Vol. 1, Issue 4, 431-434.
- Hirschfeld J., Weiß J., Preidl M., Korbun T., 2008: Klimawirkung der Landwirtschaft in Deutschland. Schriftenreihe des IÖW 186/08, Berlin.
- Hole D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V., Evans, A.D., 2005: Does organic farming benefit biodiversity? In: *Biological Conservation* 122, 113-130.
- Kleijn, D., Baquero, R.A., Clough, Y., Díaz, M., de Esteban, J., Fernández, F., Gabriel, D., Herzog, F., Holzschuh, A., Jóhl, R., Knop, E., Kruess, A., Marshall, E.J., Steffandewenter, I., Tschamntke, T., Verhulst, J., West, T.M., Yela, J.L., 2006: Mixed biodiversity benefits of agri-environment schemes in five European countries. *Ecology Letters* 9, 243-254.
- Matzdorf, B., Reutter, M., Hübner, C., 2010: Gutachten Vorstudie Bewertung der Ökosystemdienstleistungen von HNV-Grünland (High Nature Value

- Farmland). Gutachten im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz (BfN), Abschlussbericht.
- Nitsch, H., Osterburg, B., Laggner B., Roggendorf, W., 2009: Auswertung von Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem zur Abschätzung von Wirkungen der EU-Agrarreform auf Umwelt und Landschaft. Bericht für das F+E-Vorhaben FKZ 3507 88 010, Umweltforschungsplan 2007, gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN). Arbeitsbericht aus der vTI-Agrarökonomie 07/2009.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), 2001: Multifunctionality. Towards an Analytical Framework.
- Rat für nachhaltige Entwicklung, 2011: "Gold-Standard Ökolandbau" - Für eine nachhaltige Gestaltung der Agrarwende. Empfehlungen vom 11. Juli 2011.
- Schümann, K., Engel, J., Frank, K., Huth, A., Luick, R., Wagner, F., 2010: Naturschutzstandards für den Biomasseanbau. Bundesamt für Naturschutz (BfN, Hrsg.). In: Reihe Naturschutz und Biologische Vielfalt, Bd. 106, Bonn-Bad Godesberg.
- Sudfeldt, C., Dröschmeister, T., Langgemach, T., Wahl, J., 2010: Vögel in Deutschland 2010. DDA, BfN, LAG, VSW, Münster.
- TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity), 2010: Die Ökonomie von Ökosystemen und Biodiversität: Die ökonomische Bedeutung der Natur in Entscheidungsprozesse integrieren. Absatz, Schlussfolgerungen und Empfehlungen der TEEB-Studie – eine Synthese. Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Umweltbundesamt, 2009. Daten zur Umwelt – Ausgabe 2009, Dessau.

Spezialisierte Landwirtschaft – Risiken und Chancen für die Pflanzenproduktion

H. Kage

Christian-Albrechts-Universität, Kiel

1. Rahmenbedingungen und Zielvorstellungen

Der Sektor Landwirtschaft sieht sich aktuell verschiedenen, teilweise nur schwer mit einander zu vereinbarenden Ansprüchen und Zielvorstellungen ausgesetzt. Dabei prägt das Leitbild der Nachhaltigkeit die entsprechende politische Diskussion seit Mitte der 80er Jahre und ist auch für die Bundesregierung zu einer wesentlichen Richtschnur ihrer mittel- und langfristigen Politikplanung geworden. Langfristig soll eine ausgewogene Zielerfüllung in den Bereichen Ökologie, Ökonomie und den sozialen Aspekten erreicht werden. Der Grad der Zielerreichung innerhalb einzelner Bereiche wird häufig über Indikatoren bewertet, die mehr oder weniger eng mit den eigentlichen Nachhaltigkeitszielen in Zusammenhang stehen. Als Indikatoren im Bereich Landwirtschaft werden beispielsweise das flächenbezogene Stickstoffsaldo, der Pflanzenschutzmitteleinsatz sowie im Bereich Ökonomie und sozialer Einkommens- und Bevölkerungsdynamik im ländlichen Raum herangezogen. Der Spezialisierungsgrad der Landwirtschaft kann hierbei einen entscheidenden Einfluss auf die Ausprägung einzelner Indikatoren haben.

Aktuell sind wesentliche Änderungen der globalen Rahmenbedingungen der Landwirtschaft zu konstatieren. Der Klimawandel hat zu entsprechenden Reaktionen der Politik auf der Ebene der EU und der Bundesregierung geführt. Insbesondere die forcierte Steigerung des Anteils biomassebasierter Energieerzeugung hat deutliche Konsequenzen für die aktuelle Situation der Pflanzenproduktion. Gleichzeitig zum wachsenden Bedarf an Bioenergie steigt der globale Bedarf an hochwertigen Nahrungsgütern durch Bevölkerungswachstum und Wohlstandszuwachs. Auf der anderen Seite sind aber bei wichtigen Kulturen (Weizen, Reis) zurzeit deutliche geringere bzw. keine Steigerungen der Flächenproduktivität zu konstatieren (Cassman et al., 1999; Brisson et al., 2010; Abb. 1). Auf diese veränderten Angebots-/Bedarfsrelationen reagieren die Märkte für landwirtschaftliche Produkte und Vorleistungen, insbesondere Dünger mit zum Teil drastischen Preissteigerungen.

Letztlich resultieren hieraus Zielkonflikte zum bisher verfolgten Ansatz durch Extensivierungsanreize zur Überwindung negativer Umwelteffekte zunehmender Spezialisierung beizutragen.

2. Ursachen und Konsequenzen der Spezialisierung

Ebenso wie in anderen Wirtschaftsbereichen, ist in der Pflanzenproduktion in den letzten Jahrzehnten der Grad der Spezialisierung der wirtschaftenden Betriebe stark gestiegen. Aus pflanzenbaulicher Sicht ist Spezialisierung im Wesentlichen als Verringerung der Zahl der im Betrieb und damit meist auch auf einer Fläche angebauten Kulturarten innerhalb einer Fruchtfolge anzusprechen (Abb. 2). Grund hierfür sind ökonomische Anreize, die in betriebswirtschaftlichen aber auch in rein pflanzenbaulichen Sachverhalten begründet sind. Eine Spezialisierung erhöht *per definitionem* die Flächenanteile einzelner Kulturen, wodurch sich in vielen Bereichen auf einzelbetrieblicher Ebene Kostendegressionen erreichen lassen. Gleiches gilt für die spezialisierte Tierproduktion, wobei hier weitere Agglomerationseffekte im vor- und nachgelagerten Bereich hinzukommen. Als wesentliche Triebkräfte zunehmender Spezialisierung sind daher zu identifizieren:

- Entkopplung von Tier- und Pflanzenproduktion
- Trennung von Futter- und Marktfruchtbau
- Spezialisierung innerhalb der Marktfruchtproduktion
- Reduktion der Fruchtfolge auf wenige Kulturen
- Energiepflanzenanbau

Verbunden mit der Spezialisierung ist daher meist auch eine Intensivierung der Produktionssysteme im Sinne von erhöhtem Einsatz externer Ressourcen. Durch zunehmende Spezialisierung und Intensivierung der pflanzenbaulichen Produktion kann es daher zu einer abnehmenden Ressourcennutzungseffizienz und damit zu unerwünschten Umweltbelastungen kommen.

Erhöhte Stickstoffsalden lassen sich zu großen Teilen auf die entkoppelten Nährstoffflüsse zwischen Tier- und Pflanzenproduktion zurückführen. Hohe Viehdichten führen zu hohen Überschüssen an organischen Düngemitteln, die häufig nur schlecht innerbetrieblich in der Pflanzenproduktion verwertet werden. Das Fehlen von Körner- und Futterleguminosen in durch die Entkopplung von Viehhaltung und Pflanzenproduktion bedingt auf der anderen Seite einen erhöhten

Bedarf an Zukauf von mineralischen Stickstoffdüngemitteln. Mit Zunahme des Getreide- und insbesondere des Weizenanteils in Marktfruchtbetrieben sinkt die N-Effizienz, da geringeren Erträgen und einer verminderten Ertragsstabilität meist höher notwendige N-Düngungsmengen gegenüberstehen (Sieling et al., 2005). Eine Auswertung von langjährigen N-Steigerungsversuchen am Standort Hohenschulen zeigt, dass in Marktfruchtbetrieben mit Raps-Fruchtfolgen die N-Bilanzsalden bei *ex post* ökonomisch optimierter Düngungshöhe nahe beim Grenzwert der DüV liegen und diese bei Ersatz der Wintergerste durch Stoppelweizen sogar übertreffen (Henke et al., 2007).

Der Anbau weniger Kulturpflanzen mit ähnlichen Eigenschaften fördert die Ausbreitung vieler kulturart- bzw. kulturgruppenspezifischer Schaderreger und Pathogene. Hierdurch nimmt der Regelungsbedarf durch chemischen Pflanzenschutz zu bzw. kommt teilweise bereits an seine Grenzen. Enge Fruchtfolgen und reduzierte Bodenbearbeitung sind wesentliche Voraussetzungen für die Entstehung von Herbizidresistenzen. Innerhalb kurzer Zeit hat dieses Problem – nachdem es bereits seit längerer Zeit in England für große Probleme sorgt – auch Deutschland erreicht (Wolber, 2010). Es ist seit langem bekannt, dass erhöhter Unkrautdruck bei reduzierter Bodenbearbeitung in Kombination mit einseitigen, wintergetreidelastigen Fruchtfolgen zu entsprechenden Problemen führen kann (Pallut, 2003). Als weiteres Beispiel der Konsequenzen zunehmender Spezialisierung kann das Problem neuer Schaderreger im Maisanbau identifiziert werden. Die starke Zunahme des Maisanbaus innerhalb weniger Jahre hat zusammen mit Änderungen des Klimas zur Förderung von bisher nicht problematischen Schaderregern wie Maiszünsler und Maiswurzelbohrer geführt.

Aus der Verringerung der Zahl der angebauten Kulturpflanzen resultiert nahezu zwangsläufig eine Abnahme der Biodiversität in der Agrarlandschaft, und es kommt zu einer Verringerung ihres ästhetischen und Erholungswertes. Ebenso ist zu erwarten, dass durch die Konzentration auf wenige Kulturen Ertragschwankungen gefördert werden.

Auf der anderen Seite ist aber davon auszugehen, dass bei Konzentration auf wenige Kulturen der Grad der Kenntnisse und Informationen beim Betriebsleiter bezogen auf eine einzelne Kultur steigt. Neben ökonomischen Vorteilen erwachsen hieraus häufig auch positive Umweltwirkungen, da durch verbesserte Information ein zielgenauerer Einsatz von Produktionsmitteln und damit eine höhere Effizienz ermöglicht wird. Der situations- und (teil-) flächenspezifische Einsatz

von Produktionsmitteln erfordert häufig ein hohes Maß an Spezialkenntnissen im biologischen und technischen Bereich, der von Einzelpersonen nur für wenige Kulturen erworben und aktuell gehalten werden kann.

Gleiche Sachverhalte lassen sich für den vorgelagerten Bereich identifizieren. Moderne Züchtungsverfahren und -programme sowie die Entwicklung neuer Wirkstoffe im Bereich des Pflanzenschutzes erfordern erhebliche Investitionen, die nur bei entsprechend hohen Einsatzflächen amortisiert werden können. Hierdurch erhöht sich zunehmend der Abstand der Ertragspotentiale wichtiger und weniger wichtiger Kulturen des Ackerbaus (Abb. 1). Durch zunehmende Produktionsintensität ließ sich in der Vergangenheit auch auf ertragsschwächeren Standorten häufig ein höherer Anteil dieses Ertragspotentials tatsächlich realisieren und der Anbau von Kulturen mit höherer Eignung für ertragsschwächere Standorte und extensivere Produktionsverfahren nahm ab (Abb. 2).

3. Lösungsansätze

Klaren Chancen einer spezialisierten Pflanzenproduktion stehen ebenso klar eklatante Problemfelder gegenüber. Für die Zukunft ist zu erwarten, dass der ökonomische Anreiz zur Spezialisierung und zur Intensivierung eher noch wachsen als abnehmen wird. Es gibt eine Reihe von pflanzenbaulichen und betriebsorganisatorischen Lösungsansätzen, die zu einer Lösung beitragen können. So ist durch eine häufig nur maßvolle Erweiterung der Fruchtfolgen bereits ausreichend eine erhebliche Reduktion fruchtfolgebedingter Probleme zu erreichen. Eigene Ergebnisse zeigen, dass die Integration von Mais in Rapsfruchtfolgen bzw. die Erweiterung von Bioenergiefruchtfolgen durch Getreide-GPS und Zwischenfrüchte ein erhebliches Entlastungspotential im Hinblick auf hohe N-Saldenüberschüsse und damit verbundene Probleme erreicht werden kann. Einseitige innerbetriebliche Anbauprogramme können durch Kooperationslösungen (Flächentausch) aufgelockert werden. Neben der Entwicklung solcher Lösungen durch pflanzenbauliche Forschung ist jedoch häufig auch der Wissenstransfer in die Praxis ein begrenzender Faktor für die Praxiseinführung. Oft werden jedoch auch Anreize notwendig sein, um von einem kurzfristigen, einzelbetrieblichen Optimum der Spezialisierung in der Pflanzenproduktion zu einem nachhaltigen volkswirtschaftlichen Optimum zu gelangen (Abb. 3).

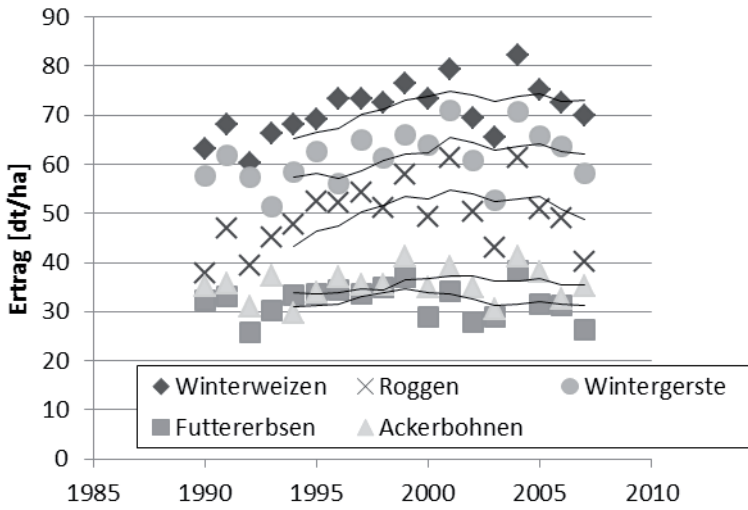


Abb. 1: Ertragsentwicklung wichtiger Ackerkulturen in Deutschland, Trendlinien stellen das gleitende 5-Jahresmittel dar. Daten: DESTATIS

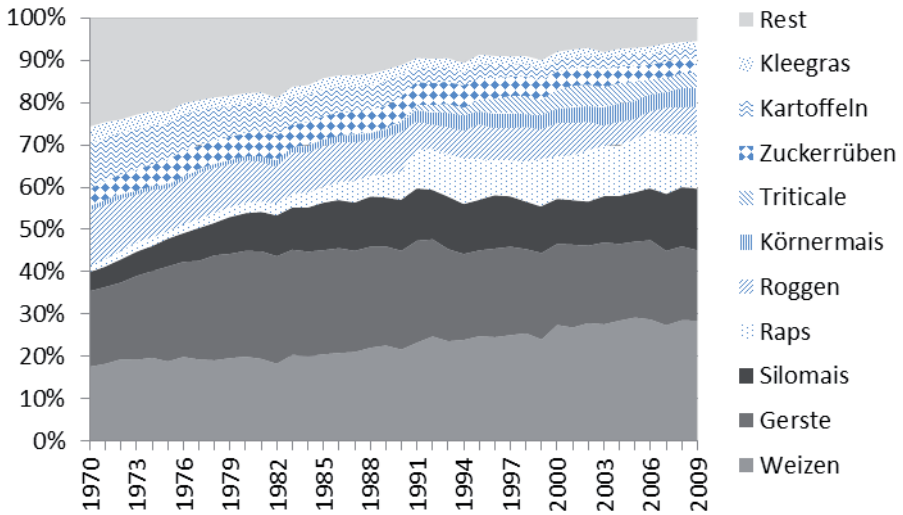


Abb. 2: Entwicklung der Anbauanteile wichtiger ackerbaulicher Kulturen in Deutschland. Daten: FAOSTAT

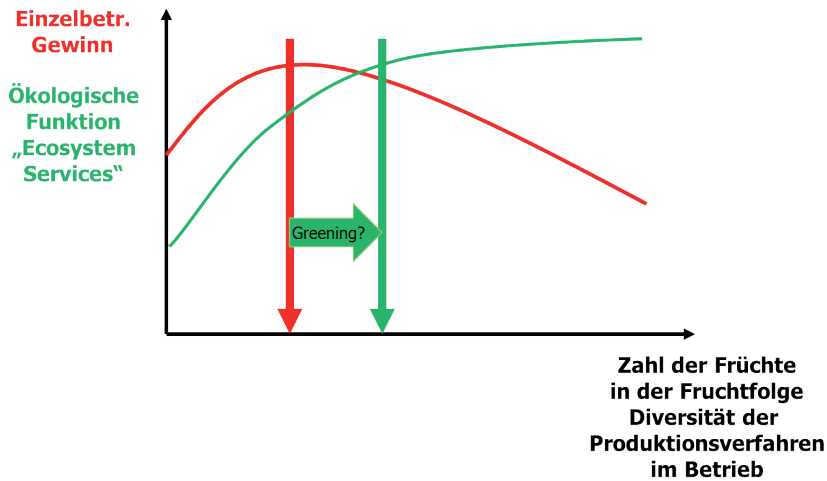


Abb. 3: Schematischer Zusammenhang zwischen der Diversität der Produktionsverfahren in einem landwirtschaftlichen Betrieb und seinem einzelbetrieblichen Gewinn sowie seinen ökologischen Funktionen

4. Literaturangaben

- Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F.-X., Huard, F., 2010: Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research* 119, 201-212.
- Cassman, K.G., 1999: Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96, 5952-5959.
- Henke, J., Breustedt, G., Sieling, K., Kage, H., 2007: Impact of uncertainty on the optimum nitrogen fertilisation rate and agronomic, ecological and economic factors in an oilseed rape based crop rotation. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 145 (05), 455-468.
- Sieling, K., Stahl, C., Winkelmann, C., Christen, O., 2005: Growth and yield of winter wheat in the first three years of a monoculture under varying N fertilization in NW Germany". *European Journal of Agronomy* 22, 71-84.
- Pallut, B., 2003: Grenzen des Systems? DLG-Mitteilungen 1/2003, 44.
- Wolber, D., 2010: Resistenzsituation in Norddeutschland (Herbst 2010). <http://phytomedizin.org/uploads/media/Wolber2.pdf>.

Spezialisierte Landwirtschaft – Risiko oder Chance für die Tierproduktion

T. Jungbluth

Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)

1. Einleitung

Die landwirtschaftliche Produktion ist, wie andere Wirtschaftszweige auch, gezwungen, die Stückkosten deutlich zu senken, um bei teilweise sinkenden Erzeugerpreisen und steigenden Betriebsmittelpreisen noch Gewinne zu erwirtschaften. Dies zwingt zu Rationalisierungsmaßnahmen – auch oder sogar besonders in der „Tierproduktion“. Aber gerade dort wird dies aus einer oftmals romantischen Sichtweise heraus bedauert. Tatsächlich ist aber auch bei hohem ökonomischem Druck allein schon aus rechtlicher Sicht dem Tier im Hinblick auf Tierschutz uneingeschränkt Rechnung zu tragen. Gleiches gilt für die Einhaltung von Umweltstandards. Für eine begrenzte Anzahl Betriebe bietet die Erzeugung von „Qualitätsprodukten“ Chancen. Für diese Betriebe ist Spezialisierung nicht aus Kostengründen wichtig, sondern wegen des Knowhow.

In der Einladung zum Fachforum Nutztiere der Deutschen Agrarforschungsallianz am 4. und 5. Oktober 2011 ist dieser Trend sehr gut zusammengefasst: „Die Entwicklung der modernen Nutztierhaltung wird in der deutschen Gesellschaft höchst kontrovers diskutiert. Die Kritik richtet sich u. a. gegen intensive Haltungformen, steigende Bestandsgrößen und Tierleistungen, prophylaktischen Medikamenteneinsatz sowie regionale Konzentrationen. Die Wirtschaft verweist darauf, dass sie im internationalen Wettbewerb steht, die Verbraucher preisorientiert einkaufen und eine Rückkehr zu traditionellen Produktionsmethoden nicht praktikabel sei.“

2. Wege zur Spezialisierung

Der Begriff „Spezialisieren“ wird im Duden definiert: „sich, seine Interessen innerhalb eines größeren Rahmens auf ein bestimmtes Gebiet konzentrieren“.

Überträgt man dies auf die Tierhaltung, dann folgt bei vorgegebener Arbeitskapazität aus der Spezialisierung zwingend auch ein Trend zu größeren Beständen. Andererseits führen ökonomische Zwänge, insbesondere im Hinblick auf Kostendegressionen auch zu größeren Beständen, sodass sich daraus die Spezialisierung ergibt. Insofern ist die Spezialisierung einmal Ursache, aber auch andererseits Wirkung von größeren Beständen. Es stellt sich somit die Frage: Haben wir eine andere Wahl als die zunehmende Spezialisierung? Wenn diese Frage mit Nein beantwortet wird, dann sind die Risiken abzuschätzen.

Im Folgenden soll auf zwei Aspekte der Spezialisierung und der damit einhergehenden größeren Bestände eingegangen werden:

- Degressionen bei Kosten und Arbeitszeit sichern das Einkommen.
- Moderne Produktionstechnik und Managementmethoden erfordern umfangreiches Know-How, welches nur durch die Spezialisierung auf bestimmte Betriebszweige erreicht und gehalten werden kann.

In modernen Tierhaltungen werden heute Leistungen erzielt, die vor wenigen Jahrzehnten noch unrealistisch erschienen (Tab. 1) die Züchtung trägt daran wesentlichen Anteil.

Tab. 1: Leistungskenndaten in der Milchviehhaltung und Schweinemast seit 1970 und geschätzte Entwicklung bis 2020 (BMELV 1975 bis 2010, verändert)

Produkt	Leistung	1970	1980	1990	2000	2010	2020
Kuhmilch	kg/(TP*a)	4406	5357	5726	7019	7867	9440
Schweinefleisch	kg/(TP*a)	189	199	210	245	253	275

Neben der Züchtung sind es die Rahmenbedingungen in den landwirtschaftlichen Betrieben, die sich auf die tatsächlich erbrachte Leistung auswirken. Die Qualifikation der Tierhalter und -betreuer nehmen hier wesentlichen Einfluss auf den Betriebserfolg.

Selbst in der Gruppe überdurchschnittlich erfolgreich wirtschaftender Betriebe werden sehr unterschiedliche Leistungen erzielt (Tab. 2). Demnach beträgt bei den Mastschweinen die Spanne der Tageszunahmen 80 g, was ca. 10 % entspricht. Bei den erzeugten Ferkeln je Sau und Jahr sind es mehr als drei Ferkel und damit mehr als 13 %. Im technischen Fortschritt ist ein Grund hierfür zu

sehen. Tendenziell steigen die Leistungen aber mit der Bestandsgröße.

Tab. 2: Leistungspotenziale in der Schweine- und Milchviehhaltung anhand Daten des Kalenderjahres 2006 (Ziron 2008, Lüpping 2004, BMELV 1970 bis 2010, verändert)

Kennzahlen	Einheit	Überdurchschnittlich gut wirtschaftende Betriebe		
		gute Betriebe	sehr gute Betriebe	Spitzenbetriebe
Schweinemast				
Mastplätze je Betrieb	Anzahl	2 183	3 062	3 720
Tägliche Zunahme	g	766	824	856
Futterbedarf je kg Zuwachs	kg	2,86	2,82	2,81
Ferkelerzeugung				
Sauen je Betrieb	Anzahl	392	534	784
Ferkelverluste bis zum Absetzen	%	13,3	12,9	12,1
Abgesetzte Ferkel Je Sau und Jahr	St	24,3	26,6	27,6
Milchviehalter				
Kühe je Betrieb	Anzahl	107	138	147
Jahresleistung je Kuh (Milch, ECM)	kg	8 136	8 904	9 533

Der Fortschritt in Züchtung und Haltung wird zu weiter steigenden Leistungen führen. Leistungen heutiger Spitzenbetriebe werden in Zukunft dem allgemeinen Niveau entsprechen.

Der effiziente Einsatz von Arbeitszeit ist für den betriebswirtschaftlichen Erfolg Grundvoraussetzung. 1970 wurden 2,91 Arbeitsstunden für einen Schweinemastplatz benötigt (Tab. 3). Heute sind es im Schnitt noch 0,85 Arbeitsstunden (29 %). Bis 2020 sind weitere Arbeitszeiteinsparungen zu erwarten.

Tab.3: Arbeitszeitbedarf in der Milchviehhaltung, Ferkelerzeugung und Schweinemast seit 1970 und geschätzte Entwicklung bis 2020 (KTBL 1971 bis 2010, Daten beruhen auf Modellbetrieben des KTBL)

Betriebszweig	Einheit	1970	1980	1990	2000	2010	2020
Milchviehhaltung	AKh/(TP*a)	111	77	44	31	22	20
	AKh/(1000 kg Milch)	25,24	14,40	7,80	4,50	2,80	2,20
Ferkelerzeugung	AKh/(prod. Sau*a)	40	30	22	16	14	12
	AKh/(Ferkel*a)	2,50	1,88	1,24	0,81	0,64	0,47
Schweinemast	AKh/(TP*a)	2,91	0,95	0,97	0,93	0,85	0,74
	AKh/(100 kg Zuwachs)	1,54	0,48	0,46	0,38	0,34	0,27

Arbeitszeiteinsparung und gleichzeitig steigende Leistungen führen zu überraschend deutlichen Effekten bei der Betrachtung der Arbeitszeit je produzierte Produkteinheit: In der Schweinemast werden momentan für die Erzeugung von 100 kg Zuwachs nur 22 % des Arbeitszeitaufwandes von 1970 eingesetzt, 2020 werden es deutlich weniger als 18 % sein. Grund für diese Entwicklungen sind u.a. neue Haltungsverfahren und Techniken. Technischer Fortschritt ist in der Nutztierhaltung vor allem durch Automatisierung, Rationalisierung und Synergieeffekte gekennzeichnet. Die frei werdenden Arbeitskapazitäten werden in Wachstum investiert. Konnte sich ein Landwirt 1970 um ca. 600 Mastschweine kümmern, sind es heute gut dreimal und in zehn Jahren vermutlich viermal so

viele (Tab. 4). Technischer Fortschritt steht nicht zuletzt deshalb mit Strukturwandel in engem Zusammenhang.

Bezogen auf die Schweinemast zeigt die Tabelle 5, dass die Einzelkosten je kg Schlachtgewicht mit wachsenden Beständen sinken. Dabei wird nur der Degressionseffekt von Arbeitszeitbedarf und Investitionsbedarf ausgewiesen. Alle anderen Parameter wie Leistung, Futterkosten, Bestandsergänzung sind identisch gehalten (Datenbasis 2010, Schlachtschweinepreis 1,32 €/kg Schlachtgewicht).

Tab. 4: Arbeitsauslastung in der Milchviehhaltung, Ferkelerzeugung und Schweinemast seit 1970 auf der Basis von ca. 1 700 AKh je Jahr und geschätzte Entwicklung bis 2020 (die Daten beruhen auf Modellbetrieben des KTBL)

Betriebszweig	Einheit	1970	1980	1990	2000	2010	2020
Milchviehhaltung	Tiere/ AK	16	23	39	56	79	86
Ferkelerzeugung		43	57	77	106	121	142
Schweinemast		601	1839	1801	1885	2059	2355

Tab. 5: Degressionseffekte in der Schweinemast (KTBL 2010)

Kennwert	Geschlossener Stall, vollperforierter Boden Breiautomaten		
	10 Tiere je Bucht	40 Tiere je Bucht	
	Tierplätze (TP)		
	470	960	1 920
Arbeitszeitbedarf	AKh/(TP*a)		
Insgesamt	0,96	0,76	0,72
Investitionsbedarf	€/ (TP*a)		
Insgesamt	478	406	367
Kosten	€/ (TP*a)		
Arbeits erledigungskosten	14,57	11,67	11,02
Gebäudekosten	44,55	35,91	32,8
Summe	59,12	47,58	43,82
Arbeitsproduktivität	€/AKh		
Deckungsbeitrag	34,53	43,24	45,79
Stückkosten	€/kg Schlachtgewicht		
Einzelkosten	1,42	1,38	1,36

Fazit: Größeneffekte müssen genutzt werden, um wirtschaftlich zu arbeiten. Sie alleine reichen nicht, auch die Leistungsparameter (tägliche Zunahmen und Futtermittelverwertung) sowie Einkaufs- und Verkaufspreise müssen stimmen. Spezialisierte Betriebe haben hier in der Regel weitere Vorteile.

Darüber hinaus erfordern moderne Produktionstechnik und Managementmethoden ein so umfangreiches Know-How, dass es für Tierhalter zunehmend schwierig wird, die notwendige Qualifikation für mehrere Betriebszweige zu erreichen, bzw. zu erhalten. Herausragende Beispiele dafür sind die Einführung automatischer Melksysteme mit ihren nachgewiesenen Effekten auf den Arbeitszeitbedarf. Weitere Automatisierungsschritte werden die Reinigung, Entmistung und besonders die automatische Fütterung bei Milchvieh betreffen. In der Mastschweinehaltung ist die Einführung der Großgruppenhaltung mit Sortierschleusen einer der wichtigen Trends (Fritzsche et al., 2011; Achilles et al., 2011). Darüber hinaus werden zunehmend Sensoren und Techniken zur Einzel-tiererkennung eingesetzt.

3. Herausforderungen für die spezialisierte Nutztierhaltung

Im Kontext der öffentlichen Diskussion stellen sich die wesentlichen Herausforderungen wie folgt dar:

- Wirtschaftlichkeit,
- Tiergerechtigkeit,
- Umweltwirkung, ländlicher Raum
- Biosicherheit, Tierhygiene,
- Soziale Auswirkungen,
- Verbraucherakzeptanz.

Die Bestandsgröße oder der Grad der Spezialisierung muss keine Auswirkung haben, was allerdings auch nicht verallgemeinerbar ist. An dieser Stelle soll nicht auf die gesellschaftliche Fragestellung eingegangen werden. Zur Wirtschaftlichkeit wird auf den Beitrag von Hoff verwiesen.

Tiergerechtigkeit: Die Einhaltung der gesetzlichen Standards ist unabhängig vom Grad der Spezialisierung bzw. der Bestandsgröße. Über die gesetzlichen Mindeststandards hinausgehende Anforderungen (z. B. aus freiwilligen Vereinbarungen oder Labelproduktion) können in größeren spezialisierten Betrieben ggf. besser eingehalten werden.

Umweltwirkung, ländlicher Raum: Bei Einhaltung aller gesetzlichen Vorschriften dürfen auch von großen Betrieben keine vermeidbaren negativen Umweltwirkungen ausgehen. Bei der Standortplanung sind regionale Unterschiede zu beachten. Es gibt in Deutschland Regionen in die - größenabhängig - kein weiterer Tierhaltungsbetrieb passt, während in anderen Regionen ausreichend Fläche, auch für Betriebe mit sehr hohen Tierzahlen, vorhanden ist. Die Steuerungsinstrumente für die Standortwahl gibt es; sie müssen nur konsequent und richtig angewendet werden. Zusätzliche technische Maßnahmen zur Verminderung der Umweltwirkung, wie z. B. die Abluftreinigung, sind mit hohen Kosten verbunden und damit ist für deren Einsatz eine betriebsindividuelle Mindestbestandsgröße Voraussetzung.

Biosicherheit und Tierhygiene: Es wird immer wieder behauptet, dass mit den Tierbeständen der Infektionsdruck wächst und die Verfrachtung von Keimen mit der Abluft zu einem größeren Risiko wird. Mittlerweile wird vom gerichtlichen Vorgehen von Landwirten berichtet, die neue (meist größere) Stallanlagen in ihrer eigenen Umgebung verhindern wollen. Für eine abschließende Aussage zur Keimausbreitung ist die Datenlage noch sehr knapp.

Soziale Auswirkungen: Häufig ist Spezialisierung als „Ein-Mann-Unternehmen“ kaum mehr möglich. Wenn doch: wie lassen sich Urlaub und Freizeitanpruch realisieren. Wenn nicht: Wie lassen sich qualifizierte Kräfte gewinnen und halten. Die neue Generation der Landwirte wird wieder Arbeitgeber und Vorgesetzter, der Ausstieg aus dem Idealbild des traditionellen „bäuerlichen Familienbetriebes“ ist vorgezeichnet.

Verbraucherakzeptanz: Die ambivalente Einstellung der meisten Verbraucher zu Lebensmittelqualität und Lebensmittelpreisen ist bekannt. Es bleibt zu hoffen, dass über freiwillige Tierschutzlabel auf einzelbetrieblicher Ebene die Zahlungsbereitschaft für eine höhere Prozessqualität in der Tierhaltung angeregt wird.

4. Fazit

Zur Spezialisierung in der Nutztierhaltung gibt es unter den derzeitigen Rahmenbedingungen kaum eine Alternative. Der Grad der Spezialisierung bzw. die Bestandsgröße sind per se keine Qualitätskriterien für Produkte und Prozesse. Die Risiken für die Betriebe nehmen zu (Marktabhängigkeit, Bedeutung von Fremd-AK). Der Gegentrend „Diversifizierung“ muss der Spezialisierung auf

Betriebsebene nicht entgegenstehen – z.B. über Kooperationen oder wenn über Produktveredelung die Wertschöpfung erhöht wird. Die Risiken sind überwiegend beherrschbar und die Chancen überwiegen die Risiken.

5. Literaturangaben

- Achilles, W., Cielejewski, A., Ellersiek, H.-H., Fritzsche, S., Haidn, B., Hessel, E. F., Mauer, J., Scholz, T., Spandau, P., 2011: Mastschweinehaltung mit Sortierschleuse, Verfahren - Kosten - Bewertung. KTBL-Heft 94.
- BMELV - Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 1970 bis 2010: Statistische Jahrbücher über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- Fritzsche, S., Spandau, P., Mauer, J., 2011: Mit der Sortierschleuse die Erlöse in der Mastschweinehaltung steigern, Landtechnik 66, 267-271.
- Lüpping, W., 2004: Auch in Spitzenbetrieben gegenwärtig kaum die Vollkosten gedeckt. In: Milch rentabel produzieren. DLG-Trendreport Spitzenbetriebe. Band 1. Frankfurt am Main. 17-36.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft), 2010: Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2010/11, Darmstadt, 673-674.
- Ziron, M., 2008: Ergebnisse Schweinemast. In: Forum Spitzenbetriebe Schwein - Ferkelerzeugung und Schweinemast. Tagungsband. 7. Konferenz DLG Forum Spitzenbetriebe Schwein. 12-13.02.2008. Göttingen.
- Ziron, M. (2008): Ergebnisse Ferkelerzeugung. In: Forum Spitzenbetriebe Schwein - Ferkelerzeugung und Schweinemast. Tagungsband. 7. Konferenz DLG Forum Spitzenbetriebe Schwein. 12-13.02.2008. Göttingen.

Spezialisierte Landwirtschaft – Risiken und Chancen aus Sicht der Ökonomie

K. Hoff

Fachhochschule Bingen

1. Definitionen und Problemstellung

Naturwissenschaftler und Produktionstechniker definieren Risiko als einen Verlust, der mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eintritt. Die Chance wird als das Gegenteil eines Risikos verstanden. Das Rahmenthema fordert nach dieser Definition zur Beschreibung der spezialisierungsbedingten positiven und negativen Abweichung von einem Erwartungswert auf.

Die Beschreibung und Darstellung von Verteilungen stellen kein ökonomisches Problem dar. In den Wirtschaftswissenschaften wird Risiko in der Regel als die mit einer Wahrscheinlichkeit verbundene Möglichkeit des Verluste oder Gewinns bezeichnet, operationalisiert durch die Varianz. Chance ist die Aussicht auf einen Gewinn, also ein Erwartungswert. Das ökonomische Knappheitsproblem besteht darin, eine nutzenmaximale Chancen Risiko Kombination zu wählen, aus der sich dann als Konsequenz der Spezialisierungsgrad in der Landwirtschaft ergibt.

2. Empirische Analyse der ökonomischen Chancen der Spezialisierung

Mögliche Risiken der Spezialisierung wurden in den Vorreferaten ausführlich dargestellt. Aus ökonomischer Sicht fehlt eine kurze Beschreibung einzelbetrieblicher und regionaler Chancen der Spezialisierung der Landwirtschaft.

Chance ist für den Landwirt die Aussicht auf Gewinn. Voraussetzung dafür sind mindestens kostendeckende Preise. Auf Agrarmärkten gilt in der Regel das Prinzip Grenzkosten gleich Preis. Gewinn kann ein Landwirt nur erzielen, wenn die Stückkosten niedriger sind, als seine Grenzkosten. Das Verhältnis totale Stückkosten zu Grenzkosten lässt sich über die Skalenelastizität messen. Für die deutsche Landwirtschaft, einschließlich der ostdeutschen Bundesländer, aber ohne die Kapitalgesellschaften, ergibt sich folgendes Bild (Hoff, 2006):

1. Die Skalanelastizitäten liegen in der aus den Agrarberichtsdaten gebildeten Stichprobe immer über eins, Kostendeckung wurde also alleine über den Markt nicht erreicht.
2. Mit zunehmender Betriebsgröße - damit einher geht in der Regel auch eine zunehmende Spezialisierung - sinkt die Skalanelastizität. Größenwachstum und damit verbundene Spezialisierung sind für eine Landwirtschaft, die im internationalen Wettbewerb steht, zwingend. Dieser Anpassungsdruck ist unabhängig von der Betriebsform.
3. Besonders ausgeprägt ist der Drang zum Wachstum und zur Spezialisierung bei Betrieben mit mittlerer Einkommenskapazität und auf guten Standorten. Das sind aber gerade die landwirtschaftlichen Intensivzonen und Betriebe, die umweltpolitisch in Bezug auf die Spezialisierung die größten Probleme bereiten.

Die Chance der Spezialisierung hat auch eine regionale Dimension. Regionale Spezialisierung schafft den Betrieben den notwendigen Rahmen für eine erfolgreiche einzelbetriebliche Spezialisierung. Für die Wettbewerbsfähigkeit einer Agrarregion ist das Zusammenspiel mehrerer Faktoren erforderlich (Brill, 1996):

1. Der regionale Konzentrations- und Spezialisierungsgrad: Dieser Spezialisierungsgrad führt zu einer Wissensakkumulation in der Landwirtschaft, der Beratung, der Forschung und Entwicklung, die hohe Wertschöpfung schafft.
2. Eine leistungsfähige Betriebsgrößenstruktur in der Rohstoffproduktion und Vermarktung.
3. Eine leistungsfähige Vorleistungsindustrie, die den state of the art unmittelbar in die Praxis transferieren kann.
4. Die umweltpolitische Belastbarkeit einer Region: Dieser Faktor wirkt begrenzend auf Wettbewerbsfähigkeit einer Region. Wichtig für die regionale Entwicklung ist, dass diese Restriktionen ex ante erkannt und gesetzt werden. Sonst kommt es zu gravierenden Fehlentwicklungen und zur massiven Entwertung von, in der Vergangenheit getätigten, Investitionen.

3. Normative Analyse der einzelbetrieblich optimalen Chancen Risiko Kombination

In der Landwirtschaft sind extensive Produktionsverfahren nicht nur mit geringeren Chancen, sondern auch mit geringeren Risiken als intensive Verfahren

verbunden. Bei beliebiger Kombinierbarkeit extensiver und intensiver Verfahren kann das Risiko einer Verfahrenskombination aufgrund des Varianzadditionssatzes geringer sein, als bei Anwendung des extensiven Verfahrens. Diversifikation trägt dann zur Risikoreduktion bei. Besteht aber eine hohe, positive Korrelation zwischen den Verfahren löst sich dieser Diversifikationseffekt auf. Zudem hat Markowitz (1952) gezeigt, dass ein nutzenmaximierender Entscheider bei Existenz einer ordinalen Risikonutzenfunktion die Verfahrenskombination wählt, die er in Bezug auf Chancen und Risiken gegenüber anderen Kombinationen präferiert. Dies muss nicht zwangsläufig die Verfahrenskombination mit minimalem Risiko sein. Als Konsequenz ergibt sich aus der Portfoliotheorie von Markowitz (1951), dass Chancen und Risiken der Landwirtschaft nicht eine Folge eines gewählten Spezialisierungsgrades sind, sondern dass umgekehrt der Spezialisierungsgrad die Konsequenz einer nutzenmaximierend gewählten Chancen Risiko Entscheidung ist.

4. Normative Analyse der gesellschaftlich optimalen Chancen Risiko Kombination

Das Entscheidungsmodell von Markowitz (1952) zur nutzenmaximalen Wahl einer optimalen Chancen Risiko Kombination und des daraus resultierenden Spezialisierungsgrades lässt sich prinzipiell auf gesellschaftliche Ebene übertragen. Dabei ergeben sich jedoch drei Probleme:

1. Nach Schumpeter (1911), strebt ein Unternehmer durch ständige Innovation zu einer monopolartigen Alleinstellung. Der Wettbewerb zwingt Unternehmer auch zur Ausschöpfung von tatsächlichen oder vermeintlichen Grauzonen, rechtlich möglicherweise zulässig, gesellschaftlich nicht erwünscht. Negative interne Effekte werden externalisiert. Zur Internalisierung dieser negativen Effekte stehen das Haftungsrecht, handelbare Zertifikate, die Pigou Steuer, ordnungspolitische Maßnahmen oder Anreizsysteme über Subventionen zur Verfügung (Endres, 2007).
2. Die Nutzenfunktion hat aus Sicht der Gesellschaft, wahrscheinlich einen anderen, risikoaverseren Verlauf. In Kombination mit einer Internalisierungsstrategie kann sich hieraus ein gesellschaftlich optimaler Spezialisierungsgrad ergeben, der gegenüber dem einzelbetrieblich optimalen Grad zunimmt. Als Beispiel sei die Diskussion um die Atomenergie genannt. Der

Ausstieg aus dieser Energieform hat zwangsläufig eine zunehmende Spezialisierung der Landwirtschaft zugunsten erneuerbarer Energien zur Folge.

3. Individuelle Präferenzen lassen sich bei Berücksichtigung naheliegender, ethischer Randbedingungen häufig nicht zu einer widerspruchsfreien, gesellschaftlichen Präferenzfunktion aggregieren (Arrow, 1963). Die Konsequenzen dieses Unmöglichkeitstheorems werden am Spezialfall des Condorcet (1785) Paradoxon erläutert. Ein politisches Gremium aus drei Personen entscheidet über den künftigen Spezialisierungsgrad der Landwirtschaft: Maria ist besonders fachkompetent, Karl machthungrig und Otto maximiert den möglichen Grad der Inkompetenz. Der / die Vorsitzende muss von dem Gremium gewählt werden. Mit dem Vorsitz sind Privilegien verbunden. Folgendes Wahlverfahren wird vereinbart. Der Kandidat, der am besten für den Vorsitz geeignet ist, erhält 3 Punkte, der zweitbeste 2 Punkte, der ungeeignetste 1 Punkt. Wenn sich alle rational verhalten, ist das Wahlergebnis ein Erstbestes, Maria wird Vorsitzende. Strategisches Wahlverhalten kann bedeuten, dass jeder sich selber 3 Punkte gibt, dem gefährlichsten Wettbewerber aber nur 1 Punkt. Otto erhält dann den Vorsitz und entscheidet über die Arbeitsrichtung des Gremiums. Die erzielte Lösung ist die Drittbeste.

5. Normative Bewertung diskutierter Lösungsansätze

Als mögliche Strategie zur Lösung der in Kap. 3 genannten Problembereiche wird im Rahmen der anstehenden EU Agrarreform eine verstärkte Förderung von Umweltleistungen diskutiert. Dieser Ansatz ist nicht nachhaltig:

1. Die staatliche Finanzierung subventionierter Umweltleistungen muss steuerlich gegenfinanziert werden. Die damit verbundene Erhebung von Steuern kostet nach den vorliegenden Literaturangaben wahrscheinlich ca. 33 Cent / Euro Subvention (Hoff, 2007). Hieraus folgt im Umkehrschluss, dass die subventionierte Umweltleistung einen gesellschaftlichen Gegenwert von mehr als 1,33 € erzeugen muss. Aufgrund des Gesetzes vom abnehmenden Ertragszuwachs bedeutet dies, dass die Umweltleistungen auf einem relativ niedrigen Niveau bleiben müssen, wenn entsprechende Grenzerträge erwartet werden. Günstiger wäre zumindest zu Beginn eine Mengenpolitik mit Auflagen und entsprechenden Kontrollmechanismen. Ein solcher Politikwechsel ist bei dem derzeitigen Paradigma der Unschäd-

lichkeit der steuerlichen Gegenfinanzierung von Umweltmaßnahmen eher unwahrscheinlich.

2. Die steuerliche Finanzierung von Umweltleistungen beinhaltet erhebliche Finanzierungsrisiken. Die Etablierung einer Transferunion innerhalb der EU erscheint langfristig als denkbar. Die damit verbundenen Haushaltsrisiken werden den Spielraum für Subventionierung von Umweltleistungen stark einschränken.

6. Wirtschaftshistorische Erfahrungen

Upton Sinclair (1905) beschreibt in seiner Sozialkritik „Der Dschungel“ die katastrophalen Arbeits- und Hygienebedingungen in der Schlachthausindustrie von Chicago zu Beginn des 20. Jh.. Er skandalisierte bereits realisierte Risiken einer hoch spezialisierten und fehlgeleiteten Land- und Ernährungswirtschaft. Seine Publikation ist wirtschaftshistorisch in mehrfacher Hinsicht lehrreich:

1. Risiken der Spezialisierung treten gehäuft auf, wenn technologischer Wandel in Neuland führt. Die Schlachthäuser von Chicago waren die erste Branche, die das Fließband und die damit verbundene Spezialisierung konsequent eingeführt haben. Bei technologischem Wandel ist ex ante Wissen über Chancen und Risiken notwendig. Das bedingt Glaubwürdigkeit auf Seiten der Wissenschaft. Nur dann kann die Gesellschaft einen institutionellen Rahmen setzen, der zu einem gesellschaftlich akzeptablen Ergebnis führt.
2. Risiken der Spezialisierung der Landwirtschaft werden gesellschaftlich nur wahrgenommen, wenn nicht andere, kurzfristig drängendere Probleme die Aufmerksamkeit des Souveräns beanspruchen. Die Veröffentlichung von Sinclair erfolgte in einer Phase relativer Prosperität der amerikanischen Gesellschaft und einer allgemeinen politischen Diskussion über den gesellschaftlichen Schaden von Trust's. Die Zustände in der Schlachtindustrie waren aber seit dem amerikanischen Bürgerkrieg evident. Hätte Sinclair früher publiziert, wäre ihm keine öffentliche Aufmerksamkeit zuteil geworden, denn die US amerikanische Gesellschaft war mit anderen, drängenderen Problemen beschäftigt.
3. Die zeitliche Präferenzrate (Zins), welche bei der kosten-nutzen-analytischen Bewertung umweltpolitischer Maßnahmen verwendet wird, ist mögli-

cherweise zu gering. Höhere, zeitliche Präferenzraten haben zur Folge, dass Zukunftsrisiken gegenüber heute möglichen Chancen geringer gewichtet werden. Die kurzfristige Reaktion der Öffentlichkeit auf bekannte Zukunftsrisiken kann so zum Teil erklärt werden. Dieser Punkt hat weitreichende Konsequenzen für die ökonomische Bewertung von langfristigen Risiken der Spezialisierung und der daraus resultierenden politischen Entscheidung. Zukunftsrisiken werden von der Fachwelt im Vergleich zur Gesellschaft in Bezug auf den heutigen Entscheidungsbedarf möglicherweise überschätzt.

4. Eingetretene und öffentlich bekannt gewordene Risiken führen auf Agrarmärkten, wenn sie nachfragebestimmend sind, nicht nur zu kurzfristigen, sondern zu nachhaltigen Nachfrageeinbrüchen (Brown, Schrader 1990; Hoff, Claes, 1997). Damit verbunden sind Vermögens- und Einkommensverluste. Risiken der Spezialisierung müssen ex ante erkannt werden, damit solche Verluste nicht entstehen.

7. Schlussfolgerung

Einzelbetrieblich und gesellschaftlich nutzenmaximale Entscheidungen erfordern ex ante zuverlässige und glaubwürdige Informationen über das Risiko und die Chance der Spezialisierung der Landwirtschaft. Ex post Informationen sind zwingend, wenn negative Risiken eingetreten sind.

Das Problem der Externalisierung negativer interner Effekte ist über das aus der umweltökonomischen Literatur bekannte Instrumentarium lösbar (Endres, 2007). Dabei sollten Subventionsansätze vermieden werden, da sich hieraus negative Allokationseffekte über die damit verbundene, wahrscheinliche Preisverzerrung und die steuerliche Gegenfinanzierung ergeben. Auch entfällt das Haushaltsrisiko.

Folgende Problembereiche sind ungelöst: (1) Der gesellschaftliche Diskontsatz zur Bewertung von Zukunftsrisiken wird möglicherweise unterschätzt. (2) Erstbeste Lösungen sind unrealistisch, zweit- oder drittbeste Lösungen wahrscheinlicher. (3) Die kommunizierten Risiken müssen glaubhaft sein, denn der Souverän kann die von Wissenschaftlern thematisierten Risiken intellektuell in der Regel nicht nachvollziehen. (4) Erhebliche Probleme bereiten die Wahl der Kommunikationsform und des -zeitpunktes von Chancen und Risiken. Vielleicht

müssen gelegentlich Risiken in kleinem Maßstab erst sichtbar werden, damit die Gesellschaft die Folgen Ihrer Handlung besser versteht.

8. Literaturangaben

Der verwendete Foliensatz ist unter der Adresse <http://www.fh-bingen.de/studiengaenge/bachelor/agrarwirtschaft/lehrende/hoff-klaus/prof-dr-klaus-hoff/vortragsfolien.html> hinterlegt.

- Arrow, K. J., 1963: Social Choice and Individual Values. 2. Aufl., New Haven CT.
- Brill, M. 1996: Der Einfluss der vertikalen Integration auf die regionale Wettbewerbsstellung der Schlachtschweineproduktion und -vermarktung. Diss., Bonn 1996.
- Brown, D. J.; Schrader, L. F., 1990: Cholesterol Information and Shell Egg Consumption. American Journal of Agricultural Economics, 22. Jg., 548-555.
- Condorcet, J.-A.-N. Marquis de, 1785: Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix. Paris.
- Endres, A., 2007: Umweltökonomie. 3. überarbeitete Aufl., Stuttgart.
- Hoff, K.; Claes, R., 1997: Der Einfluss von Skandalen und Gemeinschaftswerbung auf die Nachfrage nach Rindfleisch - eine ökonometrische Analyse. Agrarwirtschaft, 46. Jg., 332-344.
- Hoff, K., 2006: Die Bestimmungsgründe der Produktions- und Skalanelastizitäten in der deutschen Landwirtschaft. Arbeitsbericht. Bingen, 2006.
- Hoff, K., 2007: Effiziente Transferpolitik – Marktorientierte Preis- und Mengenpolitik auf Agrarmärkten. DOI 10.2370/259_258. Aachen.
- Markowitz, H., 1952: Portfolio selection. The Journal of Finance, Vol. 7, No. 1, 77-91.
- Schumpeter, J., 1911: Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. Berlin; Neuauflage hrsgg. von Röpke, J.; Stiller, O., Berlin 2006
- Sinclair, U., 1905: The Jungle. Reprint, New York 2008.

Spezialisierung oder Diversifizierung – Markt und Unternehmensentwicklung in einer Intensivregion

A. Hortmann-Scholten

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

1. Überblick

Die Land- und Ernährungswirtschaft ist im Bundesland Niedersachsen nach der Automobilindustrie der zweitwichtigste Wirtschaftszweig. In einigen Regionen wie z. B. dem Weser-Ems-Raum oder dem Nordosten Niedersachsens steht sie im Branchenvergleich sogar an der Spitze. In keinem anderen Bundesland erzielt die Landwirtschaft eine so hohe Brutto-Wertschöpfung wie in Niedersachsen. Hohe Effizienz und große Intensität sind dabei die wichtigsten Markenzeichen der niedersächsischen Agrarproduktion. Auf der anderen Seite scheint die gesellschaftliche Akzeptanz intensiv wirtschaftender Großbetriebe, insbesondere in der Tierhaltung, deutlich abzunehmen.

Zurzeit ist es so, dass das Agrarland Niedersachsen etwa 15,4 % der landwirtschaftlichen Flächen der Bundesrepublik Deutschland bewirtschaftet und 20 % der Milch- und Rindfleischproduktion innehält. Im Bereich der Veredlung sind die prozentualen Anteile noch höher. So finden beispielsweise zurzeit rund 1/3 der bundesdeutschen Schweine- und Legehennenhaltung in Niedersachsen statt. Knapp jede zweite in Deutschland erzeugte Pute wird insbesondere in den westlichen Landesteilen produziert. Am stärksten ist in den letzten Jahren die Hähnchenfleischerzeugung gesteigert worden. Mittlerweile werden knapp 60 % der deutschen Masthähnchenproduktion in Niedersachsen durchgeführt.

Aber auch im Bereich der pflanzlichen Erzeugung sind gewisse Schwerpunktsetzungen zu sehen, so hat beispielsweise die Kartoffelwirtschaft eine überragende Bedeutung in der Lüneburger Heide und den umliegenden Regionen. Weiterhin spielt die Speise- und Veredlungskartoffelproduktion in Südoldenburg und im Landkreis Osnabrück eine wichtige Rolle. Im Emsland und in der Grafschaft Bentheim hat sich spezialisierte Stärkekartoffelerzeugung etabliert. Vergleicht man die Entwicklung in Niedersachsen mit anderen Regionen in der Bundesrepublik Deutschland, so erkennt man, dass sich regional und sektoral die Produktions- und Erzeugungsregionen konzentrieren. Dabei spielen Standortvorteile und am

Beispiel Niedersachsen die Vorteile im Hinblick auf Infrastruktur (Autobahnen, Wasserwege, (Hochsee-)Häfen) und Logistik zunehmend eine bedeutende Rolle. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die regionale Verteilung der einzelnen Produktionsschwerpunkte.

Diese Standortvorteile und die damit einhergehende Spezialisierung ermöglichten bereits in der Vergangenheit ein zielorientiertes Wachstum, dass mit immer weiter verbesserten Methoden und Arbeitsgrundlagen (Züchtungsfortschritt, Produktionssteigerung durch verbesserten Einsatz von Technik und Produktionsfaktoren wie Dünge- oder Futtermittel usw.) die Erträge in den verschiedensten Produktionsbereichen wachsen ließen.

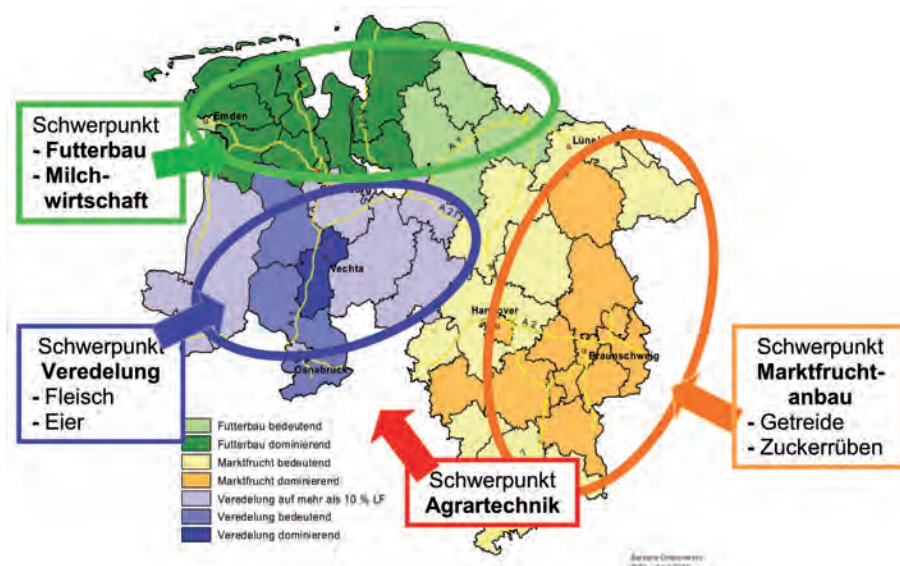


Abb. 1: Regionale Schwerpunkte in der Agrar- und Ernährungswirtschaft in Niedersachsen

Als prägnantes Beispiel sei hier die Steigerung der Milchproduktion im Vergleich zu den 50er Jahren genannt. Betrug die durchschnittliche Milchleistung um 1950 etwa 2 480 kg/Kuh, hat sie sich innerhalb von fünf Jahrzehnten auf durchschnittlich 8 630 kg/Kuh mehr als verdreifacht. Diese Leistungsfortschritte wären ohne eine entsprechende betriebliche Spezialisierung kaum erreichbar gewesen. In Tabelle 1 sind Produkte verschiedener Segmente mit den entsprechenden Vergleichswerten aufgeführt.

Tab.1: Landwirtschaft im Jahrhundertvergleich – Leistungsentwicklung (Schätzgrößen der LWKNDS)

Produkt	Einheit	um 1900	um 1950*	2010
Weizen	dt/ha	18,5	27,3	73,6
Kartoffeln	dt/ha	129,8	224,1	395,3
Zuckerrübe	dt/ha	276,8	345,5	581,0
Milchleistung	kg/Kuh	2.165	2.480	8.630
Legeleistung	Eier/Henne		120	292
Durchschnittliches Schlachtgewicht				
Rinder	kg	248	254	355
Schweine	kg	91	100	96

* Angaben beziehen sich auf das frühere Bundesgebiet (Quelle: DBV Situationsbericht, LWK NDS, FB 3.1)

Aufgrund der Spezialisierung hat die niedersächsische Landwirtschaft Selbstversorgungsgrade erreicht, die weit über die Versorgung der niedersächsischen Bevölkerung hinausgehen. So liegt der regionale Selbstversorgungsgrad für Speisekartoffeln beispielsweise weit über 500 %. Im Hinblick auf die Zuckerproduktion lassen sich regionale Selbstversorgungsgrade von über 300 % errechnen. Auch im Bereich der Veredelungsprodukte sowie bei der Milch sind beachtliche Selbstversorgungsgrade zu beobachten. Aus dieser Überversorgung ergibt sich seit Jahrzehnten die zwingende Notwendigkeit zum Agrarexport in andere EU-Mitgliedsstaaten bzw. in Drittländer. Von daher sind die Betriebe seit jeher einem immensen Kosten- und Leistungsdruck auch im Hinblick auf die Qualitätssicherung ausgesetzt.

2. Welche Vor- und Nachteile bietet die Spezialisierung?

Durch die verringerte Anzahl der Produktionsverfahren und Betriebszweigen sinkt automatisch die Anzahl an Produkten, die ein (hoch-) spezialisierter Betrieb anbietet. Als Zielsetzung seien hier das Erreichen der Kostenführerschaft und die Sicherung von Marktanteilen genannt. Die Vorteile einer solchen strategischen Entscheidung liegen klar in der Aufgabe unrentabler Betriebszweige, in arbeitswirtschaftlichen Vorteilen, in einer verbesserten Kostendegression und auch in einer geistigen Entlastung des Betriebsleiters. Dies sind Faktoren, die sich posi-

tiv auf den Betriebserfolg auswirken können. Grundsätzlich entsteht jedoch mit einer Spezialisierung auch ein erhöhtes Marktrisiko, da die Marktpräsenz sich auf ein einzelnes oder einige wenige Produkte bezieht. In Zeiten der immer stärker volatilen Märkte, deren Schwankungen zunehmend von kürzeren Abständen und von heftigeren Amplituden gekennzeichnet sind, bedeutet dies eine zusätzliche Steigerung des Marktrisikos. Dieses Risiko kann durch Versicherungen, Vertragsproduktion oder über den Handel über die Warenterminbörse gemildert werden. Hinzu kommen in der stark spezialisierten Produktion aber auch ausgeprägte Arbeitsspitzen, die durch den Betriebsinhaber und seine Mitarbeiter zu bewältigen sind. Innerhalb einzelner Betriebszweige kann es durch die Art des Produktionszweiges zu weiteren Nachteilen kommen. So muss im Ackerbau mit kleineren Fruchtfolgen, höherem Pflanzenschutzmitteleinsatz und einer einseitigen Nährstoffversorgung gerechnet werden. Nachteilig kann sich auch der begrenzte Ressourcenmarkt auswirken. Durch die in den letzten Jahren zunehmende Zahl an Biogasanlagen und dem daraus resultierenden Flächenbedarf für Silomais entstand eine veränderte/verstärkte Nachfrage nach Ackerfläche. Auch im Tierbereich sind dem Wachstum Grenzen gesetzt. Oftmals entscheiden nicht die technisch machbaren Optionen über die Größe des Betriebes, sondern äußere Umstände, wie fehlende Akzeptanz gegenüber der stark spezialisierten Landwirtschaft in der Öffentlichkeit; oder restriktive bauliche Vorgaben bestimmen die letztendliche Größe des Betriebes.

Eine Spezialisierung und Weiterentwicklung vieler Betriebszweige, insbesondere in der Tierhaltung, ist allerdings notwendig, um weitere Kostendegressionen in der Erzeugung zu erschließen. Vergleicht man agrarstrukturelle Entwicklungen in europäischen Mitgliedsstaaten, so nimmt die deutsche Landwirtschaft im EU-Vergleich eine allenfalls durchschnittliche Position ein. Nur wenige Betriebe sind aufgrund der Betriebsgrößen im internationalen Vergleich wettbewerbsfähig. Gravierende Strukturgrößennachteile ergeben sich vor allem im Bereich der Milchviehhaltung und der Sauenhaltung. Vergleicht man Betriebsstrukturen im Bereich der Geflügelmast und der Schweinemast, ergibt sich eine insgesamt bessere Ausgangslage. Im Folgenden werden Beispiele für Kosten und Arbeitsdegressionen in der Sauen- und Milchviehhaltung aufgezeigt.

Abbildung 2 stellt den Arbeitszeitbedarf je Sau dar. Deutlich ist zu erkennen, dass mit steigender Bestandsgröße weniger Zeit je Produkteinheit benötigt wird.

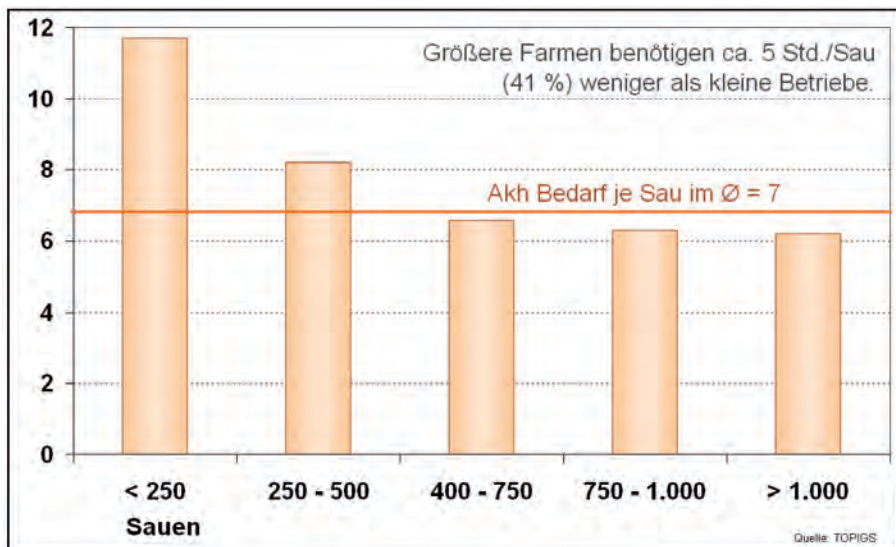


Abb. 2: Arbeitszeitbedarf je Sau in NL 2011

In Abbildung 3 sind auf der linken Seite die Entwicklung der Sauenbestände 2010-2011 und auf der rechten Seite die durchschnittliche Anzahl der Tiere pro Betrieb in Deutschland dargestellt. Niedersachsen nimmt bei der Anzahl der Sauen unangefochten die Spitzenposition ein, hatte aber auch im Verlaufe eines Jahres einen sechsprozentigen Rückgang zu verzeichnen. Lediglich Hessen, Schleswig-Holstein und Baden-Württemberg hatten einen prozentual stärkeren Rückgang. In den östlichen Bundesländern, mit Ausnahme von Brandenburg, stiegen die Sauenbestände an. Die Bestandszahlen gesamt gehaltener Schweine lässt ebenfalls deutlich ein Ost-West-Gefälle erkennen. Historisch bedingt sind hier Größenordnungen der Mastanlagen bekannt, die eine sehr hohe Spezialisierung und auch kapazitätsmäßige Ausweitung der Produktion zulassen. Diese sehr intensive Form der Landwirtschaft stößt in den östlichen Bundesländern noch auf eine größere Akzeptanz als in den Altbundesländern. Während im Westen in der Sauenhaltung weitere Bestandsrückgänge zu erwarten sind, lässt sich im Osten vor allen Dingen aufgrund der besseren Betriebsstrukturen künftig erwarten, dass vor allen Dingen die Ferkelerzeugung und teilweise auch die Schweinemast weiter ausgedehnt werden dürfte. Insbesondere die arbeitswirtschaftlichen Vorteile großer Sauenanlagen in Kombination mit den höheren Vermarktungserlösen dürften dazu beitragen, dass die Sauenhaltung im Osten ihren Wachstumskurs weiter fortsetzen

wird. Infolgedessen werden die Ferkelüberschüsse, die mittlerweile in Ostdeutschland deutlich über 2 Mio. Einheiten liegen weiter ausgedehnt werden.

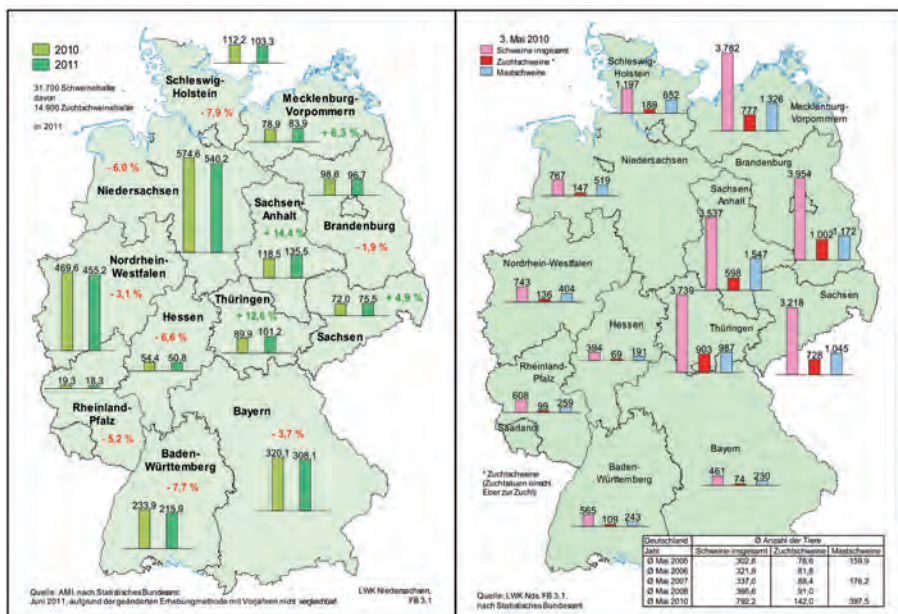


Abb.3: Entwicklung der Sauenbestände Mai 2010-2011 und durchschnittliche Anzahl Schweine je Betrieb in Deutschland (Stand: Mai 2010)

3. Wie sieht die Alternative zur Spezialisierung aus?

Der konträre Ansatz zur Spezialisierung ist die Diversifizierung eines Betriebes durch Erhöhung der Komplexität. Hierzu zählen die Aufnahme neuer Produktionsverfahren, die Schaffung neuer Betriebszweige und auch das Angebot von Dienstleistungen. Das Ziel heißt hier Risikostreuung. Durch diese breitere Positionierung soll der Betrieb auf die sich ändernde Marktsituation besser und stabiler reagieren können. Zudem ist die Diversifizierung eine Möglichkeit, die standortbedingten Vorteile nutzen und Nachteile ausgleichen zu können, ohne auf eine nachhaltige Rentabilitätssteigerung zu verzichten.

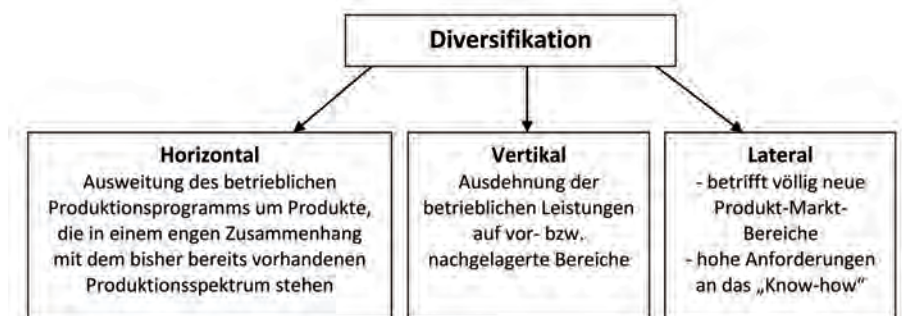


Abb. 4: Formen der Diversifizierung

Die Entscheidung für eine Diversifizierung des Betriebes bringt neben der bereits angesprochenen Risikostreuung weitere Vorteile mit sich. Extreme Arbeitsspitzen treten durch die breite Verteilung der Arbeitsinhalte deutlich abgemildert auf. Somit kann freie Arbeitszeit besser genutzt werden. Zudem erfolgt ein Ausgleich der Liquiditätsströme und, bei vertikaler Diversifizierung, eine Reduktion der Transaktionskosten. Es verbleibt ein höheres Maß an Wertschöpfung auf dem Betrieb und für etliche Bereiche bietet sich die Möglichkeit der Inanspruchnahme spezieller Fördermittel. Weitere positive Effekte können in Form von Verbundvorteilen entstehen, indem bei der Produktion verwandter Güter bereits vorhandene Ressourcen genutzt werden. Doch auch diese strategische Entscheidung ist nicht frei von Nachteilen. Für die Aufnahme neuer Aktivitäten ist in der Regel ein hoher Kapitalaufwand nötig. Dies ist zudem kombiniert mit einem hohen Risiko beim Einstieg in einen neuen Betriebszweig, der unter anderem auch hohe Ansprüche an den Betriebsleiter stellt. Zusätzliche Kenntnisse müssen sich angeeignet werden und bei einer breiten Aufstellung kann sich der Betriebsleiter mit den einzelnen Geschäftsbereichen nicht so intensiv befassen wie in einem spezialisierten Betrieb. Die Hauptrichtungen, in die in den vergangenen Jahren die Diversifizierung gesteuert wurde, sind der Bau von Biogasanlagen, der Einstieg in die Stromproduktion mittels Photovoltaik und die Weiterverarbeitung selbst erzeugter Produkte. Ein anspruchsvoller Bereich ist hier die Direktvermarktung, die jedoch nur bei einem großen Angebot und höchster Professionalisierung geeignet ist. Somit ist die Person des Betriebsleiters mit seiner Managementfähigkeit und der Auswahl der passenden Qualitäts- und Produktnische von zentraler Bedeutung. Weiterhin haben die Form der nachhaltigen Weiterverarbeitung und eine gute regionale Vernetzung Einfluss auf den Erfolg der Diversifizierung.

4. Worauf muss sich die LUFA einstellen?

Die Herstellung von Lebensmitteln beruht auf einer modernen und auf Wissen basierten Landwirtschaft. Qualität und Effizienz werden künftig noch stärker über die Wettbewerbsfähigkeit der Agrarregionen mitentschieden. Die begrenzten Ressourcen, der Klimawandel und fortschreitende Umweltveränderungen erfordern einen immer mehr auf Nachhaltigkeit basierten Ressourceneinsatz. Düngung, Pflanzenschutz sowie Futtermiteinsatz müssen dabei noch weiter optimiert werden. Auch hier erzielen spezialisierte Betriebe Kostenvorteile. Zudem lassen sich die Kosten für ein QS- oder GLOBAL GAP Audit bei spezialisierten Betrieben mit entsprechenden Produktionsmengen besser auf die Produktionseinheit umbrechen als in kleineren oder mittleren Betriebseinheiten. Kostengünstige Qualitätskontrollen, die neben wertgebenden insbesondere auch mögliche schädliche Inhaltstoffe und deren Auswirkungen erfassen sowie ein umfassendes Qualitätsmanagement werden aber für den Markterfolg zunehmend wichtiger.

5. Fazit

Im Rahmen einer globalisierten Landwirtschaft ist eine Spezialisierung und damit die Entwicklung von entsprechenden Betriebsgrößen eine zunehmende Markteingangsvoraussetzung. Die Intensivierung und Spezialisierung ist i. d. R. notwendig, um entsprechend Kostendegressionen sowie Einkaufs- und Vermarktungsvorteile auszuschöpfen. Auch die Diversifizierung ist eine gangbare Unternehmensstrategie in der vor allem Risikostreuung in Kombination mit einer nachhaltigen Rentabilitätssteigerung im Vordergrund steht. Sie führt allerdings zu einer deutlichen Erhöhung der Komplexität und ist i. d. R. standortbezogen auf die betriebsindividuellen Verhältnisse abzustimmen.

Gestaltung von Agrarlandschaften in der Schweiz

F. Herzog

Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, CH-8046 Zürich

1. Einleitung

Die Schweiz ist nicht Mitglied der Europäischen Union. Sie kann deshalb ihre Agrarpolitik unabhängig von der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU (GAP) gestalten. Doch so stark unterscheidet sich die Agrarpolitik der Schweiz gar nicht von der GAP. Im Bereich der schweizerischen Agrar-Umweltpolitik allerdings wurde der Cross-Compliance-Mechanismus früher eingeführt (bereits 1998, EU 2005) und mit dem Ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN) wurden Mindestanforderungen festgelegt, welche zumindest teilweise über die Cross-Compliance-Anforderungen der meisten Mitgliedstaaten der EU hinausgehen.

Die Schweiz kann somit aus Sicht der EU als eine Art „Versuchslabor“ betrachtet werden, in dem man beobachten kann, welche Wirkung die Einführung von verstärkten Cross-Compliance-Mechanismen haben könnte. Diese Frage ist im Zusammenhang der aktuellen Reform der Europäischen Agrarpolitik („Greening the CAP“) von Interesse.

In diesem Beitrag wird die Entstehung und gegenwärtige Ausgestaltung der Agrarpolitik der Schweiz kurz dargestellt. Ihre Wirkung auf die Agrarlandschaft wird zusammengefasst und abschließend werden einige persönliche Betrachtungen zu den zukünftigen Entwicklungen angestellt.

2. Landwirtschaft und Landwirtschaftspolitik der Schweiz

Die Schweiz verfügt über 1 Mio. ha landwirtschaftliche Nutzfläche (LN), das entspricht einem Viertel der Landesfläche. Die LN findet sich v. a. im Schweizerischen Mittelland zwischen Genfer- und Bodensee – dort wo sich auch der größte Teil der Bevölkerung, von Industrie und Gewerbe, Infrastruktur und Verkehrswegen konzentriert. Im Berggebiet (Jura und Alpen), das 70 % der Landesfläche einnimmt, finden wir zusätzlich etwa 0,6 Mio. ha Alpweiden (oder Almweiden). Die Landwirtschaftsbetriebe sind im Europäischen Vergleich eher klein: Sie

umfassen im Mittel etwa 20 ha, ein Rindviehhalter hält durchschnittlich zwischen 15 und 20 Großvieheinheiten.

Bis Anfang der 1990er Jahre war die Agrarpolitik im Wesentlichen eine Fortsetzung der Maßnahmen, welche im 2. Weltkrieg zur Förderung der Agrarproduktion getroffen worden waren. Die wichtigsten Instrumente waren garantierte Produzentenpreise und Grenzschutz, welcher mit Zöllen die Einfuhr aus dem Ausland regulierte um die einheimische Produktion zu schützen. Dadurch konnte die Produktion tatsächlich gesteigert werden – allerdings bis hin zu Überproduktion und Verwertungsproblemen. Dies führte zu zusätzlichen Kosten für die öffentliche Hand, die Agrarpolitik wurde zusehends teurer. Auch gab es zunehmend Umweltschäden. Dünger und Pestizide belasteten die Gewässer, Landschaftsstrukturelemente wurden entfernt und mit ihnen verschwanden wildlebende Tier- und Pflanzenarten aus der Agrarlandschaft. Zudem waren Grenzschutz und Preisstützung mit den Regeln der Welthandelsorganisation WTO immer weniger zu vereinbaren.

Es setzte eine öffentliche Debatte ein, in welcher die zukünftige Ausrichtung der Agrarpolitik und die damit beabsichtigte Produktionsweise über mehrere Jahre breit diskutiert wurde. Die Debatte wurde 1996 mit einer Volksabstimmung über einen neuen Landwirtschaftsartikel für die Bundesverfassung vorläufig abgeschlossen. Eine deutliche Mehrheit von 78 % der Stimmenden sprach sich für eine multifunktionelle Landwirtschaft aus, mit der folgende Ziele gleichberechtigt verfolgt werden sollen (Art. 104 Schweizerische Bundesverfassung):

- Sichere Versorgung der Bevölkerung;
- Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen und Pflege der Kulturlandschaft;
- Dezentrale Besiedlung des Landes.

Es folgten ein neues Landwirtschaftsgesetz und davon abgeleitete Verordnungen. Damit war die Einführung von flächen- und tierbezogenen Direktzahlungen ermöglicht. Außerdem wurden ökologische Direktzahlungen eingeführt, u. a. für die Anlage von ökologischen Ausgleichsflächen und den biologischen Landbau.

Ökologische Direktzahlungen bzw. Programme waren seit 1992 angeboten worden. Die Landwirte konnten sich freiwillig dazu verpflichten, nach den Regeln der „Integrierten Produktion“ zu wirtschaften und wurden dafür finanziell belohnt. 1998 wurde der „Ökologische Leistungsnachweis“ (ÖLN) eingeführt (Tab. 1). Die Erfüllung der Anforderungen des ÖLN durch die Landwirtschaftsbetriebe

wurde im Sinn eines Cross-Compliance-Mechanismus zur Voraussetzung für den Erhalt jeglicher Direktzahlungen. Seit 2003 wird praktisch auf der gesamten LN nach den Bestimmungen des ÖLN bzw. des Biolandbaus gewirtschaftet. Die verbleibenden 2-3 % der LN sind größtenteils nicht beitragsberechtigt da sie zu Betrieben gehören, auf denen z. B. ein bestimmtes Maximaleinkommen überschritten wird oder deren Betriebsleiter die Altersgrenze von 65 Jahren überschritten haben.

Im Mittel tragen die Direktzahlungen 23 % zu den Einkünften der Landwirtschaftsbetriebe bei (Rohleistung, BLW 2010). Dieser Anteil ist im Talgebiet (17 %) deutlich tiefer als im Berggebiet, wo er durchschnittlich 38 % beträgt, auf einzelnen Betrieben jedoch auch deutlich höher sein kann.

3. Auswirkungen des ÖLN auf Biodiversität und Stickstoffverluste

Mit den ökologischen Ausgleichsflächen (öAF) wird das Ziel verfolgt, die Biodiversität im Agrarraum zu erhalten und zu fördern. Heute werden 12 000 ha (12 % der LN) als öAF bewirtschaftet. 80 % davon sind „Ökowiesen“, welche Nutzungseinschränkungen wie spätem Schnitt (nicht vor 15. Juni in Tallagen) und stark eingeschränkter Düngung unterworfen sind. In hohen Lagen stellen die Bewirtschaftungsvorschriften keine großen Einschränkungen im Vergleich zur traditionellen Wirtschaftsweise dar, deshalb melden viele Landwirte einen großen Teil ihrer Wiesen im ökologischen Ausgleich an. Die zusätzlichen Beiträge für Ökowiesen tragen dazu bei, dass auch wenig produktive Standorte weiterhin genutzt werden und die typischen Pflanzen- und Tiergesellschaften erhalten bleiben (Kampmann et al., 2011). Im Tiefland sind die Bewirtschaftungseinschränkungen spürbarer. Sie wirken sich jedoch positiv auf die Artenvielfalt aus: auf Ökowiesen sind die Artenzahlen von Arthropoden und Gefäßpflanzen höher als auf Wiesen ohne Bewirtschaftungseinschränkung (Knop et al., 2006; Aviron et al., 2009).

Tab. 1: Bestimmungen des schweizerischen "Ökologischen Leistungsnachweises", die einzelbetrieblich erfüllt werden müssen, um Direktzahlungen beziehen zu können (Cross-Compliance)

Bestimmungen in der Direktzahlungsverordnung (Bundesrat 1998)	Angestrebte Wirkung	Bemerkungen
Tiergerechte Haltung der Nutztiere	Einhaltung der Vorschriften des Tierschutzgesetzes	Über den ÖLN hinaus werden zusätzliche Programme angeboten (BTS ¹ , RAUS ²)
Ausgeglichene Düngerbilanz	Einzelbetriebliche N- und P-Bilanz beträgt maximal 110 % des Pflanzenbedarfs, Bodenanalyse jeder Parzelle mindestens alle 10 Jahre	In Schwerpunktgebieten sind zusätzliche Projekte nach Art. 62a des Gewässerschutzgesetzes mit weitergehenden Bewirtschaftungseinschränkungen möglich
Angemessener Anteil an ökologischen Ausgleichsflächen	Mindestens 3,5 % der Sonderkulturen bzw. 7 % der übrigen LN des Betriebes müssen als öAF bewirtschaftet werden	Aus 15 verschiedenen öAF-Typen kann frei ausgewählt werden. Für acht davon werden Beiträge ausgerichtet. Zusätzliche Bonuszahlungen können im Rahmen der Öko-Qualitätsverordnung beantragt werden

Tab. 1 (Fortsetzung)

Bestimmungen in der Direktzahlungsverordnung (Bundesrat 1998)	Angestrebte Wirkung	Bemerkungen
Geregelte Fruchtfolge	Vorbeugung von Schädlingen und Krankheiten, Bodenschutz	
Mindestens vier Ackerkulturen pro Jahr mit mind. 10% Anteil an der Ackerfläche oder Einhalten von jährlichen Maximalanteilen der einzelnen Kulturen an der Ackerfläche		Mehrere Kantone fördern zusätzlich bodenschonende Anbauverfahren
Geeigneter Bodenschutz	Verringerung von Erosion und Austrag von Schadstoffen	
Wird eine Parzelle vor dem 31. August geerntet, muss eine Winterkultur, Zwischenfutter oder Gründüngung angesät werden		In Schwerpunktgebieten sind zusätzliche Projekte nach Art. 62a des Gewässerschutzgesetzes mit weitergehenden Bewirtschaftungseinschränkungen möglich
Auswahl und gezielte Anwendung der Pflanzenschutzmittel	Verringerung des Austrags von Schadstoffen	
Anwendungseinschränkungen für Pflanzenschutzmittel (Applikationszeitpunkte und -zeiträume, Mittelwahl) und Massnahmen des integrierten Pflanzenschutzes (Schadschwellenprinzip, Anlage von unbehandelten Kontrollfenstern)		

¹ BTS: Besonders Tierfreundliche Stallhaltungssysteme mit besondere Anforderungen an die Stalleinrichtung wie Mehrflächensystem und Einstreu

² RAUS: Regelmässiger Auslauf ins Freie (abhängig von der Tierkategorie, Weide und/oder Laufhof)

Für das Ackerbaugesamt wurden Samenmischungen für sog. Buntbrachen entwickelt (Jacot et al., 2002). Nach Ansaat und Etablierung werden sie während einer Vertragsdauer von sechs Jahren gepflegt und unterliegen einer Sukzession, welche in der Regel dazu führt, dass sie danach umgebrochen werden und die Parzelle in die Fruchtfolge zurückgeführt wird. Mit den Buntbrachen werden in erster Linie Arthropoden und Brutvögel gefördert (Aviron et al., 2007). Die Samenmischungen werden kontinuierlich weiterentwickelt und in Varianten für verschiedene Standortbedingungen angeboten. Aktuell arbeiten wir an Samenmischungen, mit denen gezielt Nützlinge gefördert werden, welche zur Schädlingsbekämpfung in angrenzenden Kulturen beitragen (Jacot und Eggenschwiler, 2011).

Streuobstwiesen sind auch in der Schweiz selten geworden, 80 % sind in den letzten 50 Jahren verschwunden (Walter et al., 2010). Die verbleibenden Streuobstbestände sind fast alle als öAF angemeldet. Sie fördern den Artenreichtum insbesondere von Arthropoden und von Brutvögeln (Birrer et al., 2007; Bailey et al., 2010). Sie werden ausserdem von einem Großteil der Menschen als schön empfunden (Schüpbach et al., 2008). Die Ästhetik der Agrarlandschaft trägt zur Akzeptanz der Landwirtschaft durch die Bevölkerung bei. Die Landwirtschaft ist auf diese Akzeptanz angewiesen, um die Unterstützung durch die Steuerzahler zu erhalten. In jüngerer Zeit versucht die Forschung, die traditionellen Streuobstwiesen zu modernen Agroforstsystemen weiter zu entwickeln (Käser et al., 2010). Diese sollen produktiv und rationell zu bewirtschaften sein. Dadurch sollen sie für die Landwirte wieder attraktiver werden und man erhofft sich, so wieder mehr Bäume in die offene Agrarlandschaft zurück bringen zu können und von ihren Umweltleistungen zu profitieren (Herzog, 2011).

Nitratprobleme bestehen in der Schweiz v. a. in intensiv ackerbaulich genutzten Regionen des Mittellandes; dort werden die Grenzwerte im Grundwasser stellenweise nach wie vor überschritten. Der ÖLN hat jedoch im Allgemeinen zu einer Reduktion der Nitratgehalte im Grundwasser von 3-4 mg/l geführt (Herzog et al., 2008). Ohne die Einschränkungen durch die ausgeglichene Düngerbilanz und die Maßnahmen zur Bodenbedeckung wären die Stickstoffverluste im Ackerbau um bis zu 40 % höher (Decrem et al., 2007).

4. Fazit und Ausblick

Die Anforderungen des ÖLN gehen in mehreren Bereichen deutlich über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinaus. Er ist damit ein Beispiel dafür, wie mit Cross-Compliance eine positive Umweltwirkung erzielt werden kann. Insgesamt trägt der ÖLN zur Stabilisierung der Biodiversität und zur Verbesserung der Wasserqualität im Agrarraum bei. Zwar bestehen nach wie vor Mängel in verschiedenen Umweltbereichen wie der Förderung von gefährdeten Arten, regionale Wasserschutzprobleme, usw. Diese versucht man, mit spezifischen Maßnahmen anzugehen. Würde es die Anforderungen des ÖLN nicht geben, so wären diese Umweltprobleme mit Sicherheit weiter verbreitet.

Seit seiner Einführung wird der ÖLN immer wieder kontrovers diskutiert. In jüngerer Zeit wird die Produktionsfunktion der Landwirtschaft auch in der Schweiz in der öffentlichen Diskussion wieder höher gewichtet. Insgesamt hat die Akzeptanz des ÖLN unter den Landwirten jedoch zugenommen. Eine wichtige Voraussetzung dafür sind Aus- und Weiterbildung sowie die Beratung. Gleichzeitig sind regelmäßige und griffige Kontrollen notwendig, damit der ÖLN glaubhaft bleibt.

Der ÖLN bleibt wichtig für die Rechtfertigung des Einsatzes öffentlicher Mittel in der Landwirtschaft. Er basiert auf einem Verfassungsartikel, welcher von einer soliden Mehrheit der Stimmenden angenommen wurde. Er wurde und wird auch in Zukunft den neuen Anforderungen angepasst werden, so wie auch die Agrarpolitik weiter reformiert wird. Als Cross-Compliance-Mechanismus wird der ÖLN jedoch für die nächsten Jahre bestehen bleiben.

5. Literatur

Aviron, S., Herzog, F., Klaus, K., Luka, H., Pfiffner, L. et al., 2007: Effects of Swiss agri-environmental measures on arthropod biodiversity in arable landscapes. *Aspects Appl. Biol.* 81, 101-109.

Aviron, S., Nitsch, H., Jeanneret, P., Buholzer, S. et al., 2009: Ecological cross compliance promotes farmland biodiversity in Switzerland. *Frontiers Ecol. Environ.*, 7(5), 247-252.

Bailey, D., Schmidt-Entling, M.H., Eberhard, P., Hermann, J., Hofer, G., Kormann, U., Herzog, F., 2010: Effects of habitat amount and isolation on biodiversity in fragmented traditional orchards. *J. Appl. Ecol.* 47, 1003-

10013.

- Birrer, S., Spiess, M., Herzog, F., Jenny, M. et al., 2007: The Swiss agri-environment scheme promotes farmland birds: but only moderately. *J. Ornithol.* 148(Suppl.2), S295-S303.
- BLW, 2010: Agrarbericht. Bern, Bundesamt für Landwirtschaft.
- Bundesrat, 1998: Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft. SR910.13.
- Decrem, M., Spiess, E., Richner, W., Herzog, F., 2007: Impact of Swiss agricultural policies on nitrate leaching from arable land. *Agron. Sust. Developm.* 27, 243-253.
- Herzog, F., Prasuhn, V., Spiess, E., Richner, W., 2008: Environmental cross-compliance mitigates nitrogen and phosphorus pollution from Swiss agriculture. *Environ. Sc. Pol.* 11, 655-668.
- Herzog, F., 2011: Ein Garten voller Bäume. www.agroforst.ch.
- Jacot, K., Eggenschwiler, L., Studer, S., 2002: Bunt- und Rotationsbrachen: Erfahrungen aus der Praxis. *Agrarforschung* 9(4), 146-151.
- Jacot, K., Eggenschwiler L., 2011: Vom Nutzen der Wildblumen. <http://www.agroscope.admin.ch/agrarlandschaft-biodiversitaet/03739/index.html?lang=de>.
- Kaeser, A., Sereke, F., Dux, D., Herzog, F., 2010: Moderne Agroforstwirtschaft in der Schweiz. Zürich, ART-Bericht 725.
- Kampmann, D., Lüscher, A., Konold, W., Herzog, F., 2011: Agri-environment scheme protects mountain grassland species diversity. *Land-use policy* (in press).
- Knop, E., Kleijn, D., Herzog, F., Schmid, B., 2006: Effectiveness of the Swiss agri-environment scheme in promoting biodiversity. *J. Appl. Ecol.* 43, 120-127.
- Schüpbach, B., Junge, X., Briegel, R., Lindemann-Matties, P., Walter T., 2009: Ästhetische Bewertung landwirtschaftlicher Kulturen durch die Bevölkerung. Zürich, ART Schriftenreihe 10.
- Walter, T., Klaus, G., Altermatt, F. et al., 2010: Landwirtschaft. Kapitel 3. In: *Der Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900. Ist die Talsohle erreicht?* Bristol-Schriftenreihe Band 25, eds. R. Uhl & H. Uhl, Haupt Verlag. Bern. 64-122.

Züchterische Optimierung von Energiemais – Chance oder Risiko?

P. Westermeier

Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung, TU München, Freising

1. Einleitung

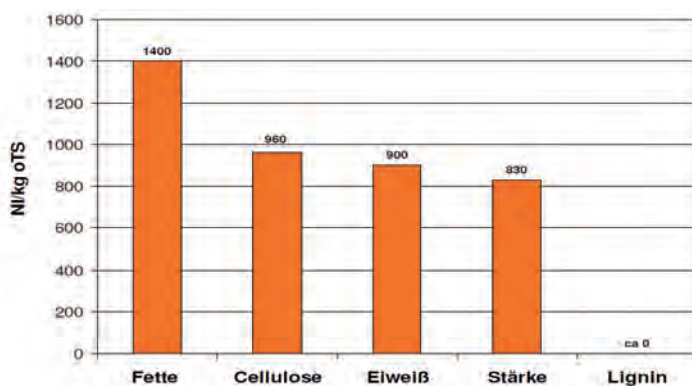
Die Maisanbauflächen in Deutschland haben in den letzten Jahren einen stetigen Zuwachs erfahren. Im Jahr 2010 stieg die gesamte Anbaufläche um 8,7% und im Jahr 2011 nochmals um 6,8 % auf insgesamt 2,45 Mio ha. Damit ist Mais nach Weizen mittlerweile zur zweitwichtigsten landwirtschaftlichen Kultur in Deutschland geworden. Während die Anbauflächen für Körnermais über die letzten 10 Jahre weitgehend konstant geblieben sind, ist bei Silomais seit dem Jahr 2002 die Anbaufläche stetig angestiegen. Dieser Anstieg ist der zunehmenden Anzahl an Biogasanlagen zuzurechnen, da der Bedarf von Maissilage in der Tierernährung seit Jahren weitgehend stabil ist. Innerhalb der letzten 10 Jahre hat sich die Anzahl der Biogasanlagen nahezu versechsfacht, wobei nicht nur die Anzahl der Anlagen zugenommen hat, sondern auch die Größe der neu errichteten Anlagen. Der Flächenanteil der Maissilage, die für energetische Zwecke eingesetzt wird, lag im Jahr 2010 bei ca. 500 000 ha. In diesem Zusammenhang wird in der Gesellschaft zunehmend die Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungsmittelproduktion und Energieerzeugung diskutiert. Im Folgenden sollen einige Beiträge der Pflanzenzüchtung zur Verringerung der Flächenkonkurrenz vorgestellt werden, die unter den Gesichtspunkten von Chance und Risiko betrachtet werden sollen.

2. Chancen einer spezialisierten Landwirtschaft für die Pflanzenzüchtung am Beispiel Energiemais

Zu Beginn der Etablierung einer neuen Nutzungsrichtung von Kulturpflanzen mit bereits bestehenden Sorten sollte stets eine Überprüfung stattfinden, ob sich die Zuchtziele der Sorte mit den Anforderungen der neuen Nutzungsrichtung decken. Diese Analyse wurde auch für die Kulturpflanze Mais vorgenommen, nachdem Maissilage zunehmend als Gärsubstrat in Biogasanlagen eingesetzt

wurde. Dabei konnten vier entscheidende Unterschiede festgestellt werden (Hahn, 2007).

1. Während in der Tierfütterung die Methanbildung aus klimarelevanten Gründen weitgehend vermieden werden soll, ist im Fermenter der Biogasanlage eine möglichst hohe Umwandlungsrate der eingesetzten Biomasse in Methan beabsichtigt.
2. Die Verweildauer der Maissilage im Pansen beträgt max. 12h, während sie im Fermenter eine Verweildauer von 30-40 d erreichen kann.
3. Um einen möglichst hohen Anteil der Futterenergie über die als Grundfutter eingesetzte Maissilage den Rindern zuzuführen, sind in der Maissilage hohe Stärkegehalte (>32%) notwendig, die über ein weitgehend ausgereiftes Korn erreicht werden. Abb. 1 zeigt, dass das Methanbildungsvermögen von Stärke und Cellulose nahezu identisch ist, daher sind in Energiemais hohe Stärkegehalte nicht notwendig.
4. Um eine hohe Grundfutteraufnahme zu gewährleisten, sind bei Silagemais hohe TS-Gehalte (30-35%) gefordert, während bei der Silierung von Energiemais die TS-Gehalte gerade so hoch sein können, dass die Bildung von Sickersäften vermieden wird (25-30%).



* Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate.
VDI-Berichte Nr. 1620, 19-32

Abb. 1: Biogaserträge verschiedener Stoffgruppen in Maissilage (Weiland, 2001)

Besonders die Punkte 3 und 4 bieten für die Pflanzenzüchtung vielversprechende Ansatzpunkte, spezielle Sorten für die energetische Verwertung von Maissilage zu entwickeln. Durch die geringeren Anforderungen von Energiemais an den

Stärkegehalt kann eine entscheidende Restriktion der Silomaiszüchtung außer acht gelassen werden. Dadurch wird es möglich, auf einer breiteren genetischen Basis zu selektieren und dadurch Sorten mit einem hohen Gesamtbiomasseertrag zu entwickeln. Durch die geringeren Anforderungen an den TS-Gehalt wird es außerdem möglich, spätere Sorten mit einem geringeren Ausreifegrad zum Erntezeitpunkt als Energiemais einzusetzen. Auf dieser Basis wurde vor ca. 10 Jahren das ambitionierte Zuchtziel eines TS-Ertrags von 300 dt/ha (Silomais 150-180 dt/ha) und einem damit verbundenen Methanertrag von 10 000 m³/ha (Silomais 5 000 m³/ha) einer speziell für die energetische Verwertung gezüchteten Hybridsorte postuliert.

Um dieses Ziel zu erreichen wurden mehrere Strategien in Kombination angewandt (Schmidt und Kreps, 2007). Die erste und einfachste Maßnahme war die Verwendung von bestehenden Sorten späterer Reifegruppen für den Anbau als Energiepflanzen. Bereits mit dieser ersten Generation von Energiemais war ein deutlicher Biomasse-Ertragszuwachs zu verzeichnen, bei allerdings geringeren TS-Gehalten zur Ernte. Die zweite Generation von Energiepflanzen nutzt ebenfalls adaptierte Genotypen späterer Reifegruppen, jedoch wurden hier markergestützt Kühletoleranzgene aus frühem Material eingelagert. Die eigentlich wärmeliebenden Genotypen zeigen so im Frühjahr weniger Entwicklungsverzögerungen und bei etwa gleichen TS-Gehalten wie Energiemais der ersten Generation nochmals eine Ertragssteigerung, da bereits im Frühjahr mehr Biomasse gebildet werden kann und die Pflanzen damit kräftiger in die Hauptwachstumsphase gehen. In Energiemaissorten der dritten Generation wurden neben der Kühletoleranz zusätzlich Kurztaggene eingekreuzt. Unter mitteleuropäischen Tageslängen bleiben die Pflanzen dadurch gegen Ende der Vegetationsphase länger in einem vegetativen Stadium und können auf diese Weise mehr Biomasse aufbauen. Durch den späten Blühzeitpunkt weisen diese Pflanzen einen niedrigeren Kolben-, bzw. Stärkeanteil auf, bei einem nochmals etwas verringerten TS-Gehalt. Diese Energiemais-Genotypen der dritten Generation erreichen bereits annähernd das postulierte Zuchtziel eines Biomasseertrags von 300 dt/ha.

Eine weitere Möglichkeit, die Methanausbeute aus Mais zu erhöhen stellt die züchterische Erhöhung des Ölgehalts dar. Wie Abb. 1 zeigt, hat auf das Gewicht bezogen Öl das größte Methanbildungsvermögen aller Maisinhaltsstoffe. Eine Erhöhung des Ölgehalts im Korn um 1 % hätte eine Steigerung der Methanausbeute von ca. 80 m³/ha zur Folge.

Die Fortschritte der Energiemaiszüchtung zeigen beispielhaft die Möglichkeiten der Pflanzenzüchtung auf. Durch die genaue Definition der auf die jeweilige Nutzungsrichtung abgestimmten Zuchtziele wird es möglich, optimal abgestimmte Nutzpflanzen für die spezialisierte Landwirtschaft bereitzustellen.

3. Risiken des Energiemaisanbaus – Antworten der Pflanzenzüchtung an zwei ausgewählten Beispielen

Durch die stetige Ausweitung des Maisanbaus treten zunehmend Risiken in den Vordergrund, denen es züchterisch zu begegnen gilt. Zwei dieser Risiken und deren züchterische Bearbeitung, der mit zunehmendem Ertrag steigende Wasserbedarf und die Ausbreitung des Schädling Maiszünsler sollen hier exemplarisch behandelt werden.

Die Steigerung der Mais-Biomasseerträge geht einher mit einer Zunahme des Wasserverbrauchs. Um 1 kg Mais-TS zu produzieren werden ca. 200 l Wasser benötigt (Günther, 2003), d. h. bei einem zukünftig angestrebten Ertrag von 300 dt/ha benötigt ein Energiemaisbestand ca. 600 mm/m² an verfügbarem Bodenwasser während der Vegetationsperiode. Betrachtet man die durchschnittliche Verteilung der Jahresniederschläge in Deutschland stellt man fest, dass diese Werte in weiten Gebieten Deutschlands während der Vegetationsperiode nicht zur Verfügung stehen. Für den Anbau von Energiemais bedeutet dies, dass die tatsächlichen Erträge hinter dem genetisch möglichen Potential der Pflanzen zurückbleiben. Aufgabe der Pflanzenzüchtung ist es daher, auf züchterischem Wege die Wassernutzungseffizienz von Energiemaissorten zu steigern und damit die Erträge zu sichern. Dies ist auch deshalb von Bedeutung, da im Zuge des Klimawandels ein tendenzieller Rückgang der Sommerniederschläge erwartet wird, was zu einer weiteren Verschärfung der Situation beitragen könnte.

Die Hauptziele der züchterischen Arbeiten liegen in der Identifikation von sekundären, phänotypischen Merkmalen zur Selektion trockentoleranter Genotypen und der Identifikation von Genomregionen (Quantitative Trait Loci, QTL), die für die Ausprägung dieser sekundären Merkmale verantwortlich sind. Zur Selektion auf Trockentoleranz müssen sekundäre Merkmale, die mit dem primären Merkmal Ertrag unter Trockenstress korreliert sind, zum Einsatz kommen, da das Zielmerkmal eine sehr geringe Heritabilität (Erblichkeit) besitzt und daher nur

einen geringen Zuchtfortschritt erwarten läßt. Sekundäre Merkmale haben in der Regel eine höhere Heritabilität und ermöglichen damit einen schnelleren Zuchtfortschritt. Die Identifikation der verantwortlichen Genomregionen ermöglicht darüber hinaus die Selektion unter Ausschluss von Umwelteinflüssen (z. B. auch unter optimal versorgten Bedingungen).

Die sekundären Merkmale, die mit Ertrag unter Trockenstress assoziiert sind, lassen sich nach Reynolds und Tuberosa (2008) in drei Kategorien einteilen, die Wassernutzungseffizienz der Pflanze, das Wasseraneignungsvermögen und den Harvest-Index. Zur Erfassung der Wassernutzungseffizienz können beispielsweise die Messung der stomatären Leitfähigkeit oder die Messung der Verhältnisse der stabilen Isotope von Kohlenstoff und Sauerstoff dienen. Die stomatäre Leitfähigkeit ist eine Momentaufnahme des Öffnungsgrads der Spaltöffnungen im Blatt, die Isotopentechniken liefern hingegen Daten, die die Wassernutzung über die Vegetationsperiode integrieren. Das Wasseraneignungsvermögen wird u. a. beeinflusst durch die Ausprägung des Wurzelsystems, wobei tiefreichende Wurzeln bei Trockenheit eine Pflanze länger mit Wasser versorgen können als flache Wurzeln. Der dritte Bereich „Harvest Index“ beschreibt u.a. die Fähigkeit der Pflanze, zum Zeitpunkt der Abreife Reserven aus der Restpflanze zu mobilisieren.

Das Pflanzenmaterial mit dem die Trockentoleranz-Versuche durchgeführt wurden, wurde speziell für diesen Zweck entwickelt. Es handelt sich dabei um eine sog. Introgressionsbibliothek. Der Ausgangspunkt der Erstellung war eine Kreuzung einer trockenintoleranten Maislinie mit einer trockenanfälligen Linie. Durch wiederholte Rückkreuzung mit dem trockenintoleranten Elter wurde der Genomanteil des trockenanfälligen Elters auf jeweils ein einzelnes Chromosomenfragment reduziert. Über ein größeres Sortiment dieser Linien wird das gesamte Genom des trockenanfälligen Elters repräsentiert (siehe Abb. 2 rote Bereiche).

Das komplette Sortiment an Linien wurde phänotypisch auf Trockentoleranz untersucht, wobei einzelne Linien Abweichungen in ihrer Toleranz vom trockenintoleranten Elter zeigen. Auf diese Weise können die Effekte einzelner Chromosomenabschnitte geschätzt werden und gleichzeitig deren physikalische Lage im Genom bestimmt werden, was zu einem erheblich besseren Verständnis des komplex vererbten Merkmals Trockentoleranz beitragen wird.



Abb.2: Schematische Darstellung einer Introgressionsbibliothek in Mais (Ausschnitt)

Das zweite Beispiel züchterischer Bearbeitung von Anbaurisiken stellt der Schädling Maiszünsler dar. Der Schädling hat sich, begünstigt durch die sich ausdehnenden Maisanbauflächen, innerhalb der letzten 30 Jahre immer weiter ausgebreitet. Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass der Maiszünsler mittlerweile flächendeckend in Deutschland vorkommt, mit Ausnahme der küstennahen Gebiete an Nord- und Ostsee. Verschärfend kommt hinzu, dass seit einigen Jahren in begünstigten Gebieten erstmals Rassen auftauchen, die pro Jahr zwei Generationen hervorbringen.

Zur Bekämpfung des Befalls durch Maiszünsler stehen derzeit folgende Verfahren zur Verfügung (Magg et al., 2001): Einsatz natürlicher Resistenzen, Anbau transgener Maissorten (Bt-Mais), biologische Bekämpfungsverfahren (Trichogramma, *Bacillus thuringiensis*), sowie der Einsatz von Insektiziden. Vorbeugend können zudem geeignete Bodenbearbeitungsverfahren genutzt werden. Obwohl der Anbau transgener Maissorten derzeit als eine der effektivsten Bekämpfungsarten gilt, ist der großflächige Einsatz in Deutschland in absehbarer Zeit aufgrund der ungeklärten Haftungsfragen und der mangelnden gesellschaftlichen Akzeptanz kaum zu erwarten. Weiterhin birgt der transgene Ansatz das Risiko der Resistenzbildung auf Seiten des Schädlings, da die Eigenschaft monogen vererbt wird und gleichzeitig ein hoher Selektionsdruck auf resistente Maiszünsler ausgeübt wird. Biologische Bekämpfungsverfahren sind bei relativ hohen Kosten je nach Umweltbedingungen nur eingeschränkt erfolgreich und erfordern einen sehr hohen Zeitbedarf für das Resistenzmanagement. Der Wirkungsgrad chemischer Bekämpfungsmittel ist bei Ausbringung innerhalb des sehr engen Zeitfensters zwischen Schlüpfen der Larven und Einbohren in den Stängel befriedigend, jedoch ist die Applikation in den Maisbeständen nur mit Spezialmaschinen möglich und daher mit hohen Kosten verbunden.

Die Charakterisierung natürlicher Resistenzen und die Einlagerung dabei identifizierter Resistenzgene in aktuelles Zuchtmaterial gilt derzeit als effektivste und auch nachhaltigste Strategie zur Bekämpfung des Befalls durch den Maiszünsler.

Die Resistenz der Maispflanzen gegen den Maiszünsler beruht im Wesentlichen auf drei Mechanismen, der Nichtpräferenz, der Antibiosis und der Toleranz.

Nichtpräferenz bedeutet, dass die Pflanze eine geringere Attraktivität für die Eiablage aufweist und ist schwer zu erfassen. Die Antibiosis ist ein sehr wichtiger und wirksamer Resistenzmechanismus. Sie beeinflusst die Sterblichkeit der Larven bzw. führt zu einer verminderten Entwicklung der Larven auf oder in den befallenen Pflanzen. Ein Maß für die Antibiosis ist die Messung der Fraßganglänge und der Larvenanzahl in den Stängeln. Zeigen die Pflanzen trotz Schädigung durch den Zünsler keine Qualitäts- oder Ertragseinbußen, so wird dies als Toleranz bezeichnet. Als Maß hierfür wird das Merkmal Stängelbruch visuell bonitiert.

Die Züchtungsarbeiten folgen dabei einem mehrstufigen Vorgehen. Zunächst werden Resistenzquellen in adaptiertem, europäischem Zuchtmaterial evaluiert. Dies hat den Vorteil, dass diese Resistenzen rel. schnell in neue Sorten integriert werden können, da nur wenig züchterische Anpassung des Materials nötig ist. Des Weiteren sollen Resistenzen in US-Zuchtmaterial aufgedeckt werden.

Da dieses Material nicht an heimische Klimaverhältnisse angepasst ist, kann dieses Material allenfalls mittelfristig als Resistenzquelle dienen. In einer weiteren Stufe werden Resistenzquellen in exotischem Material aufgedeckt, deren züchterische Nutzung langfristig zu sehen ist, da dieses Material einen hohen Bedarf an züchterischer Anpassung besitzt. Da das phänotypisch im Feld untersuchte Material auch mit molekularen DNA-Markern untersucht wird, wird es künftig möglich sein, unterschiedliche QTL für Zünslerresistenz aufzudecken und damit die unterschiedlichen Resistenzquellen in neuen Sorten zu pyramidisieren.

4. Fazit

Mit der Nutzung als Energiepflanze hat sich neben der Körner- und Silomaisnutzung eine dritte, eigenständige Verwertungsrichtung der Kulturpflanze Mais

etabliert. Durch die Berücksichtigung der speziellen Anforderungen dieser Nutzungsrichtung bei den Zuchtzielen ist der größtmögliche Zuchtfortschritt in Form des maximalen Energieertrags je ha zu erzielen um damit den Konflikt zwischen Nahrungs- und Energieproduktion zu entschärfen. Als Risiken sind zu nennen, dass mit zunehmender Anbaufläche auch bei Mais die Resistenzzüchtung an Bedeutung gewinnt. Auch der bei der Ertragssteigerung zunehmende Wasserverbrauch muss vor dem Hintergrund des allgemeinen Klimawandels in künftiger Züchtungsarbeit Beachtung finden.

5. Literaturangaben

- Günther, R., 2003: Zur Wasserausnutzung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen. Tagungsband 10. Gumpensteiner Lysimetertagung, 29.30.4.2003, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, Irndning, 85-90.
- Hahn, V., 2007: Züchtung für Nahrung und Bioenergie - Gemeinsamkeiten und Unterschiede. Vortrag im Rahmen der 39. Pflanzenbaulichen Vortragstagung in Sindelfingen.
- Magg, T., Melchinger, A.E., Klein, D., Bohn, M., 2001: Comparison of Bt maize hybrids with their non-transgenic counterparts and commercial varieties for resistance to European corn borer and for agronomic traits. *Plant Breed.* 120, 397-403.
- Reynolds, M., Tuberosa, R., 2008: Translational research impacting on crop productivity in drought-prone environments. *Curr. Opin. Plant Biol.* 11, 171-179.
- Schmidt, W., Kreps, R., 2007: Stand der Energiemaiszüchtung bei der KWS Saat AG. Vortrag im Rahmen des 2. Einbecker Energiepflanzen-Kolloquiums.
- Weiland, P., 2001: Grundlagen der Methangärung-Biologie und Substrate. VDI-Gesellschaft Energietechnik. Biogas als regenerative Energie-Stand und Perspektiven. VDI-Berichte 1620, 19-32. VDI-Verlag GmbH. Düsseldorf.

Agrobiodiversität und Pflanzenzüchtung – zwei Seiten einer Medaille

R. von Broock

KWSLOCHOW GMBH

2010 war das Internationale Jahr der Biodiversität, in dem wieder einmal sehr deutlich wurde, dass der Begriff "Agrobiodiversität" sehr viele Facetten hat. Er reicht von Natur- und Artenschutz, also von Regenwald bis Flora/Fauna-Habitaten bis zu Tierrassen- und Pflanzenvielfalt in der Agrarproduktion. Und jeder verwendet den Begriff, wie es gerade passt. In der Zeitung "Die Zeit" war neulich zu lesen: "Biogas schadet der Biodiversität". In dem Artikel ging es dann darum, dass in den Elbauen Wiesen umgebrochen worden waren, um dort Biogas-Mais anzubauen. Dieses schränkt den Lebensraum des Kiebitzes ein. Im Landkreis Celle verdrängt Mais die Gerste. Es wird also nur eine Graminee durch eine andere ersetzt, wobei die Flächenanteile etwa gleich groß sind: Genauso gut könnte man also auch behaupten: "Biogas schadet der Biodiversität nicht".

Tab. 1: Flächen der wichtigsten Ackerkulturen in Deutschland und ihre Entwicklung*)

Ackerfläche	12 Mio. ha	davon	
	Mio. ha	Entwicklung in den letzten Jahren	
Weizen	3,3	+ 10	↗
Mais	2,5	+ 80 in 10 Jahren	↗
Gerste	1,7	WG zwischen 1,3 und 1,5	↘
		SG -50%	
Raps	1,5	in 20 Jahren aus der Nische	→
Roggen	0,6	zwischen 0,5 und 0,7 schwankend	→
Zuckerrübe	0,4	in 20 Jahren minus 50%	↗
Triticale	0,4	minus 20%	↘
Kartoffel	0,3	seit 10 Jahren ~ stabil, davor Reduzierung um 30%	→
Hafer	0,1	in 20 Jahren minus 80%	→
Körnerleguminosen	0,1	minus 60%	→

*) Statistisches Jahrbuch der Bundesrepublik Deutschland

Im Folgenden soll aufgezeigt werden, welchen Einfluss die Züchtung auf die Agrobiodiversität hat und welche Rückwirkungen vom Anbau auf die Züchtung ausgehen. Was will der Landwirt? Der Landwirt will mit möglichst geringem Aufwand möglichst viel eines Ernteproduktes erzeugen, das am Markt gefragt ist und das er deshalb leicht und zu guten Preisen absetzen kann. Tabelle 1 zeigt die 10 Kulturarten, die auf 11 der 12 Millionen ha Ackerland in Deutschland angebaut werden mit ihren Gesamtflächen und der derzeitigen Entwicklungstendenzen.

Welchen Einfluss hat die Züchtung auf diese Entwicklung?

- **Mais**
Die kältetoleranten Hybridsorten, die seit den 60er Jahren in Deutschland auf dem Markt sind, haben den Mais aus dem oberen Rheingraben mit 50 000 ha auf nun 2,5 Mio. ha in Deutschland anwachsen lassen. Hierbei spielt insbesondere in den vergangenen Jahren die Nutzung als Biogassubstrat eine entscheidende Rolle.
- **00-Raps**
Mitte der 80er Jahre gelang es, erucasäure- und glucosinulfreie Sorten zu entwickeln. Seitdem hat sich die Anbaufläche von circa 50 000 ha auf 1,5 Mio. in Deutschland entwickelt. Das Öl ist wertvolles Nahrungsmittel und der Presskuchen hochwertiges Proteinfutter.
- **Zuckerrüben**
Wenn nicht in den 60er Jahren die einkeimigen Samen und Hybridsorten auf den Markt gekommen wären, wäre die Rübe bereits damals aus arbeitswirtschaftlichen Gründen kaum noch anbauwürdig gewesen. Heute sind die Resistenzen gegen das Rhizomania-Virus und den Rübenzystennematoden die Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Anbau. Mit 120 dt/ha Zuckerertrag ist die Zuckerrübe zurzeit auf dem Weltmarkt konkurrenzfähig.
- **Roggen**
Roggen ist **die** Kultur für sommertrockene Sandböden, erobert aber auch mittlere Böden, weil Hybriden dort einen Vorteil gegenüber Weizen und Gerste haben. Ohne diesen Vorteil wäre er auf 200-300 Tha in Deutschland beschränkt, steht aber auf mehr als dem Doppelten dieser Fläche.

Diese vier Beispiele zeigen deutlich, dass Züchtung durchaus einen Einfluss auf die Biodiversität im Anbau hat. Die Tabelle 1 zeigt aber gleichwohl auch, dass Hafer Körnerleguminosen, Triticale und Sommergerste ständig weitere Fläche verlieren. Offenbar sind hier die Preise zu niedrig, der Absatz schwierig und der Anbau entweder nicht einfach oder zu risikoreich.

In diesem Zusammenhang ist festzustellen, dass zwar Sorten und Saatgut von diesen Arten noch immer verfügbar sind, das Interesse der Züchter aber natürlich erlahmen muss, wenn die Einnahmen die Züchtungskosten nicht decken können. Am Beispiel Haferzüchtung soll dies erläutert werden:

Für knapp 200 000 ha Hafer werden weniger als 50 % zertifiziertes Saatgut verwendet. Bei einer Aussaatstärke von 120 kg/ha und der wohlwollenden Annahme, dass diese für 100 000 ha gebraucht wird, würden insgesamt 12 000 t zertifiziertes Saatgut benötigt werden. Bei 65 €/t Lizenzgebühr führt dies zu einem Gesamtdeckungsbeitrag für Sommerhafer von 780 000 €. Bei einem angenommenen Marktanteil von 25 % würde für einen Züchter also ein Deckungsbeitrag von 200 000 € anfallen. Selbst ein kleines Zuchtprogramm kostet aber wenigstens 300 000 €, so dass selbst bei 50 % Marktanteil oder doppelter Haferfläche das Programm nicht profitabel sein könnte, da ja auch noch Kosten für Produktion, Vertrieb und Verwaltung anfallen. Die Folge ist, dass die private Züchtung drastisch eingeschränkt, wenn nicht gänzlich eingestellt wird.

Wir können zu diesem Punkt also feststellen: Erstens: Die Züchtung hat in der Vergangenheit zu einer Bereicherung der Artenvielfalt im Anbau beigetragen. Zweitens: Die Entwicklung der Agrarpreise und die Qualitätsvorstellungen der Industrie steuern aber maßgeblich, welche Kulturen die Landwirtschaft produziert. Es sind nicht die Pflanzenzüchter!

Zur Agrobiodiversität gehört aber nicht nur, welche Arten im Anbau sind, sondern auch, wie viel Diversität innerhalb der Art vorhanden ist. Es wird häufig behauptet, dass es innerhalb der Arten nicht genügend Sorten gibt. Eine Zusammenstellung für einige wichtige Kulturpflanzenarten findet sich in Tabelle 2, in der mit Erscheinen der ersten Sortenliste 1955 in 10-Jahres-Schritten die Anzahl der zugelassenen Sorten von wichtigen Arten dargestellt ist.

Tab.2: Anzahl der in die Beschreibende Sortenliste eingetragenen Sorten (beispielhaft für ausgewählte Arten) seit 1955*)

	W-Weizen	W-Roggen	Triticale	W-Gerste	S-Gerste	Hafer	Silo-Mais	Raps
1955	56	19	-	21	35	46	12	22
1965	49	15	-	20	34	41	28	22
1975	30	9	()	24	47	38	41	31
1985	55	14	()	38	42	24	62	64
1995	62	32	10	66	42	29	113	68
2005	117	31	21	75	51	26	182	63

*)Beschreibende Sortenliste, Bundessortenamt

Für Winterweizen zeigt sich, dass sich in den letzten 10 Jahren die Anzahl der Sorten ungefähr verdoppelt hat. Für Winterroggen zeigt sich eine Verdoppelung, seit es die Hybridsorten gibt. Auch bei Triticale stieg die Anzahl der Sorten in den letzten Jahren stark an. Mit Rückgehen der Anbaufläche wird diese voraussichtlich stagnieren oder wieder zurückgehen. Bei Wintergerste beobachten wir eine Verdoppelung, seit es zweizeilige Wintergerste gibt. Auch bei Sommergerste nimmt die Anzahl der Sorten zu, aber auch hier wird ein Rückgang erwartet, weil die Fläche in Deutschland verkleinert wird. Für Hafer ist der Flächenrückgang bereits in der Anzahl zugelassener Sorten abzulesen. Für Mais zeigt sich, dass eine neue Nutzungsrichtung "Biogas" dazugekommen ist und bei Raps erkennt man die Verdoppelung der Anzahl von Sorten, seit die 00-Raps-Sorten auf dem Markt sind.

Gegen diese Zahlen wird gern eingewendet, dass die Anzahl der angebotenen Sorten nicht ausschlaggebend sei, sondern eher, wie viele Sorten im Anbau sind und dann wird behauptet, dass nur sehr wenige Sorten den überwiegenden Anbau ausmachen. Dieses war teilweise in den 70er Jahren tatsächlich der Fall, als vier Winterweizen-Sorten etwa 84 % und zwei Winterroggensorten 93 % der Anbaufläche ausmachten. Seit etwa 20 Jahren hat sich dieses drastisch verändert. Heute stehen 20 Winterweizensorten auf circa 65 % der Fläche, wobei die größte etwa 8 % ausmacht. Bei Roggen stehen zurzeit 8 Sorten auf 70 % der Fläche (Basis: Beschreibende Sortenliste, Vermehrungsflächenanteile; Roggen aktuell -wegen Vermehrung im Ausland- persönliche Einschätzung).

Aber auch dies erklärt noch nicht vollständig die verbliebene Variabilität auf dem Acker, wenn die Sorten sehr eng miteinander verwandt sind. Den Verwandtschaftsgrad haben diverse Untersuchungen mit Hilfe von molekularen Markern überprüft und sind zu dem Schluss gekommen, dass die Bandbreite der Diversität der dekadenweise untersuchten Sorten sich in den letzten 6 Jahrzehnten mindestens nicht verengt hat, teilweise aber erweitert wurde (Le Buanec, 2006). Offensichtlich erhält die Züchtung Diversität, sie wird ja auch dringend benötigt, um Neukombinationen zu ermöglichen.

Einen letzten Punkt zur Agrobiodiversität möchte ich noch betrachten:

Es geht um die Frage, wie viel "Beikräuter" der Landwirt neben den Kulturpflanzen zulässt? Die Herbizidtoleranz - in Deutschland als gentechnisch verändertes Merkmal nicht akzeptiert - würde ein Nebeneinander von Beikraut und Kulturpflanze erlauben, bis das Beikraut so groß wird, dass es mehr schadet als nützt und so ja erst dann zum "Unkraut" wird. Sobald es abgetötet wird, bildet es noch eine Mulchschicht auf dem Boden und schützt diesen, bis die Kulturpflanze die Bodendeckung übernimmt. Diese Unkrautstrategie ist ökonomisch, arbeitswirtschaftlich und sogar ökologisch sinnvoll. Züchtung könnte Lösungen bieten, aber in Deutschland sind selbst nicht auf Gentechnik beruhende Herbizidtoleranzen offenbar unakzeptabel.

Zusammenfassend will ich feststellen, dass es eine genetische Verarmung innerhalb der Kulturpflanzenarten nicht gibt und dass die Züchter die Diversität als "Motor des Züchtungsfortschrittes" bewahren und ausbauen.

Literaturangaben

Balfourier F., et al. (2007): A worldwide bread wheat core collection arrayed in a 384-well plate. *Theor. Appl. Genet.* 114, 1265-1275.

Beschreibende Sortenliste, Bundessortenamt Hannover (1955, 1965, 1975, 1985, 1995, 2005, 2011).

Le Buanec, B. 2006: Plant breeding and sustainable agriculture – myths and reality. *IPGRI Newsletter for Europe*, No 33, November 2006. www.worldseed.org.

Röder, M.S., et al. (2002): Construction and analysis of a microsatellite-based database of European wheat varieties. *Theor. Appl. Genet* 106, 67-73.

Freilandgemüsebau – ein Beispiel für Chancen und Risiken einer hochspezialisierten Pflanzenproduktion

M. Armbruster¹, N. Laun², F. Wiesler¹

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

1. Einleitung

In Deutschland hat in den letzten Jahrzehnten ein starker Strukturwandel in der Landwirtschaft stattgefunden, der häufig mit einer zunehmenden Spezialisierung der Betriebe verbunden war. Im Freilandgemüsebau war diese Entwicklung besonders deutlich ausgeprägt. Hier hat unter anderem die Nachfragemacht des Lebensmitteleinzelhandels das Entstehen spezialisierter Großbetriebe gefördert. Diese können die geforderten großen und einheitlichen Produktmengen zu vergleichsweise geringen Kosten produzieren. Die Chancen dieser Entwicklung liegen vor allem im ökonomischen Bereich, während sich Risiken sowohl im ökonomischen als auch im ökologischen Bereich aufzeigen lassen.

2. Entwicklung des Freilandgemüseanbaus in Deutschland

In Deutschland gibt es derzeit etwa 11 000 Betriebe, die auf einer Fläche von ca. 115 000 ha Gemüse im Freiland anbauen (Dirksmeyer, 2009). Regionale Anbauswerpunkte liegen entlang des Rheins (Breisgau, Vorderpfalz, Rhein-Main-Dreieck, Niederrhein), im mittleren und westlichen Niedersachsen, in Hamburg und den Landkreisen Harburg und Lüneburg, in der Region Dithmarschen, in Brandenburg, in der Filderebene sowie in Bayern. Mit etwa 18 000 ha Anbaufläche gilt die Pfalz als das größte, geschlossene Freilandgemüseanbaugebiet Deutschlands.

Im Laufe der letzten 20 Jahre hat die Freilandgemüseanbaufläche in Deutschland um 64 % zugenommen (Abb. 1). Noch deutlicher ausgeprägt war der Anstieg in Rheinland-Pfalz. Hier hat sich die Freilandgemüseanbaufläche von 1992 (8 700 ha) bis 2008 (17 600 ha) verdoppelt. Nahezu der gesamte rheinland-pfälzische Freilandgemüseanbau ist in der Vorderpfalz konzentriert. In diesem

Gebiet hat in den letzten Jahrzehnten eine starke Veränderung und Intensivierung des Anbaus stattgefunden.

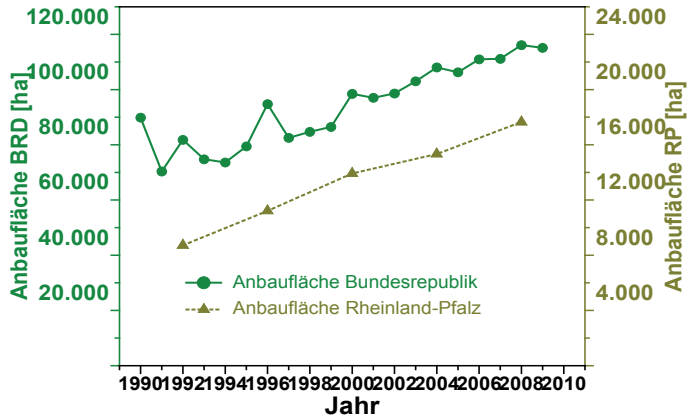


Abb. 1: Entwicklung der Anbauflächen im Freilandgemüsebau in der Bundesrepublik Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2011) sowie in Rheinland-Pfalz (Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz, 2008)

So nahm die Zahl der Betriebe zwischen dem Jahr 1992 und dem Jahr 2008 von 2 400 auf 559 Betriebe ab. Gleichzeitig stieg in diesem Zeitraum die mittlere Betriebsgröße von etwa 4 ha auf 32 ha an. Im Jahr 2008 bewirtschafteten 12 % der Betriebe über 70 % der Gemüseanbaufläche. Dabei werden teilweise Gemüseanbauflächen von bis zu 1 000 ha pro Betrieb erreicht. Der damit verbundene hohe Flächenbedarf der Betriebe kann nur in geringem Umfang durch Eigentumsflächen abgedeckt werden, wodurch die Betriebe einen hohen Anteil an Pachtflächen bewirtschaften.

Parallel zum Strukturwandel lassen sich mehrere Intensivierungsschritte im Gemüseanbau aufzeigen (Tab. 1). Noch in den 1960er Jahren wurde kleinflächiger Ackerbau betrieben, Gemüse- und Sonderkulturen wurden nur in Gärten und überwiegend für den Eigenbedarf angebaut. Im ersten Schritt wurde der Ackerbau um die Einmalерnte von Gemüse (Weißkraut, Kartoffeln) oder Tabakanbau ergänzt. In der Folge wurde die Gemüsebaupalette um maschinen-erntbare Kulturen wie Karotten, Kartoffeln und Zwiebeln ergänzt. Dadurch kam es zu einer einmaligen Arbeitsspitze, die sich gut in den Zeitablauf des parallel betriebenen Ackerbaus integrieren lies. Durch den Übergang zu handgeerntete-

ten Kulturen und zum satzweisen Anbau von Salaten, Kohlrabi und Blumenkohl wurde schließlich der Ackerbau in den Hintergrund gedrängt und es entstanden die ersten auf Gemüseanbau spezialisierten Betriebe. Die Erweiterung der Anbaupalette um handgeerntete Säkulturen (z. B. Radies, Bundzwiebel, Feldsalat, Rucola, Bundmöhren) führte im Weiteren zu einer starken Flächenexpansion des Gemüsebaus und ermöglichte eine nahezu kontinuierliche Ernte im Laufe des Jahres. Im letzten Schritt spezialisierten sich einzelne Betriebe auf den Anbau weniger Gemüsekulturen. Gegenwärtig ist allerdings eine teilweise Umkehr dieser Entwicklung zu beobachten. Dies trägt einer Forderung von Handelspartnern Rechnung, die darauf ausgerichtet ist mit wenigen Marktpartnern eine möglichst große Vielfalt an Gemüseprodukten abzudecken.

Tab. 1: Zeitliche Entwicklung der Spezialisierung im Freilandgemüsebau der Vorderpfalz

<ul style="list-style-type: none"> • Kleinflächiger Ackerbau, Gemüse- und Sonderkulturen in Gärten
<ul style="list-style-type: none"> • Ackerbau ergänzt um Gemüsekulturen und Tabak Einmalernnte von Gemüse <i>z. B. Weißkraut für Verarbeitung, Kartoffeln</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung der Gemüsepalette um maschinenerntbare Kulturen (einmalige Arbeitsspitze) <i>z. B. Karotten, Kartoffeln, Zwiebeln</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung der Gemüsepalette um handgeerntete Pflanzkulturen (satzweiser Anbau, kontinuierliche Ernte) <i>z. B. Salate, Kohlrabi, Blumenkohl</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung um handgeerntete Säkulturen (satzweiser Anbau, kontinuierliche Ernte) starke Flächenexpansion <i>z. B. Radies, Bundzwiebeln, Feldsalat, Rucola, Bundmöhren</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Einzelbetriebe mit Spezialisierung auf wenige Kulturen <i>Derzeit teilweise Trendumkehr der Spezialisierung weg von Einzelkulturen</i>

Als Voraussetzungen für die starke Zunahme der Freilandgemüsefläche und die damit verbundene Spezialisierung sind in der Vorderpfalz mehrere Faktoren zu nennen. Aufgrund der klimatischen Begünstigung der Region ist eine lange Gemüsesaison möglich, die zusätzlich durch Folieneinsatz verfrüht werden kann. Aufgrund der vergleichsweise geringen Niederschläge sind die Böden relativ „flexibel“ befahrbar, was den Anforderungen des Gemüseanbaus mit häufigen Überfahrten sowie zeitlich eng befristeten Ernteterminen entgegenkommt.

Als Voraussetzung für die Ertrags- und Qualitätssicherung (sicherer Aufgang bzw. sicheres Anwachsen der Kultur) kann die Region auf die Zusatzbewässerung zurückgreifen. Während in der Südpfalz überwiegend aus betriebseigenen Grundwasserbrunnen bewässert wird, besteht in der Vorderpfalz seit 1965 ein Beregnungsverband wodurch derzeit etwa 13 000 ha Fläche mit Wasser aus dem Altrhein beregnet werden können. Darüber hinaus stehen dem Gemüsebau in der Region Marktpartner und Großmärkte zu Verfügung, welche die produzierten Gemüsemengen auch vermarkten können.

3. Chancen der Spezialisierung

Mit der Spezialisierung auf wenige Kulturen können Größenvorteile in der Produktion ausgenutzt werden. Die Chancen einer solchen Spezialisierung sind daher vor allem im ökonomischen Bereich zu sehen. Im Vergleich zum Ackerbau kann mit Freilandgemüse ein weitaus höherer Deckungsbeitrag erzielt werden (Tab. 2). Während im Ackerbau jährliche Deckungsbeiträge in der Größenordnung von 200 bis 600 € (Zuckerrübe 800 bis 1 400 €) erwirtschaftet werden können, sind im Freilandgemüsebau pro angebaute Kultur 1 800 bis fast 9 000 € als Deckungsbeitrag möglich.

Die Spezialisierung kann zu einer Professionalisierung der gesamten Produktion führen. So zeichnen sich die Leiter spezialisierter Betriebe häufig durch ein entsprechendes Spezialwissen aus. Zusätzlich entwickeln sich in Regionen mit einer hohen Konzentration spezialisierter Betriebe häufig entsprechend spezialisierte Beratungs- (Düngung, Pflanzenschutz). und Untersuchungsangebote. Im Gemüseanbaugesamt der Vorderpfalz konnten sich z. B. schon in den 1980er Jahren Beratungsorganisationen etablieren, die eine sehr schnelle Bodenanalytik zur Bemessung der N-Düngung und eine intensive Pflanzenschutzberatung anbieten. Seit etwa 10 Jahren wird dies komplettiert durch umfangreiche Pflanzenschutzmittelrückstandsuntersuchungen auf allen Ebenen der Produktion (Vor- und Nachernteanalytik) und der Vermarktung. Damit war man in der Lage, den Forderungen des Lebensmitteleinzelhandels Rechnung zu tragen.

Tab. 2: Deckungsbeiträge im Ackerbau und Freilandgemüsebau

Kultur	Deckungsbeitrag (€)
<u>Ackerbau</u> (ohne Kartoffel)	ca. 200-600
Zuckerrübe	ca. 800-1 400
<u>Kartoffelanbau</u>	
beregnete Speisekartoffel	ca. 700-1 500
Frühkartoffel	ca. 2 000-5 000
<u>Freilandgemüse</u> (Standarddeckungsbeiträge/Kultur nach KTBL)	
Kohlrabi	1 815
Trockenzwiebeln	1 915
Radieschen	2 973
Blumenkohl	3 067
Kopfsalat	3 912
Waschmöhren	4 898
Bundzwiebeln	5 900
Feldsalat	7 438
Bundmöhren	8 863

4. Risiken der Spezialisierung

Bei den Risiken der Spezialisierung lassen sich ökonomische und ökologische Risiken unterscheiden.

Ökonomische Risiken

In hochspezialisierten Betrieben kann ein Misserfolg bei einer Kultur aus produktionstechnischen oder marktseitigen Gründen ökonomisch nur schwer betriebsintern ausgeglichen werden. Als produktionstechnische Risiken können z. B. Ernteauffälle aufgrund von Hagel, Frost oder auch Krankheiten aufgeführt werden. Marktseitig kann es aufgrund zeitlicher Überangebote immer wieder zu Preiseinbrüchen kommen. Daneben kam es in jüngster Zeit aufgrund von „Lebensmittelskandalen“ zu starken Vermarktungseinbrüchen im Gemüsebau. So führten Funde von Jakobskreuzkraut in Rucola im Jahr 2009 zu drastischen Umsatzeinbrüchen in den für diese Kultur typischen Spezialbetrieben. Auch die EHEC-Krise im Jahr 2011 führte im Gemüseanbau zu massiven Umsatzeinbrü-

chen und ökonomischen Verlusten insbesondere bei auf Salatanbau spezialisierten Betrieben. Während hierbei in Deutschland gegenüber der EU Schäden in Höhe von 32 Mio. € gemeldet wurden geht der deutsche Bauernverband von ökonomischen Einbußen in der Höhe von 75 Mio. € aus.

Mittelfristig stellt in dem arbeitsintensiven Freilandgemüseanbau der hohe Arbeitskräftebedarf ebenfalls ein ökonomisches Risiko dar. Dieser wird aktuell vor allem durch Saisonarbeitskräfte aus Osteuropa gedeckt. Wenn diese aufgrund positiver wirtschaftlicher Entwicklungen in ihren Heimatländern nicht mehr zur Verfügung stehen, dürfte dies zu massiven Änderungen in der Ausrichtung der Freilandgemüseproduktion führen. Die arbeitsintensive Handernte könnte dann nicht mehr durchgeführt werden, was zu einem Verzicht auf den Anbau bestimmter Kulturen sowie einer zunehmenden Automatisierung von Pflanzung und Ernte führen könnte.

Ökologische Risiken

Neben ökonomischen bedingt die intensive und hochspezialisierte Gemüseproduktion auch ökologische Risiken (Tab. 3). So weisen Gemüsekulturen deutlich höhere N-Bilanzüberschüsse als Ackerkulturen auf. Diese können zu Belastungen sowohl der Hydrosphäre (Nitrat) als auch der Atmosphäre (Lachgas) führen. Weitere ökologische Probleme im intensiven Freilandgemüsebau sind häufig auftretende Bodenstrukturprobleme, insbesondere Bodenverdichtungen. Diese werden durch die häufige Bodenbearbeitung, durch die Bestellung und Ernte bei zu nassen Böden sowie den häufig einseitigen Anbau flachwurzelnder Gemüsearten hervorgerufen. Eine zunehmende Spezialisierung auf wenige Kulturen birgt zudem ein erhöhtes Risiko einer Selektion von Unkräutern, Schädlingen und Krankheiten.

Das potentielle Risiko hoher N-Bilanzüberschüsse auf die Grundwasserqualität kann aus einem Langezeitversuch abgeleitet werden, den die LUFA Speyer und das DLR Rheinpfalz (Armbruster et al., 2008) über einen Zeitraum von 7 Jahren durchgeführt haben. In diesem Versuch wurde der Einfluss verschiedener Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Erträge, Qualitäten, N-Bilanzüberschüsse und die Nitratauswaschung untersucht.

Tab. 3: Ökologische Risiken einer spezialisierten Gemüseproduktion im Freiland

Risiko und Auswirkung bzw. Ursache
<ul style="list-style-type: none"> • Deutlich höhere Stickstoff-Bilanzüberschüsse als im Ackerbau <i>Belastung von Grund- und Oberflächenwasser mit Nitrat</i> <i>Belastung der Atmosphäre mit Lachgas (N₂O)</i> • Bodenverdichtungen und Bodenstrukturprobleme <i>häufige Bodenbearbeitung</i> <i>Bestellung und Ernte bei zu nassen Böden</i> <i>Einseitiger Anbau flachwurzelnder Gemüsearten</i> • Selektion von Unkräutern, Schädlingen und Krankheiten

In der Abb. 2 sind beispielhaft die Nitratkonzentrationen in Saugkerzenwasser aus 1 m Bodentiefe in einer Fruchtfolge mit ausschließlichen Gemüseanbau bei unterschiedlicher Düngebedarfsermittlung (Faustzahlen, N-Expert) sowie in einer Gemüse-/Getreidefruchtfolge bei Düngung nach N-Expert dargestellt. Die N-Bilanzüberschüsse in diesen Varianten betragen 264, 86 und 54 kg N ha⁻¹. Die hohen N-Bilanzüberschüsse in der Variante Düngung nach Faustzahlen führten zu extrem hohen Nitratkonzentrationen im Saugkerzenwasser über den gesamten Versuchszeitraum. Mit 70 bis 480 mg L⁻¹ Nitrat-N bewegten sich die Konzentrationen in einem Bereich weit oberhalb der in der Nitratrichtlinie geforderten 11,3 mg L⁻¹ Nitrat-N (entspricht 50 mg L⁻¹ Nitrat). Allein die an Bodenuntersuchungen orientierte Düngung nach N-Expert führte zu deutlich erniedrigten Nitratkonzentrationen in Höhe von 38 bis 131 mg L⁻¹ Nitrat-N. Zu einer zusätzlichen Verbesserung der Sickerwasserqualität führte die Auflockerung der Fruchtfolge durch jährlichen Anbau von Getreide. Hier wurden zumindest zeitweise Nitratkonzentrationen unterhalb von 50 mg L⁻¹ Nitrat gemessen (entspricht 11,3 mg L⁻¹ Nitrat-N: rote gestrichelte Linie in Abb. 2). Die aus den Nitratkonzentrationen und Sickerwassermengen berechnete durchschnittliche Nitratauswaschung beträgt für den dargestellten Zeitraum in der intensiven Gemüsefruchtfolge bei Düngung nach Faustzahlen 233 kg N ha⁻¹ a⁻¹ und bei Düngung nach N-Expert 108 kg N ha⁻¹ a⁻¹. Bei Auflockerung der Fruchtfolge durch jährlichen Getreideanbau geht diese auf dem Lehmlandort sehr deutlich auf Werte unter 5 kg N ha⁻¹ a⁻¹ zurück.

Neben einer massiv erhöhten Nitratauswaschung führen hohen N-Bilanzüberschüsse auch zu erhöhten Lachgasemissionen. Diese betragen in einem Parallelversuch auf einem Sandstandort bei ausschließlichen Gemüseanbau für

einen Zeitraum von 10 Monaten bei Düngung nach Faustzahlen $6,0 \text{ kg N}_2\text{O ha}^{-1}$ sowie bei Düngung nach N-Expert $2,7 \text{ kg N}_2\text{O ha}^{-1}$ (Ruser et al., 2009).

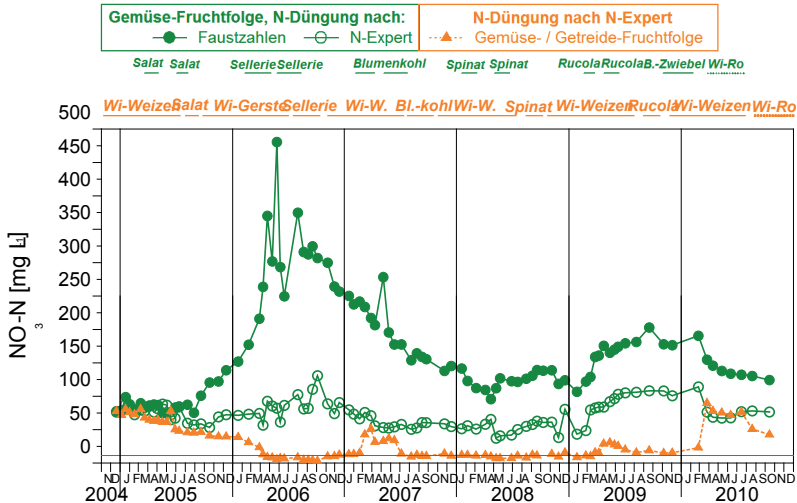


Abb. 2: Nitratkonzentrationen im Sickerwasser in 1 m Bodentiefe in einer Gemüsefruchtfolge (Düngebedarfsermittlung nach Faustzahlen und N-Expert) sowie einer Gemüse-/Getreidefruchtfolge (Düngebedarfsermittlung nach N-Expert). Lehmstandort „Queckbrunnerhof“ des DLR Rheinpfalz

5. Lösungsmöglichkeiten zur Minderung der Risiken

Um die Risiken der Spezialisierung zu reduzieren, müssen alle geeigneten Maßnahmen identifiziert und gegebenenfalls in das Anbausystem integriert werden. Dies soll abschließend am Beispiel eines umfangreichen Versuches (Armbruster et al., 2007) gezeigt werden, in dem die Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen (Düngerbedarfsermittlung, Fruchtfolge, Management der Ernterückstände) und Maßnahmenkombinationen im Hinblick auf die Verminderung der N-Bilanzüberschüsse im Gemüsebau untersucht wurde (Tab. 4).

Bei ausschließlichem Gemüseanbau in der Fruchtfolge können die N-Bilanzüberschüsse bei Düngung nach N-Expert ($129 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) im Vergleich zur Düngung nach Faustzahlen ($288 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) 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) auf dem Standort Rinkenbergerhof der LUFA Speyer (zum Standort vgl. Armbruster et al., 2008)

Düngung	Fruchtfolge	Management der Ernterückstände	Saldo [kg N ha ⁻¹ a ⁻¹]
Faustzahlen	Gem./Gem.	Verbleib	288
N-Expert	Gem./Gem.	Verbleib	129
SPAD	Gem./Gem.	Verbleib	100
N-Expert	So-Zwischenfr.	Verbleib	79
N-Expert	Wi-Zwischenfr.	Verbleib	62
N-Expert	Gem./Getr.	Verbleib	98
SPAD	So-Zwischenfr.	Verbleib	54
SPAD	Wi-Zwischenfr.	Verbleib	47
SPAD	Gem./Getr.	Verbleib	79
N-Expert	Gem./Gem.	Abfuhr	30
N-Expert	So-Zwischenfr.	Abfuhr	-29
N-Expert	Wi-Zwischenfr.	Abfuhr	-36
N-Expert	Gem./Getr.	Abfuhr	37

Gem. / Gem.: Intensive Gemüsefruchtfolge (zwei Kulturen pro Jahr)

So-Zwischenfr.: Gemüseanbau mit jährlicher Sommerzwischenfrucht

Wi-Zwischenfr.: Gemüseanbau mit jährlicher Winterzwischenfrucht

Gem. / Getr.: Gemüse- / Getreidefruchtfolge

Mit 129 kg N ha⁻¹ a⁻¹ war der N-Saldo aber auch bei N-Düngung nach N-Expert für einen wirkungsvollen Gewässerschutz sicherlich noch zu hoch. Kombiniert man ein treffsicheres Verfahren zur Düngerbedarfsermittlung mit dem Anbau von Zwischenfrüchten bzw. einer Gemüse-/Getreidefruchtfolge, so können die N-Bilanzüberschüsse weiter vermindert werden. Die Feinsteuerung der Düngung auf der Basis von SPAD-Chlorophyllmeter-Messungen kann in aufgelockerten Fruchtfolgen die N-Salden weiter vermindern. Schließlich zeigen die Untersuchungen, dass durch die Abfuhr der Ernterückstände die N-Bilanzüber-

schüsse im Gemüsebau sehr stark reduziert und sogar negative Werte erreicht werden können. 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. Da diese Maßnahme mit einem zusätzlichen Aufwand verbunden ist und eine entsprechende Erntetechnik für Gemüsereste auch noch nicht zur Verfügung steht, könnte sie zumindest für Zwischenfrüchte empfohlen werden.

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass auch unter den Bedingungen einer intensiven Gemüseproduktion durch ein integriertes Stickstoffmanagement eine wesentliche Verminderung von Stickstoffbilanzüberschüssen, und damit der Gefährdung des Grundwassers (diffuse Stickstoffeinträge) sowie der Atmosphäre (Lachgasemissionen) möglich ist. Dies erfordert allerdings unter Umständen eine teilweise Abkehr von der Spezialisierung.

6. Fazit

Am Beispiel des Freilandgemüsebaus wurde gezeigt, dass eine hochspezialisierte Pflanzenproduktion mit Chancen vor allem im Hinblick auf die Ökonomie und mit Risiken im Hinblick sowohl auf die Ökonomie als auch die Ökologie verbunden ist. Ansätze zur Minderung der ökonomischen Risiken liegen z. B. in der Erhöhung der Anzahl der im Betrieb angebaute Kulturen. Lösungsmöglichkeiten zur Minderung der ökologischen Risiken bestehen in der betriebspezifischen Entwicklung und Anwendung integrierter Stickstoff-Management-Systeme. Diese umfassen eine bedarfsgerechte Stickstoff-Düngung unter Berücksichtigung der N-Mineralisierung, die Integration von Zwischenfrüchten und landwirtschaftlichen Kulturen in die Gemüsefruchtfolgen, die Einführung N-effizienter Gemüsefruchtfolgen durch den Wechsel von flach- und tiefwurzelnden Gemüsearten sowie die Verwertung von N-reichen Ernteresten oder Zwischenfruchtbiomasse in Biogasanlagen bei gezielter Rückführung der Nährstoffe. Allerdings erfordert dies teilweise auch eine Abkehr von der Spezialisierung. Die Integration solcher Systeme kann auch durch den Flächentausch mit Ackerbaubetrieben oder eine Expansion der Gemüseanbaufläche, was meist eine Schaffung von zusätzlicher Beregnungsfläche erfordert, erfolgen.

7. Literatur

- Armbruster, M., Laun, N., Seibert, K., Wiesler, F., 2007: Verbesserung der N-Ausnutzung im Gemüsebau im Hinblick auf die Forderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 62, 110-119, Kongressband 2007 Göttingen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Armbruster, M., Laun, N., Wiesler, F., 2008: Stickstoffbilanzen und Nitratauswaschung bei unterschiedlichem N-Management im Gemüsebau VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 63, 103-114. Kongressband 2008 Jena, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Dirksmeyer, W., 2009: Betriebsstrukturen im Produktionsgartenbau. In: Dirksmeyer, W. (Hrsg.), 2009: Status quo und Perspektiven des deutschen Produktionsgartenbaus. Landbauforschung VTI Agriculture and Forestry Research, Sonderheft 25, S. 3-42, Braunschweig.
- Ruser, R., Müller, T., Armbruster, M., Wiesler, F., 2009: Lachgasfreisetzung eines gemüsebaulich genutzten Bodens in der Vorderpfalz. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 65, Teil 2: 72-78, Kongressband 2009 Karlsruhe, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Statistisches Bundesamt, 2011: GENESIS-Online Datenbank (<https://www-genesis.destatis.de>), Code 41242-0002 Anbaufläche (Gemüse und Erdbeeren): Deutschland, Jahre, Gemüsearten auf dem Freiland, Abrufdatum 20.07.2011.
- Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz, 2008: Anbau von Gemüse und Erdbeeren zum Verkauf 2008, Statistische Berichte Kennziffer: C I – 4j/08, Bad Ems.

Spezialisierung und vertikale Integration in der Tierproduktion – Chance oder Risiko?

H. Bronsema, L. Theuvsen

Georg-August-Universität, Department für Agrarökonomie,
Arbeitsbereich Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness, Göttingen

1. Einleitung

Seit dem Zweiten Weltkrieg ist die deutsche Landwirtschaft in den verschiedenen Produktionszweigen durch eine zunehmende Spezialisierung und Konzentration gekennzeichnet (Ilbery und Bowler, 1998). Das Portfolio der Einkommensquellen eines landwirtschaftlichen Betriebes schränkt sich damit einhergehend stark ein. Ergänzend zu der mit der Spezialisierung verbundenen einzelbetrieblichen Entscheidung über die strategische Ausrichtung auf Unternehmensebene können Kooperationsstrategien in unterschiedlichen betrieblichen Funktionsbereichen angewandt werden. Die vertikale Integration ist hierbei eine Form der Zusammenarbeit innerhalb der Wertschöpfungskette, die im Wesentlichen mit der Transaktionskostentheorie zu begründen ist (Williamson, 1985). Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick zur Verbreitung von Spezialisierung und vertikaler Integration in der deutschen Tierproduktion und zeigt auf, welche Chancen und Risiken mit diesen Strategien verbunden sind.

2. Strategische Entscheidungen in der Landwirtschaft

Traditionell ist die Ausrichtung landwirtschaftlicher Betriebe durch die natürlichen Standortfaktoren wie z. B. Boden, Klima, Topographie geprägt (Arndt, 2005). Darüber hinaus sind auch die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, die sich z. B. aus der Agrarpolitik, der Entwicklung der Agrarmärkte oder der gesellschaftlichen Akzeptanz landwirtschaftlicher Produktion ergeben, entscheidend. Eine Strategie auf einzelbetrieblicher Ebene ist das Bindeglied zwischen den genannten unternehmensexternen Faktoren und den unternehmensinternen Faktoren wie z. B. der Menge und Qualität der Faktorausstattung, der Finanzkraft oder den Managementfähigkeiten der Betriebsleitung. Zielsetzung der strategischen Entscheidungen ist die effiziente Nutzung

der gegebenen Bedingungen zur Maximierung des Unternehmenserfolges (Grant und Nippa, 2006).

Die Entscheidung zur Spezialisierung auf einen Produktionszweig ist im Rahmen der Unterscheidung verschiedener hierarchisch angeordneter Strategieebenen der obersten Ebene der (Gesamt-)Unternehmensstrategie zuzuordnen (vgl. Abb.1) (Johnson et al. 2011).



Abb.1: Spezialisierung und vertikale Integration als Strategieoptionen (eigene Darstellung nach Johnson et al., 2011)

Die weiteren Ebenen repräsentieren die Wettbewerbsstrategie(n) des Betriebs (z. B. Kostenführerschaft, Differenzierung oder Nischenstrategie) und seine Funktionalstrategien. Die Funktionalstrategien beschäftigen sich mit der Rahmensetzung für die Aufgaben im operativen Geschäft und in den einzelnen betrieblichen Funktionsbereichen, z. B. der Vermarktung (Becker und Fallgatter, 2005). Auf allen Strategieebenen besteht die Möglichkeit zur Implementierung von Kooperationsstrategien. Grundlegend kann zwischen der horizontalen und der vertikalen Kooperation unterschieden werden (Hensche, 1995). Die vertikale Integration ist als Kooperationsstrategie im Rahmen der Funktionalstrategien eines Unternehmens anzusiedeln. In diesem Beitrag wird zwischen dem Begriff der **vertikalen Integration** als **Koordinierung** wirtschaftlicher Entscheidungen **auf vertraglicher Basis** zwischen in der Wertschöpfungskette einander nachgeordneten Wirtschaftseinheiten (z. B. Futtermühle, Mastanlage, Schlachtereie) (Hensche et al., 1996) und der **vollständigen vertikalen Integration**, die die Einbeziehung sämtlicher Produktionsstufen **unter einheitlicher Unternehmensleitung** bezeichnet (Klohn und Windhorst, 2003), unterschieden.

3. Spezialisierung und vertikale Integration – Status quo

Spezialisierung ist die vorherrschende Strategie in der Tierproduktion in Deutschland, um die Wettbewerbsfähigkeit auf einzelbetrieblicher Ebene zu gewährleisten (Sundrum, 2006). Diese Entwicklung der Spezialisierung auf wenige oder sogar nur einen Betriebszweig ist nicht nur auf einzelbetrieblicher Ebene zu beobachten, sondern findet auch in der Herausbildung regionaler Cluster der Tierhaltung ihren Ausdruck. Am Beispiel des Bundeslandes Niedersachsen zeigt sich, dass dieser Prozess zu einer deutlichen Konzentration von Tierbeständen führen kann. Jedes dritte Schwein und ca. 50 % des Mastgeflügels in Deutschland werden derzeit in Niedersachsen gehalten. Auch in der Milchviehhaltung hat Niedersachsen mit einem Anteil von 17,4 % des bundesdeutschen Milchviehbestandes einen beträchtlichen Anteil (Bäuerle, 2008). Die Betrachtung unterschiedlicher Produktionsregionen in Niedersachsen verdeutlicht zudem die starke kleinräumige Konzentrierung der Tierbestände innerhalb dieses Bundeslandes; so variiert der durchschnittliche GV-Besatz je ha zwischen 0,27 GV/ha in der südniedersächsischen Ackerbauregion im Raum Braunschweig und 1,90 GV/ha in der Veredlungsregion Weser-Ems, (Schütte, 2011). Weiterhin besteht bundesweit insbesondere in der Schweine- und Milchviehhaltung ein Trend zur Erweiterung der Tierproduktion in den Schwerpunktregionen einerseits und zur Abwanderung aus ohnehin vieharmen Gebieten andererseits, welcher sich in jüngerer Zeit weiter verstärkt. Die süddeutschen Bundesländer verzeichnen hierbei tendenziell einen Abbau von Produktionskapazitäten, während in den nord- und ostdeutschen Bundesländern die Produktion erweitert wird (Heilmann 2011; Hortmann-Scholten, 2011).

Vertikale Integration ist in der Tierproduktion in der Geflügelhaltung und in deutlich geringerem Umfang in der Schweinehaltung anzutreffen (Veauthier und Windhorst, 2008). Es handelt sich um eine besondere, auf vertraglicher Koordination basierende Form der vertikalen Bindung. Die Ausprägungsformen letzterer beschreiben ein Kontinuum zwischen den Endpunkten des Spotmarkts und der vollständigen vertikalen Integration (Spiller et al., 2005; Williamson, 1985) (vgl. Abb. 2). Die Zwischenstufen repräsentieren das Spektrum unterschiedlich intensiver vertraglicher Zusammenarbeit (vertikaler Integration) zwischen Erzeugern und Verarbeitern. Mit steigendem vertikalen Integrationsgrad nimmt die Flexibilität in der Wahl der Geschäftspartner, des Produktionsprozesses und der Absatzmenge ab (Veauthier und Windhorst, 2008).

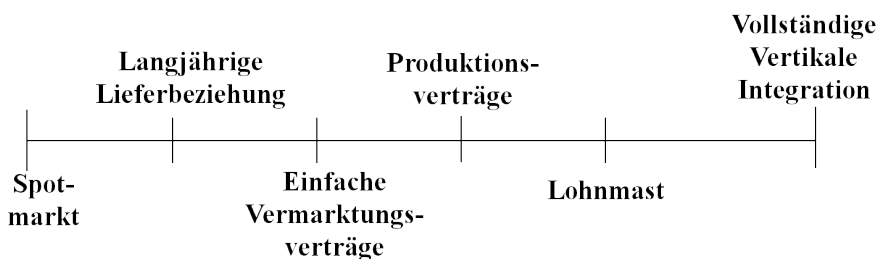


Abb. 2: Spektrum vertikaler Bindungen am Beispiel der Fleischwirtschaft (eigene Darstellung nach Spiller et al. 2005)

In Deutschland sind vertikale Verbundsysteme in der Geflügelhaltung die dominierende Organisationsform. Kennzeichnend ist die Zusammenfassung sämtlicher Vorleistungs- (Bruteierzeugung, Mischfutterherstellung) und Vermarktungsstufen (Schlachtung, Verarbeitung) unter einem Unternehmensdach. Ausgelagert ist die Aufzucht und Mast, die in externen selbstständigen landwirtschaftlichen Betrieben erfolgt. Vorteile werden in einer höheren Produktivität eigenverantwortlicher Landwirte im Gegensatz zu Betrieben mit Lohnarbeitskräften gesehen. Der durch das integrierte Unternehmen vorgegebene Rahmen der Produktionsbedingungen gewährt den Landwirten jedoch nur wenig Entscheidungsspielraum. Ca. 80 % der landwirtschaftlichen Geflügelmäster in Deutschland produzieren derzeit in den aufgezeigten vertikalen Produktionssystemen (Veauthier und Windhorst, 2008).

Im Gegensatz zur Geflügelhaltung ist in der Schweinehaltung die Zusammenarbeit innerhalb der Wertschöpfungskette wesentlich differenzierter zu betrachten. Das gesamte Spektrum vertikaler Kooperationsformen ist vorzufinden. Es dominieren langfristige, jedoch nicht vertraglich abgesicherte Geschäftsbeziehungen zwischen Erzeugern und Verarbeitern. Soweit vertragliche Bindungen bestehen, unterscheiden diese sich hinsichtlich Laufzeiten, Kündigungsfristen, Andienungs- und Abnahmepflichten usw. erheblich. Enge Formen der vertikalen Bindung, etwa Produktionsverträge, beschränken sich auf sehr kleine, klar umgrenzte Marktsegmente (Spiller et al., 2005). Von größerer Bedeutung sind hingegen horizontale Zusammenschlüsse auf Erzeugerebene. In Niedersachsen erzielen Erzeugergemeinschaften einen Marktanteil von ca. 40 % der Gesamterzeugung (Veauthier und Windhorst, 2008).

4. Risiken und Chancen

Zielsetzung der landwirtschaftlichen **Spezialisierung** ist die Fokussierung auf einen Produktionsschwerpunkt, die die Realisierung von produktionstechnischen Vorteilen erlaubt. Die konsequente Nutzung des technischen Fortschrittes, die Professionalisierung des Produktionsmanagements und die in spezialisierten Betrieben häufig besseren biologischen Leistungen ermöglichen Kostenvorteile sowie die Generierung höherer Erlöse. Die Spezialisierung ist in der Regel mit einer Ausweitung der Tierbestände verbunden, die durch Kostendegression die Spezialisierungsvorteile weiter verstärkt (Lüpping und Schaper, 2009). Gleichzeitig erhöht eine auf Spezialisierung und Wachstum ausgerichtete Betriebsstrategie bei zunehmend volatileren Marktverhältnissen das Liquiditätsrisiko des Einzelbetriebes, da der Ausgleich zwischen verschiedenen Betriebszweigen fehlt und klassische Stabilitätsfaktoren landwirtschaftlicher Familienbetriebe wie eine hohe Eigenkapitalausstattung und eine familiäre Arbeitsverfassung oft nur noch eingeschränkt gegeben sind. Die Etablierung eines professionellen Risikomanagements ist daher essentiell (Bahrs et al., 2004). Weiterhin birgt die Akkumulation von Viehhaltungsbetrieben in bestimmten Regionen neben Vorteilen (z. B. bezüglich der Infrastruktur und der Verfügbarkeit von Know-how) zunehmend die Gefahr von Produktionshemmnissen, die sich u. a. aus steigenden Pachten, erhöhten Umweltauflagen sowie steuerlichen Nachteilen gewerblicher Tierhaltung ergeben (Sundrum, 2005).

Die Vorteilhaftigkeit **vertikaler Integration** wird im wissenschaftlichen Diskurs insbesondere mit der Transaktionskostentheorie begründet. Transaktionskosten stellen sämtliche Kosten dar, die bei Austauschprozessen in der Wertschöpfungskette entstehen, die in der Praxis u. a. durch Informationsasymmetrien, unvollkommenen Wettbewerb und begrenzt rationales Verhalten der Marktteilnehmer erschwert werden (den Ouden et al., 1996). Vertikale Integration ist eine Möglichkeit, unter bestimmten Bedingungen die Transaktionskosten zu senken. Mit der Zunahme transaktionsspezifischer Investitionen, der Häufigkeit der Transaktionen, der Unsicherheit und der Bedeutung produktverändernden Erfahrungswissens wird von einem ansteigenden Grad vertikaler Integration ausgegangen (Hoff, 1994). Die aufgezeigten Schlüsselvariablen treffen insbesondere auf die Geflügelfleischerzeugung, die durch kurze Produktionsperioden, wenige Abnehmer von Geflügelfleisch, hohe Qualitätsanforderungen und geringe Markttransparenz geprägt ist, zu. Weitere Vorteile weist die vertikale Integration hinsichtlich der Rückverfolgbarkeit auf (Theuvsen, 2003). Aus Sicht

der Landwirtschaft kann die vertikale Integration Absatzsicherheit aufgrund der engen vertraglichen Bindung bieten und Preisschwankungen der Agrarmärkte reduzieren.

Gravierende Nachteile vertikal integrierter Systeme ergeben sich für die landwirtschaftliche Produktionsstufe jedoch durch die Einschränkung des unternehmerischen Entscheidungsspielraumes, die aus den engen Produktionsvorgaben der vertraglichen Bindung resultiert. Weiterhin besteht die Gefahr einer einseitigen Machtkonzentration aufgrund der Abhängigkeit des Primärproduzenten vom integrierenden Unternehmen sowohl im Vorleistungsbereich als auch bei der Vermarktung (Veauthier und Windhorst, 2008). Darüber hinaus ist die Fähigkeit integrierter Ketten, sich an schnell wechselnde Marktbedingungen anzupassen, geringer (Spiller et al., 2005).

5. Schlussfolgerungen

Spezialisierung ist die dominierende Unternehmensstrategie deutscher Tierproduzenten, was ein Indiz für die ökonomische Überlegenheit dieser Strategie ist. Die Spezialisierungstendenz ist nicht nur auf einzelbetrieblicher Ebene zu beobachten, sondern setzt sich auf regionaler Ebene fort. Diese Herausbildung spezifischer Produktionscluster führt zu einer sich selbst verstärkenden Expansion der Produktion, die jedoch bei zunehmender Knappheit von Produktionsfaktoren und Erhöhung von gesetzlichen Auflagen an Grenzen stößt. Aus Sicht des Einzelbetriebes erfordert zudem die Problematik des steigenden Liquiditätsrisikos ein effizientes Risikomanagement.

Vertikale Integration kann neben anderen Optionen (z. B. horizontale Kooperation, Kontraktgeschäfte) eine Möglichkeit sein, Risiken für landwirtschaftliche Betriebe zu reduzieren. Während die Entscheidung für oder gegen Spezialisierung auf Ebene des Erzeugerbetriebes für nahezu jeden Betriebszweig gefällt werden kann, ergibt sich die Entscheidung für oder gegen die Produktion in vertikalen Verbundsystemen im Wesentlichen aus der Entscheidung für oder gegen einen bestimmten Betriebszweig. Eine Investition in die Geflügelhaltung bedeutet nahezu zwangsläufig die Partizipation an einem vertikal integrierten Verbundsystem. Eine weitere Verbreitung und Übertragung der vertikalen Integration auf andere landwirtschaftliche Produktionszweige wie z. B. die Schweinehaltung scheint in Deutschland aus heutiger Perspektive wenig wahrscheinlich, da hier

eine Vorteilhaftigkeit im Sinne der Transaktionskostentheorie kaum erkennbar ist. Zudem reduziert die starke Verbreitung stufenübergreifend agierender Qualitätssicherungssysteme zumindest bei der Produktion von Standardware die Notwendigkeit der vertikalen Integration. Ebenfalls ist eine starke Ablehnung deutscher Tierproduzenten gegenüber vertikaler Integration zu konstatieren (Spiller et al., 2005).

6. Literaturangaben

- Arndt, J., 2005: Landwirtschaft in Baden-Württemberg – ein Mosaik aus regionaler Vielfalt. In: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg, 2/2005, 19-24.
- Bahrs, E., Fuhrmann, R., Muziol, O., 2008: Die künftige Finanzierung landwirtschaftlicher Betriebe - Finanzierungsformen und Anpassungsstrategien zur Optimierung der Finanzierung. In: Landwirtschaftliche Rentenbank (Hrsg.): Herausforderungen für die Agrarfinanzierung im Strukturwandel, Band 19, Frankfurt a. Main, 7-49.
- Bäuerle, H., 2008: Die Agrar- und Ernährungswirtschaft in Niedersachsen. Weiße Reihe, Band 32, Vechta.
- Becker, F. G., Fallgatter, M. J., 2005: Strategisches Unternehmensführung. Berlin.
- Den Ouden, M. et al., 1996: Vertical Cooperation in Agricultural Production – Marketing Chains, with Special Reference to Product Differentiation in Pork. In: Agribusiness, Band 12, Heft 2, 277-290.
- Grant, R. M., Nippa, M., 2006: Strategisches Management. München.
- Heilmann, H., 2011: Milchquotenpreise im Osten weiter auf Talfahrt. Pressemitteilung der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow.
- Hensche, H.-U., 1995: Marktorientierte Kooperation im Agrarbereich. Forschungsberichte des Fachbereichs Landbau Soest, Nr. 2, Soest.
- Hensche, H.-U. et al., 1996: Analyse der Schweinefleischproduktion seit 1980. Forschungsberichte des Fachbereichs Landbau Soest, Nr. 6, Soest.
- Hoff, K., 1994: Ein Modell zur faktoranalytischen Bestimmung der Transaktionskosten auf Agrarmärkten. In: Agrarwirtschaft, Band 43, Heft 7, 278-285.
- Hortmann-Scholten, A., 2011: Spezialisierung oder Diversifizierung – Markt- und Unternehmensentwicklung in einer Intensivregion. Vortrag im

- Rahmen des 123. VDLUFA-Kongresses, Speyer.
- Ilbery, B. W., Bowler, I., 1998: From Agricultural Productivism to post-Productivism. In: Ilbery, B. W. (Hrsg.): The Geography of Rural Change, London, 57-84.
- Johnson, G., Scholes, K., Whittington, R., 2011: Strategisches Management – Eine Einführung. München.
- Klohn, W., Windhorst, H.-W., 2003: Die Landwirtschaft in Deutschland. Vechtaer Materialien zum Geographieunterricht, Heft 3, Vechta.
- Lüpping, W., Schaper, C., 2009: Erfolgsfaktoren in der Milchproduktion: Ergebnisse eines Benchmarking auf Basis einer Vollkostenauswertung. In: Theuvsen, L., Schaper, C. (Hrsg.): Milchwirtschaft ohne Quote, Lohmar, Köln, 55-83.
- Schütte, R., 2011: Wohin wandert die niedersächsische Viehhaltung? Pressemitteilung Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg.
- Sundrum, A., 2005: Perspektive der Nutztierhaltung in Deutschland aus Sicht der Produktionsebene. In: Berichte über Landwirtschaft, Band 83, Heft 1, 14-32.
- Spiller, A. et al., 2005: Sicherstellung der Wertschöpfung in der Schweineerzeugung: Perspektiven des Nordwestdeutschen Modells. Gutachten des Departments für Agrarökonomie der Georg August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Theuvsen, L., 2003: Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln: Herausforderungen und Lösungsansätze aus organisationstheoretischer Sicht. In: Berichte über Landwirtschaft, Band 81, Heft 4, 555-581.
- Veauthier, A., Windhorst, H.-W., 2008: Organisationsformen in der Erzeugung tierischer Nahrungsmittel. Weiße Reihe, Band 31, Vechta.
- Williamson, O. E., 1985: The Economic Institutions of Capitalism. New York – London.

Herausforderungen an die Tiergesundheit in der spezialisierten Tierhaltung

G. Wittkowski

Tiergesundheitsdienst Bayern e. V., Grub, Poing

1. Spezialisierung

Spezialisierung ist der normale Weg in der gesellschaftlichen Entwicklung. Sie ist unabhängig von der Wirtschaftsform oder der Betriebsgröße. Dies gilt auch für die Nutztierhaltung. Spezialisierung erleichtert die Nutzung des technisch-wissenschaftlichen Fortschrittes, die Verbesserung der Qualifikation, der Fertigkeiten und des Managements, die Erhöhung der Produktivität, die Senkung der Kosten, marktgerechte Angebote (z. B. von Ferkelpartien), die tiergerechte Haltung und das Bestandwachstum. Die Spezialisierung führt zur Arbeitsteilung zwischen Betrieben und Regionen.

Seit den 1960er Jahren erkannte man die Bedeutung von Produktions- und Haltungsfaktoren für die Entstehung von Tierkrankheiten. Es wurden Begriffe wie production disease, crowding disease und infektiöse Faktorenerkrankung geprägt (Rolle und Mayr, 1978). Das war ein Fortschritt in der Tiermedizin, weil diese Begriffe die Aufmerksamkeit auf die Möglichkeiten der Krankheitsvermeidung und -prophylaxe lenkten. Bis heute hat eine weitere Differenzierung derartiger Krankheitsbegriffe stattgefunden, z. B. in Metabolo-, Techno-, Öko- und Ethopathien (Stöber, 2006).

2. Herausforderungen und Risiken

Die Nutztierhaltung unterliegt u. a. folgenden Herausforderungen und Risiken:

- Nutzungskonkurrenz von Futter- und Energiepflanzen, Flächenarmut mit Folge fehlender Wachstumsmöglichkeiten,
- Futtermangelrisiken durch Klimaveränderungen,
- Globalisierung von Seuchen, Tier- und Warenverkehr,
- Zoonosen und Lebensmittelsicherheit,
- gesellschaftliche Anforderungen an das Tierwohl von der Geburt bis zur Schlachtung,

- Tiergerechtheit und Bestandshygiene sowie
- Gesundheitsrisiken wachsender Bestände.

Der Anstieg der Häufigkeit von Trockenperioden und Unwettern, wie er im Rahmen des Klimawandels prognostiziert wird, kann zu Futtermangel mit der Folge von Mangel-, Fehlernährung und Stoffwechselstörungen ebenso wie zur vorzeitigen Verwertung von Nutztieren durch Schlachtung führen. Die Nutzungskonkurrenz zwischen Futter- und Energiepflanzenbau sowie die Flächenarmut kann regional diese Probleme verstärken. Energiepflanzen von Futterpflanzen unterscheiden sich im Futterwert und Reifeverhalten, so dass bei ihrer Verwendung als Futterpflanzen Leistungsminderungen und Stoffwechselstörungen nicht auszuschließen sind.

Die Seuchenzüge der letzten Jahre haben gezeigt, dass Erreger Staatsgrenzen oder Kontinente überspringen und jeden Ort auf der Welt unerkannt innerhalb der Inkubationszeit von Seuchen erreichen können. Jüngste Beispiele sind die Ausbreitung der Influenza H5 N1 auf der Welt oder der afrikanischen Schweinepest in Osteuropa. Die Ausweitung einer Wirtschaftsgemeinschaft wie der EU „gemeindet“ Seuchengebiete ein und erhöht durch Erleichterungen des Waren-, Tier- und Personenverkehrs das Seuchenrisiko.

Bei horizontalen Infektionen ist die Verbreitung von Infektionen in Tiere aufnehmenden Regionen höher als in Tiere abgebenden Regionen. So war das Vorkommen von BHV1 in den Kälber aufnehmenden Mastregionen Bayerns des Donauraums bei Beginn der freiwilligen Bekämpfung wesentlich höher als in den Kälber abgebenden Regionen des Voralpenlandes und Nordostbayerns. Bei einer staatenübergreifenden Arbeitsteilung wie z.B. Ferkelerzeugung in den Niederlanden und Dänemark mit folgender Mast in Deutschland ändern sich die Tierverkehrsströme und damit die regionalen Seuchenrisiken.

Wildtiere sind ein bedeutsames Erregerreservoir und stellen ein Infektionsrisiko für die Nutztierhaltung dar, wie z. B. Europäische Schweinepest bei Wildschweinen, Tbc beim Rotwild, Dachs und Kaninchen, Paratuberkulose bei Schalenwild, Salmonelleninfektion bei Tauben und Influenza bei Wassergeflügel. Extensivierung oder Änderungen in der Ackernutzung beeinflussen das Wildvorkommen und infolgedessen die Infektionsrisiken für die Nutztierhaltung.

Die Zugangssicherung von Nutztierhaltungen und Futterlagerstätten gegenüber Personen, belebten und unbelebten Vektoren, Waren und Personen hat zuneh-

mende Bedeutung. Die derzeitige Gestaltung von Ställen und Hofanlagen trägt dem nicht immer in ausreichendem Maße Rechnung. Bei professionellen Tierhaltern besteht eine hohe Wachsamkeit für die Seuchengefahren und Verständnis für hygienische Maßnahmen. Dies ist bei Hobbyhaltern leider häufig nicht der Fall. Allerdings ist dies von diesem Personenkreis ebenso zu fordern – gibt es doch genügend Beispiele von primären Seuchenausbrüchen in Hobbyhaltungen. Geeignete Instrumente zur Senkung des Seuchenrisikos sind tierärztlich geleitete Produktionshygieneverfahren in Zusammenhang mit der Erteilung von Gesundheitszeugnissen wie sie z. B. vom Tiergesundheitsdienst Bayern e. V. bei Ferkelerzeugern durchgeführt werden.

Die Klimaerwärmung erhöht nicht allein die Durchschnittstemperatur sondern auch die Anzahl der Sommertage (>25°C) und der Hitzetage (>30°C). Sie begünstigt die Bakterien- und Parasiten- Vermehrung außerhalb von Tieren, verkürzt die Entwicklungszyklen von Magen- Darm-Parasiten mit Folge einer erhöhten Weidekontamination, schafft Raum für neue Zwischenwirte und Infektketten (BT, Besnoitiose) und verstärkt Kreislaufbelastungen. Bereits heute zeigt sich dies an den saisonalen Veränderungen in der Milchzellzahl oder der Anzahl verendeter Kühe im Sommer. Im Stallbau, auch in Außenklimaställen, muss der Sommerhitze und den Witterungseinflüssen im Winter besser Rechnung getragen werden.

Seit 2006 hat der Landwirt als Lebensmittelunternehmer gesetzlich weitergehende Pflichten, insbesondere darf er Erzeugnisse nicht vertreiben, von denen bei bestimmungsgemäßen Gebrauch anzunehmen ist, dass sie Mensch oder Tier schädigen. Damit erhielten Infektionen von Nutztieren mit Zoonoseerregern, die in der Regel beim Nutztier ohne Krankheitssymptome oder Leistungseinbußen verlaufen, eine neue Bedeutung. Für die Ausbreitung von Zoonosen innerhalb der Nutztierbestände spielt der faekal-orale Infektionsweg eine entscheidende Rolle. Mit der Laufstall- und Boden- und Großgruppenhaltung wird die Möglichkeit von direkten Tierkontakten erhöht. Dadurch hat dieser Infektionsweg an Bedeutung gewonnen. Kot, Schmutz, Harn und Staub sind die wesentlichen Infektionsquellen, die rasch aus dem Tierumfeld durch ein optimales Kot- und Harnmanagement entfernt werden müssen. Es beinhaltet vor allem die Vermeidung des Kontaktes von Jungtieren mit Alttierkot und -harn u. a. durch Absetzen von Kälbern vor dem ersten Stehversuch, die kreuzungsfreie Trennung von Fütterungs-, Entmistungs- und Triebwegen, den Entmistungsbeginn im Jungtier-, Geburts- und Hochtragendenbereich, keine Verwendung von Alttierkot auf Jungtierweiden.

Es besteht ein Zielkonflikt zwischen artgerechter Haltung, die Bewegungsfreiheit, Sozialverhalten und damit direkte Tierkontakte fördert, und hygienischen Anforderungen. Das Vorkommen von Zoonoseerregern kann mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nur durch die Nachzucht eines erregerfreien bzw. -armen weiblichen Tierstapels wesentlich gesenkt werden. Deshalb sollten die weiblichen Nachkommen möglichst frühzeitig separat aufgezogen werden. Dieses grundlegende Prinzip erfolgreicher Seuchenbekämpfung könnte auch bei Zoonosen genutzt werden. Gesellschaftlich muss akzeptiert werden, dass damit langfristige Ziele verfolgt werden und der Wirtschaftlichkeit der Nutztierhaltung als die wesentliche Grundlage einer nachhaltigen Infektionsbekämpfung gewahrt wird.

In den gemäßigten Klimazonen der Nordhalbkugel ist die Rangfolge der Bedeutung von Krankheiten bei Wiederkäuern und Schweinen gleich – unabhängig von der Betriebsgröße:

1. Infektiöse Faktorenerkrankungen
 - Euter- und Gesäugekrankheiten,
 - Durchfall der Neugeborenen
 - Atemwegserkrankungen der Jungtiere
2. Fruchtbarkeitsstörungen
3. Klauen- und Gliedmaßenkrankungen
4. Stoffwechselstörungen/Vergiftungen
5. Parasitosen

Allerdings nehmen mit wachsenden Beständen die Ertragsausfallsrisiken zu und übersteigen unter Umständen die Liquidität der Nutztierhalter (Tab. 1), so dass Ertragsausfallversicherungen von Banken zur Voraussetzung für die Vergabe von Krediten gemacht werden.

Tab. 1: Ertragsausfallentschädigungen in den Jahren 1993 bis 2007,
Vereinigte Tierversicherung Gesellschaft a. G., Wiesbaden

Entschädigungsgrund	Durchschnittliche Entschädigung pro Fall (€)	Maximale Entschädigung pro Fall (€)
<i>- in Rinderbeständen</i>		
Salmonellose	54 235	477 343
Eutererkrankungen	48 524	1 531 319
Gliedmaßenerkrankungen	32 416	356 097
Chlamydien	32 327	258 923
Seuchen	29 205	1 281 123
Durchfallerkrankung	26 463	166 531
<i>- in Schweinebeständen</i>		
Schnüffelkrankheit	45 781	391 767
Atemwegserkrankungen	42 403	1 009 489
Durchfallerkrankungen	33 565	794 936
PRRS	32 253	1 301 824
Seuchen	24 538	586 436
Vergiftungen	20 794	95 998
Salmonellose	19 794	60 169

3. Optimierungsschwerpunkte

In der Nutztierhaltung bedarf es insbesondere der Optimierung

- der Zugangssicherheit von Ställen und Futterlagern,
- der Hitzereduktion bei Stallhaltung,
- der Abpufferung von Witterungseinflüssen in Jungviehställen im Winter,
- des Kot- und Harnmanagements zur Unterbrechung des faekal-oralen Infektionsweges insbesondere zwischen weiblichen Jung- und Alttieren,
- der Rein-Raus-Belegung im Geburtsbereich,
- einer erregerefreien oder -armen Nachzucht durch separate Neugeborenen- und Jungtierhaltung,

Die Spezialisierung in der Tierhaltung erleichtert die Optimierung der Tierhaltung und die Bewältigung tiergesundheitslicher Probleme. Spezialisierung schützt

aber nicht vor Fehlern in der Betriebsführung und in der Gestaltung von Tierhaltungen.

4. Literaturangaben

Rolle M., Mayr, A., 1978: Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre für Tierärzte, Biologen und Agrarwissenschaftler 4. Auflage, 31-32, Enke, Stuttgart.

Stöber, M., 2006: Aufgliederung der Rinderkrankheiten nach deren Lokalisationen und Ursachen. In: Dirksen, G., Gründer, H.-D., Stöber, M., (Hrsg.): Innere Medizin und Chirurgie des Rindes, 5. Auflage, 6-22, Parey in MVS Medizinverlage, Stuttgart.

Erfolgreiche Milch- und Fleischerzeugung unter Nutzung der Beratung

H. Spiekers¹, H. Lindermayer¹, M. Pries²

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futtermittelwirtschaft, Poing-Grub, ²Landwirtschaftskammer NRW, Münster

1. Einführung

Die Erzeugung von Milch und Fleisch ist mit mittleren Verkaufserlösen von 8,5 Milliarden Euro für Milch und 10,3 Milliarden Euro für Fleisch je Jahr im Zeitraum 2005-2009 von erheblicher Bedeutung (DVT, 2011). Hierbei ist ein starkes Wachstum der Betriebe und eine zunehmende Spezialisierung festzustellen. Diese Entwicklung erhöht die Risiken, die durch Preisschwankungen, Ernteaussfälle, Einbrüche in der Tiergesundheit und Beeinträchtigungen bei den Arbeitskräften auftreten können. Eine Möglichkeit sich hier besser aufzustellen ist die Nutzung von Beratung.

Im nachstehenden Beitrag sollen dazu einige Aspekte aufgeführt werden. Hierbei ist zu beachten, dass das Thema Beratung in der Landwirtschaft nur noch wenig wissenschaftliche Bearbeitung findet. Im Bereich der Tierhaltung befasst sich der Bundesarbeitskreis der Fütterungsreferenten mit dieser Thematik (Spiekers et al., 2006). Die Situation in den einzelnen Bundesländern ist sehr verschieden (Angermüller, 2009; Schuster, 2011). Von den Autoren wird daher beispielhaft die Situation in NRW und Bayern näher beschrieben.

2. Spezialisierung in der Tierhaltung

Aus den Daten des statistischen Bundesamtes zur Viehzählung geht hervor, dass in Deutschland noch ca. 230 000 Betriebe Nutztiere halten. Zu beachten ist hierbei jedoch, dass für die einzelnen Nutztiere unterschiedliche Vorgaben für die Zählung gelten. Im Rinderbereich wird über die konsequente Meldung über HIT-Tier jeder Halter erfasst. In der Eierzeugung werden erst Betriebe ab 3 000 Legehennen als Halter gezählt. Dies ist bei Betrachtung der Daten der Tabelle 1 zu beachten.

Tab. 1: Struktur der Nutztierhaltung in Deutschland (2010)

Produktionsrichtung	Anzahl Betriebe
Milcherzeugung	94 000
Jungbullenmast	83 000
Ferkelerzeugung	16 000
Schweinemast	33 000
Eiererzeugung**	1 100
Hähnchenmast*	8 700
Putenmast*	2 300

Quelle: statistisches Bundesamt; Institut für Ernährung und Markt der LfL, München *2007; **>3 000 Hennenplätze

Trotz dieser Einschränkung ist bereits aus der Anzahl der Betriebe ersichtlich, dass die Spezialisierung im Geflügelbereich und auch beim Schwein erheblich stärker vorangeschritten ist als im Rinderbereich. Sowohl die Jungbullenmast als auch die Mutterkuhhaltung erfolgen vielfach in sehr kleinen Beständen. In der Tabelle 2 wurden daher nur die spezialisierten Betriebe aufgeführt. Gezählt wurden hierzu die Betriebe mit größeren Beständen.

Tab. 2: Umfang der spezialisierten Tierhaltung (Anzahl Betriebe und Anteil an den Betrieben und an der Produktion) in Deutschland (2010)

Verfahren	Plätze/Betrieb	Betriebe		Produktion
		n	%	%
Milchkühe	>100	7 200	8	34
Mastbullen	>100	1 200	2	20
Sauen	>250	2 100	13	50
Mastschweine	>2 000	1 900	6	27
Legehennen	>30 000	280	25	74
Masthähnchen*	>50 000	330	4	69
Mastputen*	>20 000	430	19	84

Quelle: statistisches Bundesamt; Institut für Ernährung und Markt der LfL, München *2007

In der Geflügelhaltung sind dies etwas mehr als 1 000 Betriebe, auf die mehr als 70 % der Produktion entfällt. Eine starke Spezialisierung ist ferner im Schweinebereich ersichtlich. Ca. 2 100 Betriebe halten mehr als 250 Sauen je Betrieb und decken damit etwa die Hälfte der Erzeugung ab. Die starken Abschlüsse für kleinere Partien Ferkel und die Vorschrift zur Gruppenhaltung etc. werden hier die Spezialisierung weiter befördern. Die geringste Spezialisierung ist in der Jung-

bullenmast ersichtlich, da noch ein erheblicher Teil in Milchvieh- und Mutterkuhbetrieben in Form der Ausmast der eigenerzeugten Tiere erfolgt. Außerdem ist die Bullenmast oft und die Schweinemast teils ein zweites Standbein in Ackerbaubetrieben.

In der Milcherzeugung ist ein starker Trend zur Spezialisierung zu erkennen. Betriebe mit 200 und mehr Milchkühen nehmen stark zu. Nachfrage nach Beratung besteht insbesondere in den wachsenden Betrieben der Ferkel- und Milcherzeugung.

3. Beratungsangebot

Das Angebot an Beratung für Nutztierhalter wird sowohl von der Trägerseite als auch von den Inhalten immer vielschichtiger. Ein genereller Trend ist, dass sich der Staat immer mehr aus der Beratung für die unternehmerischen Tierhaltungsbetriebe zurückzieht. Ferner ist die Beratung fast durchgängig kostenpflichtig. Aus der Tabelle 3 ist eine Übersicht zum Beratungsangebot ersichtlich. Bei den Beratungsanbietern wurde in die Gruppen „Offizial-Beratung“, Privatberatung und firmengebundene Beratung unterschieden. In der firmengebundenen Beratung haben die Futtermittelindustrie und die Integratoren im Geflügelbereich eine starke Bedeutung. Haupttätigkeitsfeld ist hier die Abstimmung der Produktion und die produktionstechnische Beratung in Fragen zur Fütterung, Haltung und Gesundheitsvorsorge.

Die private Beratung geht aus von Beratungsbüros, Tierärzten bis z. B. Verbänden zum ökologischen Landbau bzw. des Berufsstandes. Entsprechend vielfältig ist das Angebot. Die klassische Beratung durch staatlich geförderte Einrichtungen bzw. den Staat selber ist starken Änderungen unterworfen. Eine starke Stellung haben je nach Bundesland die Landwirtschaftskammern, Beratungsringe bzw. Einrichtungen in der Tierzucht wie die Landeskontrollverbände. Stark vertreten ist die staatliche Beratung noch in Bayern, u. a. in Fragen der Unternehmensentwicklung sowie als Koordinator der produktionstechnischen Beratung.

Tab. 3: Übersicht zum Beratungsangebot in der Tierhaltung

Beratungsanbieter	Fütterung, Haltung etc.	Ökonomie, Betriebsent- wicklung
<u>„Offizial-Beratung“:</u>		
- Staat	X	XX
- Landwirtschaftskammern	X	XX
- Ringe	XX	X
- LKV etc.	XX	(X)
<u>Privatberatung:</u>		
- Beratungsbüros	(X)	XX
- Einzelberater	X	(X)
- Tierärzte	X	-
- Verbände	X	(X)
<u>firmengebundene Beratung:</u>		
- Integratoren	XX	(X)
- Futtermittelindustrie	XX	-
- Zulieferer	X	-
- Dienstleister etc.	(X)	(X)

XX - groß, X - mittel, (X) - vereinzelt, - kein Angebot

Hauptangebote sind ökonomische Auswertungen zum Controlling und die Betriebsentwicklung sowie produktionstechnische Empfehlungen insbesondere in den Bereichen Futter und Fütterung. Ein klassisches Produkt ist die Betriebszweigauswertung (BZA) für die Milcherzeugung einschließlich Jungrinder aufzucht sowie Rindermast und Schweinehaltung. In den Beratungsringen erfolgt vielfach eine Berechnung der direktkostenfreien Leistung. Beim Futter interessiert die Futter- und Anbauplanung sowie die Rationsplanung und Rationskontrolle. Fragen zu Umwelt, Tierwohl und Betriebsentwicklung nehmen in der Beratung zu.

Aus den Tabellen 4 und 5 sind einige wichtige Daten zur Beratung in NRW und Bayern ersichtlich, die stellvertretend die Bandbreite und die aktuellen Trends in der Beratung aufzeigen. In NRW sind die Landwirtschaftskammer NRW, die Erzeugerringe und die firmengebundene Beratung die wichtigsten Akteure. Bei Rind und Schwein haben die Futtermittellieferanten eine erhebliche Bedeutung in der Fütterungsberatung. Praktisch jeder Tierhalter hat Kontakt, da der Zukauf von Misch- oder Ergänzungsfutter üblich ist. In der Geflügelmast haben die Integratoren eine starke Stellung. Durch die Landwirtschaftskammer ist eine

Betriebszweigauswertung für die Hähnchenmast im Aufbau. In der Produktionstechnik wird Einzelberatung durch die Landwirtschaftskammer angeboten.

Tab. 4: Beratung für Tierhalter in NRW (2010) nach Anbieter und Produktionsrichtung

Verfahren	Landwirtschaftskammer		Ring	Privat
	BZA**	Produktion		
Milchviehhalter	1.300	350*	-	Futterlieferant
Rindermäster	220	-	-	Futterlieferant
Ferkelerzeuger	610	Einzelberatung	470	Futterlieferant
Schweinemäster	510	Einzelberatung	805	Futterlieferant
Hähnchenmäster	im Aufbau	Einzelberatung	-	Integrationspartner
Putenmäster	-	Einzelberatung	-	Integrationspartner

*Verträge über 20 bis 40 h/Betrieb und Jahr; **Betriebszweigauswertung

Einestärke Stellung hat die Betriebsberatung der Landwirtschaftskammer. Deutlich wird dies an den über 2 600 Betriebszweigauswertungen. Ca. 1/3 der Vollerwerbsbetriebe werden erreicht. Im Schweinebereich sind die Erzeugerringe von erheblicher Bedeutung. Die Zusammenarbeit zwischen den Beratungsanbietern Landwirtschaftskammer und Erzeugerring nimmt hierbei zu. Eine Besonderheit ist die seit etwa 10 Jahren angebotene produktionstechnische Beratung für Milchviehhalter. Zumeist in Ergänzung zur betriebswirtschaftlichen Beratung bestehen von Seiten der Landwirtschaftskammer mit etwa 350 Betrieben Verträge über 20 bis 40 h je Betrieb und Jahr zur Beratung um betriebsindividuelle Ziele in der Milcherzeugung (Leistung, Fruchtbarkeit, Kosten etc.) zu erreichen. Die Nachfrage nach qualifizierter Beratung gegen Entgelt ist ungebrochen. Das Wissen für die Beratung erarbeitet die Landwirtschaftskammer durch Auswertungen und angewandte Forschung zu einem Großteil selbst.

In Bayern obliegt dies der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und den weiteren Beteiligten im Rahmen der Verbundberatung bzw. der Leistungsprüfung in Ringbetrieben. Unter Verbundberatung wird die Zusammenarbeit von Selbsthilfeeinrichtungen mit staatlichen Institutionen im Rahmen konkreter

vertraglicher Absprachen zu vom Staat finanziell unterstützte Beratungsmodule verstanden. Die Beratungsanbieter verpflichten sich zur Nutzung der fachlichen Vorgaben und Arbeitsmittel der LfL. Den Ämtern für Landwirtschaft und Forsten kommt die Erarbeitung von Beratungszielen und eine koordinierende Funktion in der Region zu.

Tab. 5: Beratung für Tierhalter in Bayern (2010) nach Anbieter und Produktionsrichtung

Verfahren	Verbundberatung			Privat
	BZA*	Produktion**	Dkfl.***	
Milchviehbetriebe	388	4300	-	Futterlieferant, Besamung, Erzeugergemeinschaft
Rindermastbetriebe	76	835	100 %	Futterlieferant, Besamung, TGD, Erzeugergemeinschaft
Ferkelerzeuger	22	1950	30 %	Futterlieferant, TGD, Erzeugergemeinschaft
Schweinemäster	28	1720	100 %	Futterlieferant, TGD, Erzeugergemeinschaft

* Betriebszweigauswertung über Buchgesellschaften in 2011; **Beratungsverträge in 2011 (Standard, intensiv etc.); *** Anteil Betriebe mit ökonomischer Auswertung im Ring – Dkfl. = direktkostenfreie Leistung

Eine große Bedeutung hat die Leistungserfassung und Beratung der im LKV Bayern organisierten Beratungsringe in der Ferkelerzeugung sowie der Rinder- und Schweinemast. In der Mast wird neben der Produktionstechnik auch eine ökonomische Auswertung bis zur direktkostenfreien Leistung durchgeführt. In der Ferkelerzeugung dominiert die produktionstechnische Beratung. Nur ca. 30 % der Betriebe nehmen die ökonomische Auswertung in Anspruch. Eine ergänzende Betriebszweigauswertung durch die landwirtschaftlichen Buchstellen ist im Aufbau.

Im Bereich der Milcherzeugung ist diese mit etwa 4 300 Betrieben zwar stärker etabliert aber im Vergleich zu den 26 000 Betrieben, die in der Milchkontrolle sind, wenig. Besser etabliert ist die produktionstechnische Beratung. Größten Anteil hat hierbei die Fütterungsberatung mit ca. 3 900 Betrieben. Als Defizit ist die oft

fehlende Verknüpfung von Produktionstechnik und Ökonomie anzusehen. Im Bereich der Privatberatung gibt es in Bayern neben der Mischfutterindustrie auch Aktivitäten der Besamungsstationen und Erzeugergemeinschaften. Im Bereich Tiergesundheit ist der TGD Bayern aktiv.

4. Erfolg in der Beratung

Beratung ist personal- und somit kostenintensiv und in der Regel gebührenpflichtig. Dennoch gibt es nur vergleichsweise wenig Arbeiten zum Erfolg und Nutzen der Beratung. Zur Einordnung werden die Auswertungen des LKV Bayerns angeführt. Im Bereich der Fütterungsberatung werden regelmäßig die Betriebe in der Milchviehhaltung mit und ohne Beratung ausgewertet. Aus der Abbildung 1 ist die aktuelle Auswertung zu ersehen. Betriebe mit Fütterungsberatung haben eine um 120 kg höhere jährliche Steigerung der Milchleistung. Weitere Effekte zeigen sich in den Kenngrößen der Fruchtbarkeit (LKV, 2010).

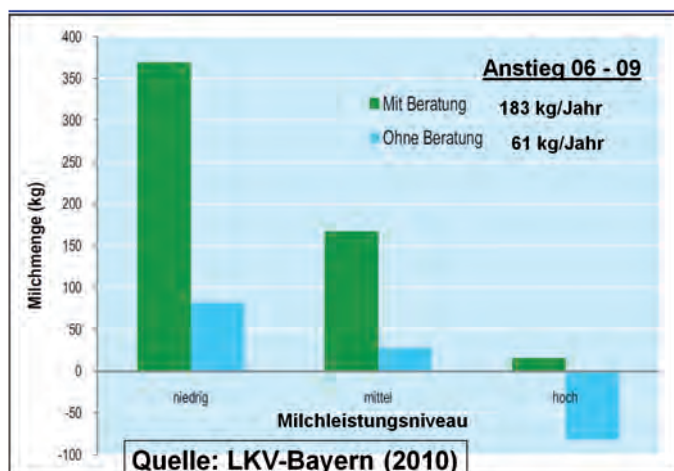


Abb. 1: Erfolg der Fütterungsberatung nach Leistungsniveau

Im Bereich der Schweinehaltung haben Weiß und Weiß (2010) eine Auswertung speziell zusammengestellter Vergleichsgruppen durchgeführt (Tab. 6). Betriebe in der Ringberatung sind in der biologischen Leistung und den Kosten überlegen. Kostenvorteile zeigen sich insbesondere bei den Futterkosten. Dies korrespondiert mit den Schwerpunkten in der Beratung. Betriebe mit Ringberatung setzen stärker auf Phasenfütterung und nutzen das Fütterungscontrolling.

Tab. 6: Auswertung von Vergleichsbetrieben 04/05 bis 08/09 zum Erfolg der Beratung (Weiß und Weiß, 2010)

Verfahren	Ferkelerzeugung		Schweinemast	
	ohne	mit	ohne	mit
LKV Beratung				
Anzahl Betriebe, n	34	147	80	120
Verkaufte Ferkel/Sau/a	19,6	20,3	-	-
Verluste in %	-	-	3,8	3,0
Erlös, € für Ferkel/Sau	990	1°110	-	-
Erlös, €/Mastschwein	-	-	134,3	134,6
Direktkosten, €/Sau/a bzw. €/Mastschwein	693	712	112,6	109,2
Futterkosten, “	458	438	45,6	43,3
direktkostenfreie Leistung, “	398	487	23,5	27,4

Im Bereich der Forschung gibt es ebenfalls einzelne Arbeiten, in den der Erfolg von Beratung erfasst ist. Eine aktuelle Arbeit hatte die Verbesserung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Milchkühen im ökologischen Landbau durch fächerübergreifende Beratung zum Ziel (Barth, 2007). Den beteiligten Milchviehhaltern wurden zwischen den Disziplinen Tiergesundheit, Pflanzenbau und Tierernährung abgestimmte Empfehlungen übermittelt. Die Beratung war relativ erfolgreich gemessen an der Kontinuität der Betriebe (97 % arbeiteten über die gesamte Zeit mit), Umsetzungsrate (62 % der Vorschläge wurden laut Nachfrage umgesetzt) und der Verbesserung der Tiergesundheit (Brinkmann et al., 2011; March et al., 2011).

Maßgeblich für den Erfolg ist die Zielorientierung und das konsequente Vorgehen einschließlich des Controllings. Bei vielen Fragen ist ein fächerübergreifendes Vorgehen erforderlich. Die im Betrieb tätigen Beratungskräfte müssen eine hohe Transparenz untereinander und zum Landwirt etablieren. Soweit möglich sind die Empfehlungen abzustimmen.

5. Weiterentwicklung der Beratung

Für die Anforderungen in der spezialisierten Nutztierhaltung ist eine entsprechend ausgerichtete Beratung erforderlich. Neben der bereits angesprochenen Organisation sind gute und abgestimmte Empfehlungen insbesondere in der Produktionstechnik erforderlich. Dies gilt insbesondere für die stark von Marktkräften beeinflusste Fütterungsberatung. Fütterungsempfehlungen wie z. B. Empfehlungen zur Versorgung brauchen eine klare wissenschaftliche Basis. Wichtige Arbeit leistet hier der Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE). Die weitere Prüfung und Entwicklung wird in der angewandten Forschung bearbeitet. Zusammengeführt werden die Ergebnisse beim Forum für angewandte Tierernährung in Fulda oder dem VDLUFA. Auf Basis der Erfahrungen, des Wissens und der konkreten Erfordernisse der Praxis erarbeitet der DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung Stellungnahmen und Empfehlungen. Die Koordinierung in den Bundesländern obliegt regionalen Institutionen zur Fütterungsberatung und den jeweiligen Fütterungsreferenten.

Generell sollte in der Beratung Ökonomie und Produktionstechnik aufeinander abgestimmt Anwendung finden. Weiterhin sollten Instrumente zur besseren Kommunikation und Abstimmung der innerhalb eines Betriebes tätigen Beratungskräfte gefunden werden. Im Hinblick auf Fragen der Gesundheitsvorsorge der Nutztiere ist die Zusammenarbeit zwischen Tiermedizin und Produktionstechnik weiter zu entwickeln. Beratung hat mit System zu erfolgen. Die Bereiche sind Schwachstellenanalyse, Zielfestlegung, Maßnahmen festlegen und Controlling. Beratung richtig umgesetzt lohnt und kann die Risiken in spezialisierten Betrieben mindern und die Chancen erhöhen.

6. Fazit

Aus den dargelegten Inhalten ergibt sich folgendes Fazit zur Beratung in der Nutztierhaltung:

- die Tierhaltung wird sich in Größe und Ausrichtung weiter spezialisieren, worauf sich das Angebot in der Beratung einstellen sollte
- neue Herausforderungen in Markt und Gesellschaft wie Akzeptanz der Nutztierhaltung, Nachhaltigkeit, CO₂-Footprints, Tierwohl, Biogas etc. sind auch in der Beratung zu beachten,
- insgesamt ist ein Anstieg in der Nachfrage zielgerichteter Beratung zu erwarten,

- Voraussetzungen für den Erfolg der Beratung sind abgesicherte Beratungsinhalte und verbesserte Beratungskonzepte; hierzu empfiehlt sich der Erhalt und die Weiterentwicklung der Beratungsträger.

7. Literatur

- Angermüller, I., 2009: Die Beratung von Ferkelerzeugern und Schweinemästern im hohen Norden, SUB Heft 8-9/09, III 10-III 15.
- Barth, K., 2007: Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Milchkühen im ökologischen Landbau interdisziplinär betrachtet – eine (Interventions-) Studie zu Stoffwechselstörungen und Eutererkrankungen unter Berücksichtigung von Grundfuttererzeugung, Fütterungsmanagement und Tierhaltung (Verbundvorhaben)., <http://orgprints.org/11117>.
- Brinkmann, J., March, S., Barth, K., Becker, M., Drerup, D., Isselstein, J., Klocke D., Krömker, V., Mersch, F., Müller, J., Rauch, P., Schumacher, U., Spiekers, H., Tichter, A., Volling, O., Weiler, M., Weiß, M., Winckler, C., 2011: Status Quo der Tiergesundheitssituation in der ökologischen Milchviehhaltung – Ergebnisse einer repräsentativen bundesweiten Felderhebung. In: Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung ökologischer Landbau, Band 2, 162-169.
- DVT, 2011: Futtermittel-Tabellarium, Ausgabe 2011, Deutscher Verband Tierernährung, Bonn, 31.
- LKV, 2010: Jahresbericht 2010 „Leistungsprüfung- und Qualitätsprüfung in der Rinderzucht in Bayern 2010, Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e.V., München.
- March, S., Brinkmann, J., Barth, K., Drerup, D., Isselstein, J., Klocke D., Krömker, V., Mersch, F., Müller, J., Rauch, P., Schumacher, U., Spiekers, H., Tichter, A., Volling, O., Weiler, M., Weiß, M., Winckler, C., 2011: Erarbeitung, Akzeptanz und Umsetzung betriebsindividueller Handlungsempfehlungen zur Euter- und Stoffwechselgesundheit im Rahmen einer interdisziplinären Interventionsstudie. In: Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung ökologischer Landbau, Band 2, 200-203.
- Schuster, H., 2011: Rindermast in Niedersachsen, SUB Heft 1-2/11, III 15-III 17.
- Spiekers, H., Melisch, P., Weiß, J., 2006: Fütterungsberatung quo vadis, B und B Agrar 3/06, 100-101.
- Statistisches Bundesamt, 2011: Fachserie Land- und Forstwirtschaft – Viehzählung, Mai/2011, www.de.statis.de/kontakt.
- Weiß, J., Weiß, A., 2010: Die Auswirkung der Verbundberatung auf die Betriebs-

ergebnisse in der Schweinehaltung, LfL Agrarökonomie, www.lfl.bayern.de.

Europäische und deutsche Regelungen zur Luftreinhaltung und deren Bedeutung für die Nutztierhaltung

E. Grimm

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt

1. Einleitung

Die internationale und europäische Luftreinhaltungspolitik haben zum Ziel, die Erdatmosphäre vor schädlichen Veränderungen zu schützen und die weiträumige, grenzüberschreitende Luftverschmutzung zu reduzieren. Mit Bezug zur Nutztierhaltung stehen die Emissionen und Umweltwirkungen von Ammoniak, Methan und Distickstoffmonoxid (Lachgas) sowie Partikeln (Feinstaub) im Mittelpunkt der Regelungen, an deren Freisetzung die Nutztierhaltung Anteil hat (Tab. 1).

Tab. 1: Umwelt- und klimaschädliche Emissionen (kt/a) und Anteile der Landwirtschaft bzw. der Tierhaltung in Deutschland für das Jahr 2008¹⁾

Emission	Freisetzung gesamt	Landwirtschaft		Tierhaltung	
		Freisetzung	Anteil	Freisetzung	Anteil
Ammoniak	587	559	95 %	458	78 %
Methan	2 274	1 204	53 %	1 204	53 %
Lachgas	194	132	68 %	7,3	3,8 %
PM ₁₀ -Staub ²⁾	203	35	17 %	16,4	8 %
PM _{2,5} -Staub ²⁾	110	5	4,6 %	4,3	3,9 %

¹⁾UBA (2010): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990

²⁾PM= Particulate Matter, d. h. Partikel mit aerodynamischen Durchmessern von 10 µm (Feinstaub) bzw. 2,5 µm.

Ammoniak nimmt dabei eine Schlüsselstellung ein, weil es in der Umwelt nicht nur direkt eutrophierend und versauernd wirkt, sondern indirekt auch über die Sekundäraerosolbildung zur Feinstaubbelastung beiträgt. Die Umweltwirkungen treten aufgrund des atmosphärischen Ferntransports weiträumig und grenzüberschreitend auf. Sie sind folglich nicht im nationalen Alleingang zu lösen, sondern nur in internationaler Zusammenarbeit durch verbindliche Vereinbarungen.

2. Europäische Luftreinhaltebestimmungen und deren Umsetzung in Deutschland

Die bestehenden Regelungen der EU zur Verminderung der Luftschadstoffbelastung, die Bedeutung für die Landwirtschaft haben, sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tab.2: Übersicht zu den für die Landwirtschaft relevanten Luftreinhaltebestimmungen

Rechtsakt	Zielsetzung
UN/ECE Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung - Multikomponenten-Protokoll (UN/ECE, 1999)	Minderung der Ammoniakemission und -immission
EU-Richtlinie über nationale Emissionshöchstgrenzen für bestimmte Luftschadstoffe - NEC-Richtlinie (EU, 2001)	Minderung der Ammoniakemission und -immission
EU-Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft für Europa (EU, 2008)	Begrenzung der Feinstaubimmission
EU-Richtlinie über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) – IED-Richtlinie (EU, 2010) ¹⁾	Integrierte (medienübergreifende) Emissionsminderung

1) frühere Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung – IVU-Richtlinie

Die Umsetzung dieser Luftreinhaltebestimmungen erfolgt in Deutschland vor allem über das Instrument des Immissionsschutzrechtes. Die Düngeverordnung (DüV, 2009) regelt speziell die Anforderungen zur emissionsarmen Ausbringung von Wirtschaftsdüngern.

3. Anforderungen und Stand der Umsetzung

3.1 Minderung der Ammoniakemissionen

Die Senkung von Ammoniakemissionen wird maßgeblich durch das UN/ECE-Multikomponenten-Protokoll und dessen europäische Umsetzung im Rahmen der NEC-Richtlinie vorgegeben. Ziel ist die Verminderung der Fläche, auf der

die kritische Belastung durch säurebildende Schadstoffe überschritten wird, um 50 % im Vergleich zu 1990 (Referenzjahr). Um dies zu erreichen, mussten die Ammoniakemissionen Deutschlands bis zum Jahr 2010 auf 550 kt/a oder um 28 % vermindert werden. Davon ist besonders die Landwirtschaft betroffen (Tab. 1). Im europäischen Vergleich liegen die Minderungsziele beispielsweise der Niederlande bei 43 %, der Slowakei bei 37 % und Tschechiens bei 35 %. Frankreich, Spanien und Großbritannien haben nur geringe Minderungsziele zu erfüllen.

Die durchzuführenden Maßnahmen umfassen insbesondere

1. die Ausarbeitung von Empfehlungen zur guten fachlichen Praxis (GfP) in der Landwirtschaft und zur Optimierung des Stickstoffmanagements in der gesamten Verfahrenskette (Fütterungsstrategien, emissionsarme Tierhaltung sowie Lagerung und Ausbringung der Wirtschaftsdünger) und
2. die verbindliche Einführung u. a. der in Tabelle 3 aufgeführten Maßnahmen zur Emissionsminderung.

Tab.3: Geforderte Emissionsminderung für Ammoniak in den Bereichen Stall, Lagerung und Ausbringung für Rinder, Schweine und Geflügel (EU, 2001)

Tierart	Stall	Lagerung	Ausbringung
	Fest-/Flüssigmistverfahren	Flüssigmist	Flüssigmist ¹⁾
Emissionsminderung in % in Bezug auf Referenzverfahren			
Rinder	-	-	30
Schweine	20	40	30
Geflügel	20	40	30
	nur bei der Intensivtierhaltung mit >2000 Plätzen für Mastschweine, >750 Plätzen für Zuchtsauen und >40000 Plätzen für Geflügel		alle Betriebe und Bestandsgrößen

¹⁾ Festmist ist auf unbestellten Flächen unverzüglich, mindestens innerhalb von 24 h in Anhängigkeit von den Standort- und Betriebsbedingungen einzuarbeiten

Die Mitgliedstaaten sind verpflichtet, nationale Programme zur Umsetzung dieser Maßnahmen zu erstellen (BMU, 2007) und jährlich Emissionskataster und Emissionsprognosen zu erarbeiten. Der deutsche Inventarbericht für das Berichtsjahr 2010 ist in UBA (2011) veröffentlicht worden. Der entscheidende

Bericht für das Referenzjahr 2010 wird erst in 2012 vorliegen. Der aktuelle Stand der deutschen Ammoniakemissionsminderung, der sich nach offiziellen Angaben der Bundesregierung ergibt, ist in Tabelle 4 zusammengefasst (Deutscher Bundestag, 2010).

Tab. 4: Emissionen, Emissionshöchstmengen und Emissionsminderung für Ammoniak [kt/a] im Rahmen der NEC-Richtlinie (Deutscher Bundestag, 2010)

Emissionen (1990)	671
Referenzprognose (2010)	569
- Landwirtschaft	543
- andere	26
Emissionshöchstmenge der NEC-Richtlinie (2010)	550
Prognosewert minus Emissionshöchstmenge	+19

Ein Vergleich der Emissionshöchstmenge der NEC-Richtlinie mit den prognostizierten Werten (Referenzprognose 2010) ergibt einen Überschuss von ca. 19 kt Ammoniak. Damit drohen der Bundesrepublik Deutschland ein Vertragsverletzungsverfahren und Strafzahlungen, die durch zusätzliche Anstrengungen vermieden werden sollen (u. a. Verbesserung der Emissionsinventare, unverzügliche Einarbeitung von Gülle und Geflügelkot nach der Ausbringung innerhalb von weniger als 4 Stunden, emissionsarme Ausbringungsverfahren für Gülle).

3.2 Integrierter Umweltschutz

Die beschriebenen Maßnahmen zur Emissionsminderung werden flankiert durch die Industrieemissionsrichtlinie (IED-Richtlinie; früher IVU-Richtlinie). Die Richtlinie zielt auf die integrierte Vermeidung und Verminderung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden unter Einbeziehung der Abfallwirtschaft, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen. Betroffen sind auch Anlagen zur Intensivhaltung von Schweinen und Geflügel, d. h. Tierhaltungsanlagen mit mehr als 2 000 Mastschweineplätzen, 750 Sauenplätzen oder 40 000 Plätzen für Geflügel. Wesentliche Anforderungen der Richtlinie, wie die Beteiligung der Öffentlichkeit im Genehmigungsverfahren oder der medienübergreifende Prüfungsansatz, sind im deutschen Immissionsschutzrecht schon lange verankert. Neue Anforderungen haben sich vor allem hinsichtlich des Standes der Technik ergeben. Danach muss Vorsorge gegen Umweltverschmutzung durch den Ein-

satz der „Besten Verfügbaren Techniken (BVT)“ getroffen werden, die medienübergreifend ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt sicherstellen und Grundlage jeder Genehmigung sein sollen (Grimm et al., 2002).

Um die BVT auf europäischer Ebene festzulegen, wurde ein Informationsaustauschverfahren etabliert (sog. „Sevilla-Prozess“). Die BVT sollen alle drei bis fünf Jahre in Form sogenannter BREF-Merkblätter (Best Available Techniques Reference Document) fortgeschrieben werden. Der deutsche Beitrag zu diesem Informationsaustausch ist in Grimm et al. (2002) veröffentlicht worden und das gültige BREF-Merkblatt zur Intensivtierhaltung liegt seit 2003 vor (European Commission, 2003). Die Umsetzung dieser emissionsbegrenzenden Anforderungen erfolgte mit der „Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ (TA Luft, 2002) im Jahr 2002 in deutsches Recht.

4. Weiterentwicklung des Luftreinhaltrechtes

In 2005 hat die EU-Kommission ihre Mitteilung „Thematische Strategie zur Luftreinhaltung“ (EU, 2005) vorgelegt, die auf das Jahr 2020 abzielt. Danach sollen der Anteil von übersäuerten Waldflächen sowie von Flächen mit überhöhtem Schadstoffeintrag und die gesundheitlichen Auswirkungen von Feinstaub und Ozon weiter vermindert werden. Um dies zu erreichen, müssten in Deutschland die Emissionen weitergehend als bisher um 29 % beim Ammoniak und 47 % beim primären PM_{2,5} im Vergleich zum Jahr 2000 gemindert werden. Im Rahmen der notwendigen Verschärfung der NEC-Richtlinie wären insbesondere Minderungsmaßnahmen bei der Rinderhaltung und der Ausbringung unumgänglich und zusätzliche Luftqualitätsnormen zur Verminderung der Feinstaubbelastung notwendig, die auch die Mastgeflügelhaltung betreffen könnten. Aufgrund der hohen Kosten wurde die Umsetzung der Strategie allerdings auf nach 2013 verschoben.

Im Rahmen der Luftreinhaltestrategie wurde auch die Wirksamkeit der früheren IVU-Richtlinie überprüft. Da aus Sicht der EU vor allem die Umsetzung ihrer Anforderungen in den Mitgliedsstaaten ungenügend war, wurde mit der Neufassung im Rahmen der IED-Richtlinie eine striktere Anwendung der Anforderungen als effektiver angesehen, als eine Ausweitung des Geltungsbereiches (Monteny et al., 2007). So haben mit der IED-Richtlinie die BVT-Merkblätter mehr Gewicht erhalten und die nationalen Behörden haben weniger Spielraum, um bei

der Erteilung von Genehmigungen von den BVT abzuweichen. Die Revision des BVT-Merkblattes für die Intensivtierhaltung im Rahmen des „Sevilla-Prozesses“ ist im Herbst 2008 angelaufen und wird voraussichtlich bis 2012 andauern. Dann werden die BVT unmittelbar auch im nationalen Vollzug zu berücksichtigen sein. Darüber hinaus sind zukünftig IED-(Tierhaltungs-)Anlagen alle drei Jahre einer systematischen Anlagenüberwachung zu unterziehen, deren Ergebnisse zu veröffentlichen sind.

In Bezug auf den Geltungsbereich ist in der IED-Richtlinie ein Prüfungsauftrag formuliert. Bis Ende 2011 soll die Kommission prüfen, ob die Platzzahlen für unterschiedliche Geflügelarten differenziert und eine Regelung für gemischte Bestände eingeführt werden soll. Bis Ende 2012 ist zu prüfen ob Rinderhaltungen und die Dungabringung in die IED einbezogen werden sollen.

5. Fazit

Die internationalen Abkommen und europäischen Richtlinien zur Luftreinhaltung und zum integrierten Umweltschutz werden in Zukunft die Umweltschutzstandards in der Tierhaltung weiter anheben, auch wenn die genaue Ausgestaltung z. Zt. noch auf den Zeitraum nach 2013 aufgeschoben ist. Neben Ammoniak stehen die gesundheitlichen Auswirkungen der Feinstaubpartikel - PM_{10} und $PM_{2,5}$ - im Fokus. Bis 2020 sind daher über das bestehende Maß hinaus weitere Emissionsminderungsverpflichtungen für Ammoniak und Feinstaub wahrscheinlich.

Zum Nachweis, dass die internationalen Verpflichtungen eingehalten werden, kommt der Anlagenüberwachung und den Emissionsinventaren eine besondere Bedeutung zu. Hier gilt es die Datengrundlage zu verbessern, um zu gewährleisten, dass die politisch festgelegten Maßnahmen auch hinreichend genau in den Inventaren abgebildet werden können.

Die höheren immissionsschutzrechtlichen Anforderungen werden auf Ebene der Genehmigungsverfahren dazu führen, dass sich entwicklungsfähige Standorte für Tierhaltungsanlagen weiter verknappen. Die Entwicklung geht hin zum verstärkten Einsatz der Abluftreinigung. Diese Option ist allerdings bei tiergerechten Verfahren mit freier Lüftung und Auslaufhaltung nicht oder nur bedingt einsetzbar, so dass hier ein besonderer Bedarf zur Entwicklung von Emissionsminderungsstrategien besteht.

Im Rahmen der Agrar- und Umweltpolitik (BVT-Prozess, NEC-Richtlinie, Klimaschutz) wird in Zukunft die internationale Standardisierung von Prüfverfahren zur Zertifizierung von umweltfreundlichen Technologien im Tierhaltungssektor eine große Bedeutung bei deren Entwicklung und der Harmonisierung der Umsetzung haben.

6. Literaturverzeichnis

- BMU, 2007: Nationales Programm zur Verminderung der Ozonkonzentration und zur Einhaltung der Emissionshöchstmengen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.
- Deutscher Bundestag, 2010: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Friedrich Ostendorff, Dorothea Steiner, Cornelia Behm, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 17/2733 – Umsetzung der National Emissions Ceilings (NEC-)Richtlinie in Bezug auf die Ammoniak-Emissionen. Drucksache 17/2806 vom 25. 08. 2010, Berlin.
- DüV, 2009: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen – Düngeverordnung - in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I, 221), zuletzt geändert durch Artikel 18 des Gesetzes vom 31. Juli 2009, BGBl. I, 2585.
- EU, 2001: Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe - NEC-Richtlinie. ABl. L 309, 22.
- EU, 2005: Thematische Strategie zur Luftreinhaltung. Mitteilung der Kommission an den Rat und das europäische Parlament, Brüssel, KOM(2005) 446 endgültig.
- EU, 2008: Richtlinie 2008/50/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. ABl. L 152, 1.
- EU, 2010: Richtlinie 2010/75/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) (Neufassung). ABl. L 334, 17.
- European Commission, 2003: Reference Document on Best Available Tech-

- niques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs, July 2003, Seville.
- Grimm, E., Döhler, H., Fritzsche, St., Schwab, M., Jäger, P., Siegel, F., Witzel, E., de Baey-Ernsten, H., Hackeschmidt, A., Achilles, W., Bauer, J., Zimmer-Rühle, S., 2002: Beste verfügbare Technik in der Intensivtierhaltung (Schweine- und Geflügelhaltung). UBA Texte 75/02, Umweltbundesamt, Berlin.
- Monteny, G. J., Witzke, H. P., Oudendag, D. A., 2007: Impact assessment of a possible modification of the IPPC Directive. Alterra, Wageningen.
- TA Luft, 2002: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002. GMBI. 2002, Heft 25-29, 511-605.
- UBA, 2010: Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990. Umweltbundesamt, Dessau.
- UBA, 2011: Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990. Umweltbundesamt, Dessau.
- UN/ECE, 1999: UN/ECE-Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-Level Ozone.

Sollten unterschiedlich entwickelte Wintergetreidebestände im Frühjahr differenziert mit Stickstoff angedüngt werden?

L. Boese

Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Bernburg

1. Einführung

Teil der Bestandesführung im Wintergetreidebau ist die Anpassung der Stickstoffdüngung an den Bestandeszustand. Oft wird empfohlen, schwach entwickelte Bestände (Spätsaaten, evtl. nach partieller Auswinterung) zur Förderung der Triebentwicklung mit einer möglichst frühen und höheren 1. Gabe, stark entwickelte Bestände (Frühsaaten, bereits voll bestockt) mit einer verminderten und ggf. verzögerten Gabe anzudüngen. Versuchsergebnisse, die diese These deutlich stützen würden, existieren jedoch kaum oder gar nicht. Ab 1997 wurden zu dieser Frage in Sachsen-Anhalt an unterschiedlichen Standorten Feldversuche mit verschiedenen Getreidearten durchgeführt.

2. Feldversuche

Die ersten beiden Versuchsserien wurden 1997...2000 mit Wintergerste und Winterweizen am Standort Bernburg (Löss-Schwarzerde, BWZ 90, mittl. Jahresniederschlagssumme 469 mm, mittl. Jahrestemperatur 9,1 °C) durchgeführt. Durch Variation des Saattermins und der Saatstärke in teilweise nicht praxisüblichen Bereichen wurden hinsichtlich Entwicklungsstand im Frühjahr und Bestandesdichte (Pflanzen/m²) fünf deutlich unterschiedliche Bestände generiert (Tab. 1). Die Variation der 1. N-Gabe zu Vegetationsbeginn erfolgte in den Stufen 30, 60, 90 kg/ha N. Die 2. Gabe (70 N vor Schossbeginn) wurde einheitlich und die 3. Gabe im Fahrenblattstadium komplementär (60, 30, 0) gegeben, so dass alle Varianten in der Summe aller Gaben mit 160 kg/ha N einheitlich und in einer für den Kornertrag ausreichenden Höhe versorgt waren. Düngerform war in allen Fällen Kalkammonsalpeter.

Tab.1: Saattermin und Saatstärke in N-Düngungsversuchen mit Wintergerste und Winterweizen am Standort Bernburg

PG	Saattermin /		Wintergerste		Winterweizen	
	Saatstärke		(kf. Kö./m ²)		(kf. Kö./m ²)	
1:	früh	, niedrig	Anf. Sept.	, 150	Mitte Sept.	, 200
2:	früh	, hoch	Anf. Sept.	, 600	Mitte Sept.	, 800
3:	normal	, normal	Mitte Sept.	, 300	Mitte Okt.	, 400
4:	spät	, niedrig	Mitte Okt.	, 150	Mitte Nov.	, 200
5:	spät	, hoch	Mitte Okt.	, 600	Mitte Nov.	, 800

2.1 Wintergerste und Winterweizen am Standort Bernburg

Der Kornertrag der **Wintergerste** (Sorte Theresa) in Abhängigkeit von Saattermin, Saatstärke und Höhe der 1. N-Gabe im Mittel über die vier Versuchsjahre ist in Abb. 1 dargestellt. Während vier von fünf Beständen, insbesondere auch der mastige Bestand der Fröhsaat mit hoher Saatstärke, positiv auf eine Erhöhung der Andüngung bis zur höchsten Stufe reagierten, fiel der Ertragsanstieg beim schwachen Spätsaatbestand mit niedriger Saatstärke entgegen der Erwartung verhalten aus.

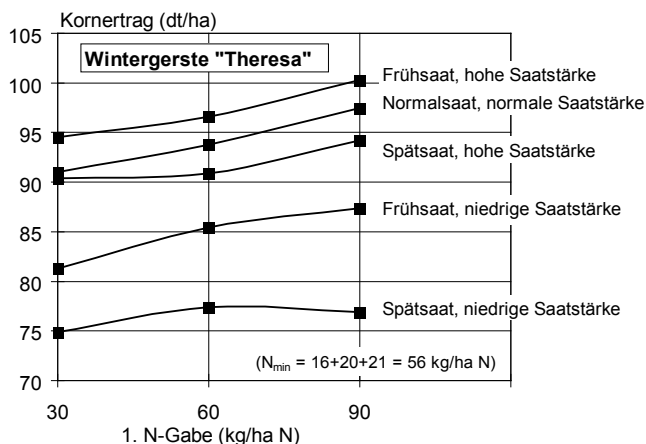


Abb. 1: Kornertrag von Wintergerste in Abhängigkeit von Saattermin, Saatstärke und Höhe der 1. N-Gabe (Bernburg, Mittel 1997-00)

Ähnlich reagierten die Bestände im Fall des **Winterweizens** (Sorte Ritmo) (Abb. 2). Während Früh- und Normalsaaten erhöhte Andüngung mit höheren Erträgen dankten, zeigten die Spätsaatbestände nicht die erwartete Reaktion. In beiden Serien ließen die Ergebnisse in den Einzeljahren keine vom Serienmittel grundsätzlich abweichende Reaktion erkennen. In keinem Fall erwies sich eine hohe 1. N-Gabe als signifikant schädlich für den Ertrag.

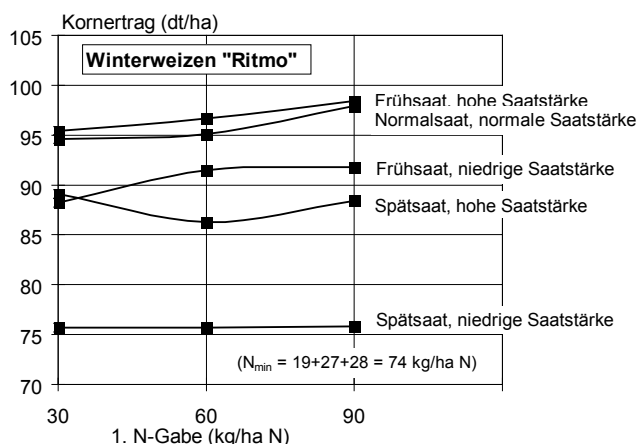


Abb. 2: Kornertrag von Winterweizen in Abhängigkeit von Saattermin, Saatstärke und Höhe der 1. N-Gabe (Bernburg, Mittel 1997-00)

2.2 Winterweizen und Wintergerste am Standort Beetzendorf

Am Standort Beetzendorf in der Altmark (lehmgiger Sand, AZ 45-50, mittl. Jahresniederschlagssumme 575 mm, mittl. Jahrestemperatur 8,4 °C) wurden Versuche mit Winterweizen 1999...2002 und Versuche mit Wintergerste 2003 und 2006...2008 durchgeführt. Alle Bestände des **Winterweizens** reagierten im vierjährigen Mittel auf eine erhöhte Andüngung im Kornertrag tendenziell positiv (Abb. 3). Ähnliches ist für die Versuchsserie mit **Wintergerste** festzustellen (Abb. 4), wobei sich der Ertragsanstieg bei der Spätsaat Mitte Oktober bis zur höchsten geprüften Stufe von 90 kg/ha N fortsetzte, während bei den früheren Saatterminen ab 50 kg/ha N zur 1. Gabe eine Sättigung eintrat. Ertraglich negative Wirkungen hatte eine hohe bis sehr hohe Andüngung auch bei der Früh- und Normalsaat nicht.

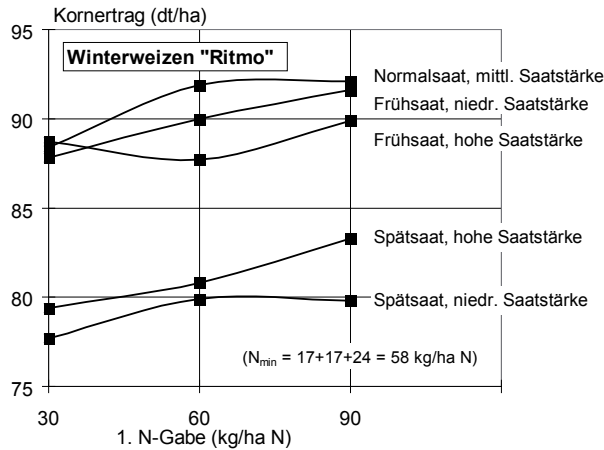


Abb. 3: Kornertrag von Winterweizen in Abhängigkeit von Saattermin, Saatstärke und Höhe der 1. N-Gabe (Beetzendorf, Mittel 1999-02)

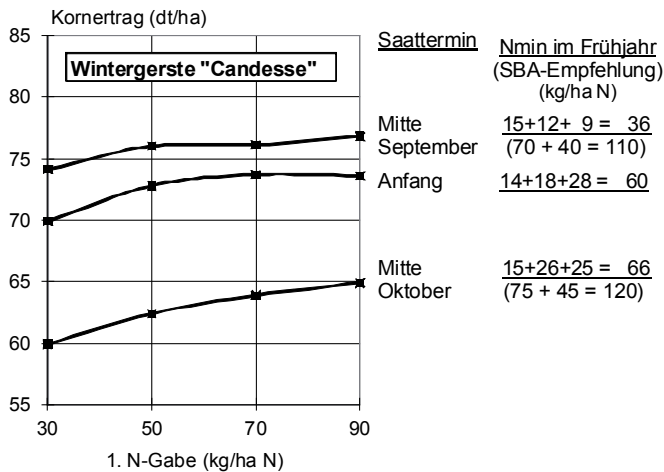


Abb. 4: Kornertrag von Wintergerste in Abhängigkeit von Saattermin, Saatstärke und Höhe der 1. N-Gabe (Beetzendorf, Mittel 2003 und 2006-08)

In der Beetzendorfer Serie mit Wintergerste wurden die N_{min}-Gehalte im Boden zu Vegetationsbeginn separat für die verschiedenen Bestände gemessen und

auf dieser Grundlage Düngungsempfehlungen nach dem Programm „Stickstoffbedarfsanalyse“ berechnet. Erwartungsgemäß wurden beim frühen Saattermin 24 und beim mittleren 6 kg/ha N_{\min} (in 0-90 cm) weniger gefunden als beim späten Termin. Auf die berechnete Düngungsempfehlung (1. + 2. Gabe) hatten diese Unterschiede nur geringen Einfluss, da die N_{\min} -Gehalte der unteren Schichten je nach Lagerungstiefe nur anteilig berücksichtigt werden und Zu- bzw. Abschläge entsprechend der Bestandesentwicklung (schwach, mittel, kräftig) zusätzlich ausgleichend wirken.

2.3 Winterroggen am Standort Gadegast

Am Standort Gadegast im Hohen Fläming (Landkreis Wittenberg, lehmiger Sand, AZ 33-40, mittl. Jahresniederschlagssumme 574 mm, mittl. Jahrestemperatur 8,7 °C) wurden parallel zu den Beetzendorfer Versuchen mit Wintergerste nach einem ähnlichen Versuchsplan in den Jahren 2003...07 Versuche mit Winterroggen durchgeführt. Die Höhe der Andüngung hatte beim frühen und mittleren Saattermin keinen wesentlichen und beim späten Termin einen schwach positiven Einfluss auf den Kornertrag (Abb. 5). Auch hier ist festzustellen, dass hohe Andüngung in keinem Fall den Kornertrag beeinträchtigte. Unter der Septembersaat wurden im Frühjahr 32 und unter der Oktobersaat 13 kg/ha N_{\min} weniger gemessen als unter der Spätsaat Mitte November. Auf die berechnete N-Düngungsempfehlung hatten diese Differenzen auch hier nur einen sehr geringen Einfluss.

2.4 Bestandesdichte und Kornertrag

Oft wird befürchtet, dass stark entwickelte Bestände auf zu hohe Andüngung mit unproduktiver Bestockung, erhöhtem Bodenwasserverbrauch, ungünstiger Ertragsstruktur, Standfestigkeitsproblemen, erhöhtem Krankheitsdruck und in der Folge mit Ertragsminderungen reagieren. Zumindest auf den Ertrag bezogen konnte diese Erwartung in den Versuchen nicht bestätigt werden. In den Abbildungen 6 und 7 ist der Zusammenhang zwischen Bestandesdichte (Triebzahl/m² zu Schossbeginn bzw. Ährenzahl/m²) und Kornertrag in den Einzelversuchen exemplarisch für die Versuche mit Wintergerste am Standort Bernburg dargestellt. Die berechneten Regressionskurven zeigen, dass über einen weiten Bereich mit zunehmender Trieb- bzw. Ährenzahl tendenziell auch die Erträge steigen. Gegebenenfalls tritt eine Sättigung ein, jedoch kein Ertragsabfall. Selbst Triebzahlen/m² von mehr als 1 400 und Ährenzahlen/m² von mehr als 700 haben

sich nicht schädlich auf den Ertrag ausgewirkt. Die entsprechenden Auswertungen in den anderen Versuchsserien, auch auf den leichten Standorten, führten zum gleichen Ergebnis.

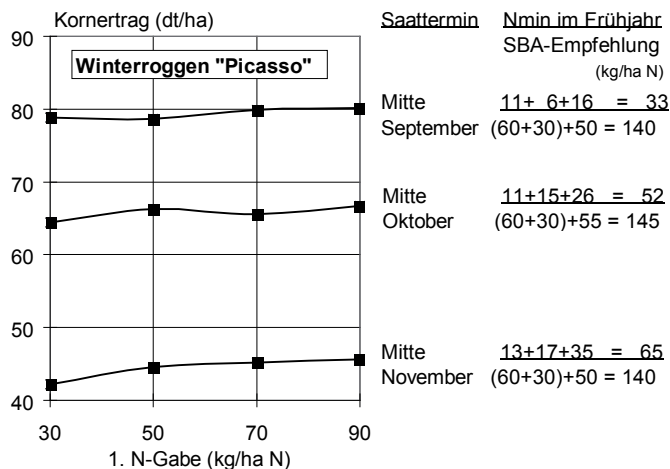


Abb. 5: Kornertrag von Winterroggen in Abhängigkeit von Saattermin, Saatsstärke und Höhe der 1. N-Gabe (Gadegast, Mittel 2003-07)

3. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Aus Feldversuchsergebnissen mit verschiedenen Wintergetreidearten an unterschiedlichen Standorten in Sachsen-Anhalt kann die These, dass schwach entwickelte Bestände im Frühjahr stärker und stark entwickelte Bestände schwächer angedüngt werden sollten, nicht gestützt werden. Eher scheint das Gegenteil der Fall zu sein, weil stark entwickelte Bestände schon zu früheren Terminen einen höheren N-Bedarf haben als schwache. Die Gefahr, durch hohe 1. N-Gaben eine zu starke Triebbildung mit negativen Ertragswirkungen auszulösen, ist nach den vorliegenden Ergebnissen nicht gegeben.

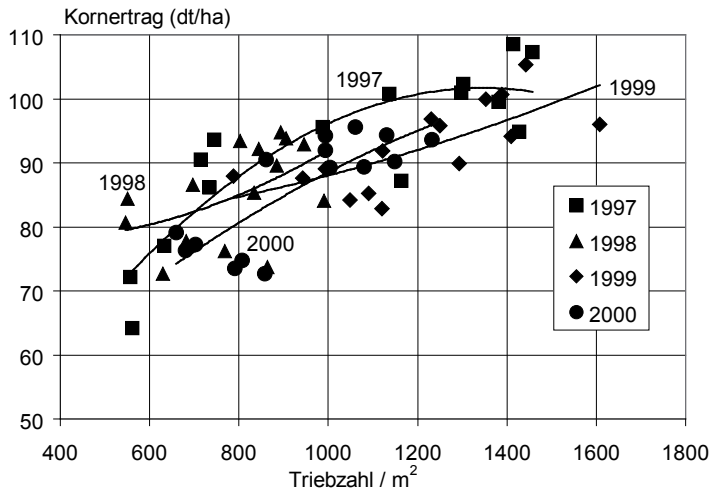


Abb. 6: Kornertrag von Wintergerste („Theresa“) in Abhängigkeit von der Triebzahl/m² (Bernburg 1997...00)

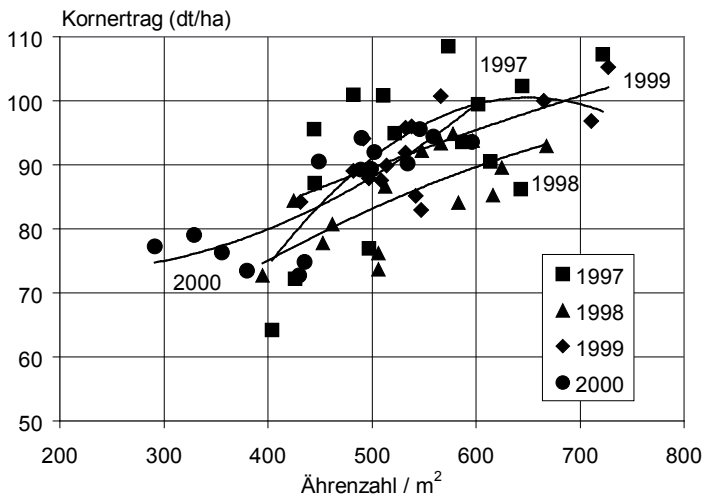


Abb. 7: Kornertrag von Wintergerste („Theresa“) in Abhängigkeit von der Ährenzahl/m² (Bernburg 1997...00)

Nährstoffverteilung im Boden nach langjähriger pflugloser Bodenbearbeitung und ihre Konsequenzen für die P-Düngung

W. Zorn¹, S. Wagner¹, M. Heubach², H. Schröter¹

¹Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena, ²Heubach-Schröder KG, Elxleben

1. Problemstellung

Viele Landwirte in Thüringen und anderen Ackerbauregionen haben in den letzten 20 Jahren die Nährstoffe Phosphor und Kalium restriktiv gedüngt. Infolge dessen ist die Versorgung vieler Ackerstandorte mit beiden Nährstoffen stark rückläufig. Parallel dazu hat der Umfang der pfluglosen Bodenbearbeitung zugenommen. Verschiedene Untersuchungen belegen eine zunehmende Differenzierung der Nährstoff- und Humusgehalte in der ehemaligen Krume der Pflugbearbeitung. Für die Ackerbauggebiete Thüringens liegen erste Ergebnisse von Herold et al. (2004) vor. Die Autoren fanden nach langjähriger pflugloser Bewirtschaftung einen deutlichen Nährstoffgradienten in Abhängigkeit von der Bodentiefe.

Im vorliegenden Beitrag sollen die Auswirkungen der pfluglosen Bodenbearbeitung und langjährig restriktiver P- und K-Düngung auf die Nährstoffverfügbarkeit im Boden dargestellt und erste Aussagen zur Wirkung einer platzierten P-Düngung zu Wintergetreide auf P-armen Böden abgeleitet werden.

2. Nährstoffbilanzen und Nährstoffversorgung Thüringer Böden

Die suboptimale P- und K-Düngung, der infolge gesunkener Tierbestände geringere Nährstoffrückfluss aus der Tierhaltung sowie der verstärkte Anbau von Marktfrüchten mit höherem Nährstoffexport aus den Betrieben haben zu langjährig negativen P- und K-Bilanzen geführt. Abbildung 1 zeigt die mittleren N-, P- und K-Salden von einer Stichprobe von 54 Thüringer Landwirtschaftsbetrieben im Zeitraum 1997 bis 2010.

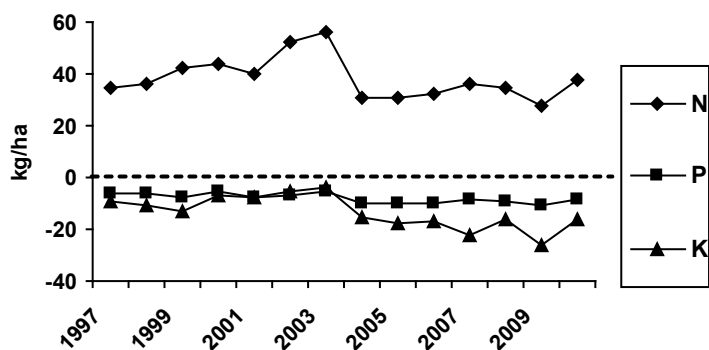


Abb. 1: Mittlere N-, P- und K-Salden von 54 Thüringer Landwirtschaftsbetrieben in den Düngejahren 1997 bis 2010

Aus den langjährig negativen P- und K-Salden resultiert eine Abnahme der Nährstoffversorgung der Ackerböden (Tab. 1). Besonders dramatisch ist die Entwicklung der P-Gehalte. Im Untersuchungszeitraum 2007 bis 2009 waren 46 % der Ackerfläche nur niedrig bzw. sehr niedrig mit diesem Nährstoff (Gehaltsklassen A und B: $\leq 4,8 \text{ mg P}_{\text{CAL}}/100 \text{ g Boden}$) versorgt.

Tab. 1: Nährstoffversorgung Thüringer Ackerböden 2007–2009

Parameter	Flächenanteile (%) in den pH- und Gehaltsklassen ¹⁾				
	A	B	C	D	E
pH	2	20	44	27	7
P	15	31	24	15	15
K	2	15	29	31	23
Mg	1	12	22	21	44

¹⁾ A = sehr niedrig, B = niedrig, C = anzustrebend/mittel, D = hoch, E = sehr hoch

3. Umfang der Anwendung pflugloser Bodenbearbeitungsverfahren in Thüringen

Eine repräsentative Stichprobe zeigt, dass 19 % der Thüringer Landwirtschaftsbetriebe permanent ohne Pflug wirtschaften (Tab. 2). Nur 3 % der Betriebe führen

die Grundbodenbearbeitung ausschließlich mit dem Pflug durch. Die Mehrzahl der Landwirte (78 %) setzt situationsbezogen den Pflug oder pfluglose Verfahren ein, wobei der innerbetriebliche Anteil der konservierenden Bodenbearbeitung überwiegt. Insgesamt erfolgt auf einem großen Anteil der Schläge die Grundbodenbearbeitung ohne Pflug.

Tab. 2: Anwendung von Bodenbearbeitungsverfahren in 119 Thüringer Landwirtschaftsbetrieben mit 89 000 ha Ackerland (2006-2009)

Verfahren	Anteil %
permanent Pflug	3
Pflug/pfluglos alternierend	78
permanent pfluglos	19

4. Wirkung pflugloser Bodenbearbeitung auf die Nährstoffdynamik im Boden

Auf 13 Ackerstandorten mit mindestens sechsjähriger pflugloser Bodenbearbeitung wurden Untersuchungen zur Kennzeichnung der Nährstoffdynamik in den Bodenschichten 0-10 cm, 10-20 cm und 20-30 cm durchgeführt.

Während sich die mittleren pH-Werte und die Mg-Gehalte (nach Schachtschabel) der einzelnen Bodentiefen nur wenig unterscheiden, sinken die CAL-löslischen P- und K-Gehalte mit zunehmender Bodentiefe. Die K_{CAL} -Gehalte der Böden befinden sich überwiegend im mittleren bis sehr hohen Versorgungsbe-
reich (Gehaltsklassen C bis E).

Zur Charakterisierung der P-Dynamik in den verschiedenen Bodenschichten wurden neben dem P-Gehalt nach der CAL-Methode (Schüller, 1969) folgende Kenngrößen bestimmt bzw. berechnet:

- Oxalatlösliches P, Fe und Al (nach Schwertmann, 1964)
- Phosphor-Speicherkapazität (PSC) und Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) berechnet in Anlehnung an Eckhardt und Leinweber (1997) bzw. Schoumans und Groenendijk (2006):

$$PSC \text{ (mmol/kg)} = 0.5 \times (Al_{ox} + Fe_{ox})$$

$$DPS \text{ (\%)} = 100 \times P_{ox} / PSC$$
- P-Freisetzungsrates nach Floßmann und Richter (1982).

Die Bestimmung des wasserlöslichen P-Gehaltes (Boden : Wasser = 1 : 20) sowie der Freisetzungsrates nach Floßmann und Richter (1982) zeigt, dass P-Intensität und P-Kinetik mit zunehmender Bodentiefe stärker abnehmen als das CAL-lösliche Phosphat. In den Bodenschichten unter 10 cm Tiefe liegt damit eine erheblich niedrigere chemische P-Verfügbarkeit als im Bearbeitungshorizont bei pflugloser Bodenbearbeitung vor (Tab. 3).

Tab. 3: pH-Wert sowie P-, K- und Mg-Gehalt im Boden nach mindestens 6 Jahren pflugloser Grundbodenbearbeitung (Mittel von 13 Standorten, Bodenarten: sL-T)

Tiefe cm	pH	P _{CAL} mg/100g (rel.)	P _{H₂O 1:20} ¹⁾ mg/100g (rel.)	P _{freisetzbar} ²⁾ mg P/100g *min (rel.)	K _{CAL} mg/100g	Mg mg/100g
0-10	6,8	6,9 (100)	0,60 (100)	64,8 (100)	26	20,2
10-20	7,0	4,3 (62)	0,22 (37)	28,0 (43)	18	19,7
20-30	7,0	2,5 (36)	0,12 (20)	10,7 (17)	11	19,3

¹⁾ 1. Fraktion nach Floßmann u. Richter (1982)

²⁾ P-Freisetzungsrates nach Floßmann u. Richter (1982)

Das P-Bindungsvermögen (PSC) und der P-Sättigungsgrad (DPS) geben Hinweise auf die P-Sorption im Boden. Parallel zum CAL-löslichen P-Gehalt gehen auch die oxalatlöslichen P-Gehalte mit größerer Bodentiefe zurück. Die Gehalte an Al_{ox}, Fe_{ox} und PSC der Bodenschichten unterscheiden sich nur relativ gering. Jedoch sinkt die P-Sättigung (DPS) mit zunehmender Bodentiefe und bestätigt die reduzierte P-Verfügbarkeit unterhalb von 10 cm Tiefe (Tab. 4).

Tab. 4: P_{ox}⁻, Fe_{ox}⁻ und Al_{ox}⁻-Gehalte (n. Schwertmann, 1964) sowie daraus abgeleitete Größen im Boden nach mind. 6 Jahren pflugloser Grundbodenbearbeitung (Mittel von 13 Standorten)

Tiefe cm	P _{ox}	Al _{ox}	Fe _{ox}	PSC	DPS
		mmol/kg			%
0-10	13,3	47,1	41,8	44,5	30,9
10-20	11,5	47,9	42,2	45,1	26,5
20-30	9,3	49,1	40,6	44,8	21,6

Eine ähnliche Differenzierung zwischen den verschiedenen Bodentiefen zeigt sich auch hinsichtlich des C- und N-Gehaltes (Tab. 5). Die Gehalte an Gesamt- (C_{org} , N_{gesamt}) sowie heißwasserlöslichem C und N (C_{hwl} , N_{hwl}) nach Schulz et al. (2003) gehen mit zunehmender Bodentiefe zurück. Dieser Zusammenhang deutet auf einen geringeren Anteil umsetzbarer Humusfraktion in 20-30 cm Tiefe hin.

Tab. 5: C_{org} -, N_{gesamt} - sowie heißwasserlöslicher C- und N-Gehalt (C_{hwl} , N_{hwl}) im Boden nach mind. 6 Jahren pflugloser Grundbodenbearbeitung (Mittel von 13 Standorten)

Tiefe cm	C_{org} % (rel.)	C_{hwl} mg/kg (rel.)	N_{gesamt} % (rel.)	N_{hwl} mg/kg (rel.)
0-10	3,01 (100)	746 (100)	0,22 (100)	95 (100)
10-20	2,59 (84)	636 (85)	0,18 (82)	67 (71)
20-30	2,16 (70)	430 (58)	0,14 (64)	46 (48)

5. Platzierte P-Düngung in pfluglosen Systemen

Die P-Unterfußdüngung zu Mais stellt seit vielen Jahren eine Standardmaßnahme in der landwirtschaftlichen Praxis dar. Die platzierte P-Düngung führt im Jugendwachstum der Pflanzen zu einer erhöhten Konzentration an wasserlöslichem P im Wurzelbereich und verbessert auch bei ungünstigen Bedingungen für die P-Aufnahme die P-Ernährung der Pflanzen.

Tab. 6: Standortangaben, pH-Werte und P-Gehalte im Boden im P-Düngungsversuch zu Wintergerste (Elxleben, 2008/09)

Tiefe cm	pH	P_{CAL}-Gehalt mg P/100g	P_{H2O}-Gehalt
0-10	6,5	2,5	0,40
10-20	6,6	1,8	0,24
20-30	6,9	1,1	0,15

In einem ersten Feldversuch zu Wintergerste wurde als Reaktion auf die gesunkene P-Versorgung der Böden die Wirkung einer platzierten P-Düngung zu Win-

tergetreide in pfluglosen Bodenbearbeitungssystemen mit niedriger P-Versorgung im Boden untersucht. Der Versuchsstandort (30 % Ton, 1,8 % C_{org}, 1,0 % CaCO₃) war niedrig mit P versorgt (Tab. 6).

Die platzierte Düngung mit Triplesuperphosphat erfolgte parallel zur Aussaat zwischen jede 2. Reihe in eine Tiefe von ca. 10-12 cm. Weitere Versuchsvarianten waren die ortsübliche P-Düngung vor der Aussaat mit Einarbeitung in den Boden sowie die Frühjahrskopfdüngung. Die P-Düngermengen betragen jeweils 50 %, 100 % und 150 % der erwarteten P-Abfuhr (Frühjahrskopfdüngung ohne 150 %). Die Ergebnisse des Versuches zeigt Abbildung 2.

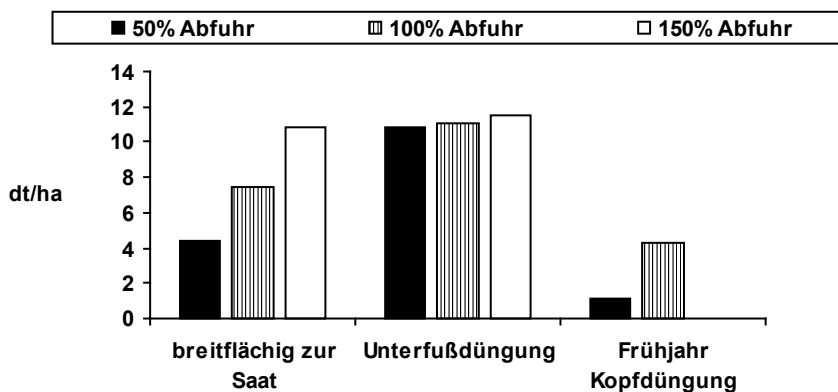


Abb.2: Mehrertrag durch differenzierte P-Düngung (TSP) zu Wintergerste (Elxleben 2008/09, ohne P = 88 dt/ha; GD 5 % (t-Test) = 5,1 dt/ha)

Die steigende, breitflächig applizierte P-Düngung vor der Saat hatte zunehmende Kornerträge zur Folge. Die Variante 50 % der Abfuhr erzielte einen Kornmehrertrag im Vergleich zur unterlassenen P-Düngung von 4,4 dt/ha. Die P-Düngung in Höhe der P-Abfuhr steigerte den Kornertrag um weitere 3,1 dt/ha. Erst eine P-Gabe von 150 % der P-Abfuhr erreichte das Ertragsniveau der drei P-Unterfußdüngungsvarianten, wobei die Ertragsdifferenzen zwischen den differenzierten P-Gaben sehr gering und nicht signifikant waren. Zum Erreichen eines hohen Ertragsniveaus reichte eine platzierte P-Düngung in Höhe von 50 % der P-Abfuhr aus. Die Ertragswirkung der Frühjahrskopfdüngung lag unter den Versuchsbedingungen unter der der breitflächigen P-Düngung vor der Saat sowie der platzierten P-Düngung.

6. Fazit und Schlussfolgerungen

Langjährige pfluglose, nicht wendende Bodenbearbeitung führt zur P- und K-sowie Humusanreicherung im Bearbeitungshorizont und zu deren Reduzierung in der verlassenen „Unterkrume“. Insbesondere das im Boden wenig mobile Phosphat reichert sich in 0 bis 10 cm Tiefe an, während die P-Gehalte in den darunter liegenden Bodenschichten sinken. Bei der häufig niedrigen bis sehr niedrigen P-Versorgung der Böden ist bei Austrocknung der oberen Bodenschicht eine bedarfsgerechte Ernährung der Pflanzen stark gefährdet.

Die Unterfußdüngung wasserlöslicher Phosphate zu Getreide und Raps kann die aktuelle P-Ernährung der Kulturen mit reduziertem P-Düngereinsatz auch bei ungünstiger P-Dynamik im Boden kostengünstig absichern. Zu Kulturarten mit gleichzeitig bestehendem N-Düngebedarf ist der Einsatz von Diammonphosphat zur platzierten Düngung sinnvoll. In Untersuchungen von Strasser (2004) hatte diese P-Düngerform zusätzliche positive Wirkungen auf Wurzelentwicklung und P-Aufnahme durch die Pflanzen.

Die platzierte P-Düngung zu Getreide und Raps besitzt große Potenziale, da die P-Düngung bei Bedarf mit weiteren Nährstoffen (N, K, S, Mg, Mikronährstoffe) kombiniert werden kann und eine verbesserte Ausnutzung der P-Düngung erwarten lässt.

Forschungsbedarf besteht noch zur Ermittlung der optimalen Düngemittelablage (Tiefe, Abstand zur Saatreihe) sowie zur Beantwortung der Frage, ob bei platzierter P-Düngung langfristig eine P-Düngung in Höhe der Abfuhr bei Gehaltsklasse A und Bohne Ertragsminderung möglich ist.

7. Literatur

- Eckhardt, K.-U., Leinweber, P., 1997: P-Fractionen zur Vorhersage von P-Austrägen aus landwirtschaftlich genutzten Böden. Mitt. der Deutschen Bodenkundl. Ges. 85, II, 871-874.
- Herold, L., Wagner, S., Lippold, T., 2004: Nährstoffgradienten im Boden bei pflugloser Bewirtschaftung und Schlussfolgerungen für die Probenahme. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena, 7. <http://www.tll.de/ainfo/pdf/stof1104.pdf>.

- Floßmann, R., Richter, D., 1982: Extraktionsmethode zur Charakterisierung der Kinetik der Freisetzung von P aus der festen Phase des Bodens in die Bodenlösung. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkde. 26, 703-709.
- Schüller, H., 1969: Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk. 123, 48 - 63.
- Schoumans, O.F., Groenendijk, P., 2006: Modeling soil phosphorus levels and phosphorus leaching from agricultural land in the Netherlands. Journal of Environmental Quality 29 (1), 116-116.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2003: 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. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Schwertmann, U., 1964: Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalatlösung. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk. 105, 194 - 202.

Ergebnisse aus P-Düngungsversuchen der BASF SE für die gemeinsame Auswertung zur Überarbeitung des P-VDLUFA-Standpunktes

G. Pasda, W. Zerulla, S. Willkommen

BASF SE, Agrarzentrum Limburgerhof

1. Einleitung

In der Fachgruppe I des VDLUFA beschäftigt sich seit 2009 eine Projektgruppe mit der Überarbeitung der beiden VDLUFA-Standpunkte zur Phosphat- und Kalidüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. Basis der Überarbeitung soll eine Auswertung der seit 1985 vorliegenden P- und K-Feldversuche sein, deren Daten in eine Excel-Tabelle von den beteiligten Projektgruppenmitgliedern eingetragen werden. Im Folgenden wird über eine Auswertung der P-Düngungsversuche berichtet, die von der BASF SE durchgeführt wurden.

2. Material und Methoden

Insgesamt lagen 345 Datensätze vor. Davon stammten 134 Datensätze (ca. 39 %) aus Dauerdüngungsversuchen mit einer klassischen P-Steigerung, 198 (ca. 57 %) aus Dauerdüngungsversuchen nach „BASF-Design“ und der Rest aus einjährigen P-Düngungsversuchen. Bei allen Versuchen handelte es sich um Kleinparzellenversuche, angelegt als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen auf unterschiedlichen Standorten in ganz Deutschland.

In den Versuchen nach „BASF-Design“ wurde im Unterschied zu den klassischen P-Dauerdüngungsversuchen innerhalb der Versuchsfläche jeweils eine P-Steigerung auf Teilflächen durchgeführt, die die Bodengehaltsklasse A, B oder C aufwiesen. Dies bedeutet, dass unter denselben Versuchsbedingungen (Witterung, Boden, Prüfkultur, acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen usw.) die Effekte einer P-Steigerung in Abhängigkeit der P-Bodenversorgung geprüft werden können, und dass man bezüglich der P-Ertragseffekte zwischen Boden- und P-Düngerwirkung unterscheiden kann. Eine solche Differenzierung ist in klassischen P-Steigerungsversuchen nicht möglich, da sich durch die jährlich

auf denselben Flächen wiederholende P-Steigerung unterschiedliche P-Boden-gehalte in den Versuchsvarianten einstellen (Schenk und Baumgärtel, 1989).

Der P-Gehalt des Bodens wurde mit der CAL-Methode (VDLUFA, 2002) oder DL-Methode (VDLUFA, 1991) bestimmt. Für diese Auswertung wurden nur die Varianten ohne P und eine P-Düngung in Höhe der Abfuhr verwendet.

Mit Hilfe der Auswertung sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- Gibt es eine Beziehung zwischen dem P-Gehalt im Boden und der Ertrags-höhe?
- Gibt es eine Beziehung zwischen dem P-Gehalt im Boden und der Ertragswir-kung einer P-Düngung?
- Ergeben unterschiedliche Versuchsansätze unterschiedliche Ergebnisse (Vergleich „klassische Versuchsanlage“ versus „BASF-Design“)?
- Sind Standorteigenschaften gegebenenfalls wichtiger als die Gehalte an P im Boden?

3. Ergebnisse und Diskussion

Gibt es eine Beziehung zwischen dem P-Gehalt im Boden und der Ertragshöhe?

Für die ungedüngte P-Kontrollvariante ergab sich zwischen dem P-Gehalt des Bodens und dem Ertrag zwar eine statistisch signifikant positive Beziehung, deren Bestimmtheit aber nahe Null lag (Abb. 1a). Im Fall der P-Düngungsvariante wurde zwischen diesen beiden Merkmalen keine Beziehung festgestellt (Abb. 1b).

Gibt es eine Beziehung zwischen dem P-Gehalt im Boden und der Ertragswir-kung einer P-Düngung?

Die lineare Beziehung zwischen P-Gehalt des Bodens in der P-Düngungsvariante und der Ertragswirkung der P-Wirkung (definiert als Ertragsdifferenz zwischen Ertrag in $P_{\text{gedüngt}}$ minus Ertrag in $P_{\text{ungedüngt}}$) war negativ (Abb. 2). Aber auch diese Korrelation war mit einem Bestimmtheitsmaß von $r^2 \approx 0,02$ sehr schwach. Auch durch Verwendung anderer Korrelationsfunktionen konnte die Güte der Beziehung zwischen diesen beiden Parametern nur geringfügig verbessert werden (z.B. Erhöhung von r^2 auf ca. 0,04 bei Verwendung einer quadratischen Funktion).

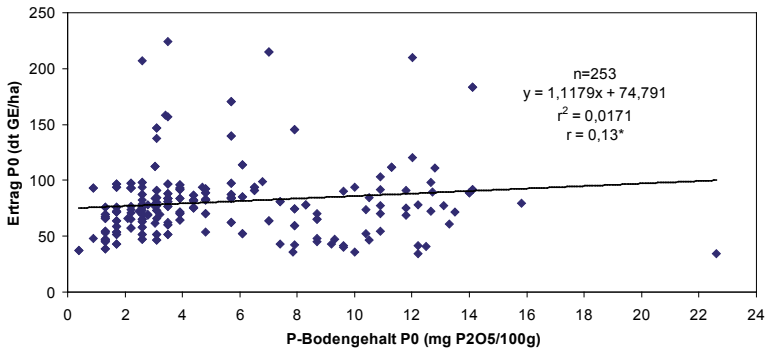


Abb.1a: Beziehung zwischen P-Gehalt im Boden in $P_{\text{ungedüngt}}$ und Ertrag in $P_{\text{ungedüngt}}$

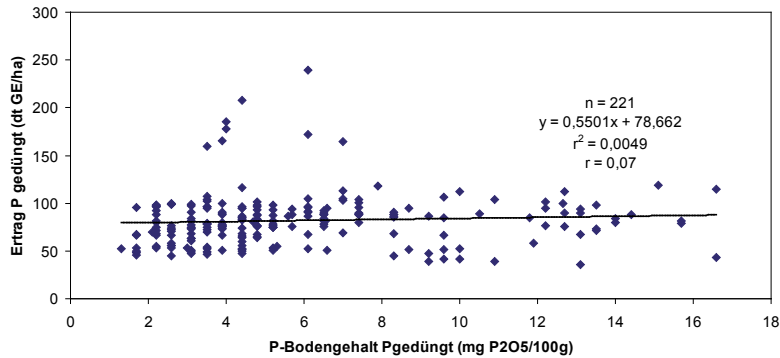


Abb.1b: Beziehung zwischen P-Gehalt im Boden in $P_{\text{gedüngt}}$ und Ertrag in $P_{\text{gedüngt}}$

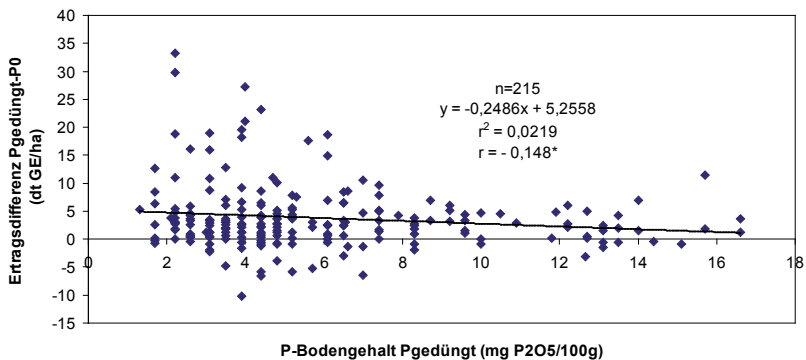
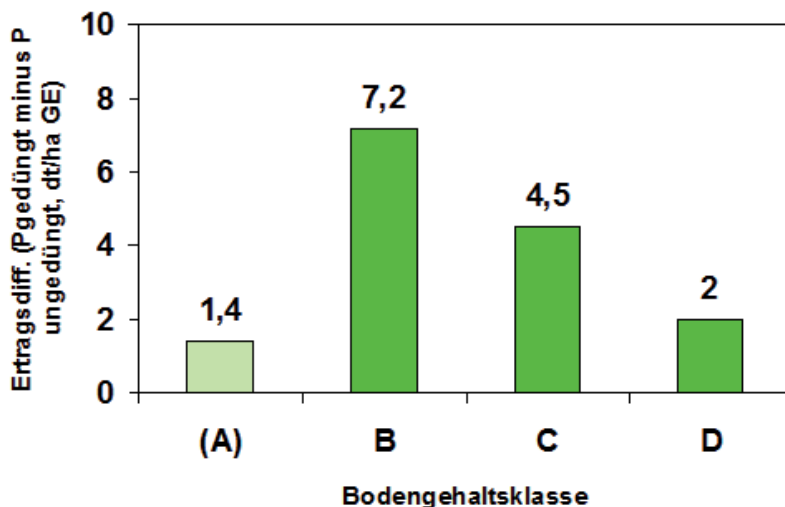


Abb.2: Beziehung zwischen P-Gehalt im Boden in $P_{\text{gedüngt}}$ und Ertragsdifferenz zwischen $P_{\text{gedüngt}}$ und $P_{\text{ungedüngt}}$

Eine Ableitung eines Grenz-P-Bodengehaltes, bei dessen Überschreitung eine P-Düngung keine Ertragsvorteile mehr bringt, war somit nicht möglich bzw. ein solcher Grenz-P-Bodengehalt lag nicht vor.

Ergeben unterschiedliche Versuchsansätze unterschiedliche Ergebnisse (Vergleich „klassische Versuchsanlage“ versus „BASF-Design“)?



Anz. Versuche	(2)	18	21	31

Abb. 3: Ertragsdifferenz zwischen $P_{\text{gedüngt}}$ und $P_{\text{ungedüngt}}$ in Abhängigkeit von der P-Bodengehaltsklasse in klassischen P-Steigerungsversuchen

Bei klassischen P-Dauerdüngungsversuchen wird eine P-Steigerung auf einem Standort mit einem gegebenen P-Gehalt des Bodens angelegt. Im Laufe der Versuchszeit sollte in den suboptimal gedüngten Varianten der P-Gehalt des Bodens abnehmen, in den optimal gedüngten mehr oder weniger gleichbleiben und in den Varianten mit P-Düngungsmengen, die höher sind als die P-Abfuhr, der P-Bodengehalt zunehmen (Schenk und Baumgärtel, 1989). Wertet man dann Versuchsserien von klassischen P-Steigerungsversuchen aus, die auf Standorten mit unterschiedlichen P-Bodengehalten angelegt wurden, so ergibt sich das in Abbildung 3 dargestellte Bild: Die Ertragsdifferenz zwischen $P_{\text{gedüngt}}$ und $P_{\text{ungedüngt}}$ nimmt mit ansteigender P-Bodenversorgung ab. Eine Differenzierung hinsichtlich der Ursachen für diese Ertragsdifferenz in eine P-Boden- oder P-Düngewirkung ist jedoch nicht möglich, da unterschiedliche P-Düngungs-

mengen auf Parzellen mit im Laufe der Zeit unterschiedlichen P-Gehalten im Boden geprüft wurden.

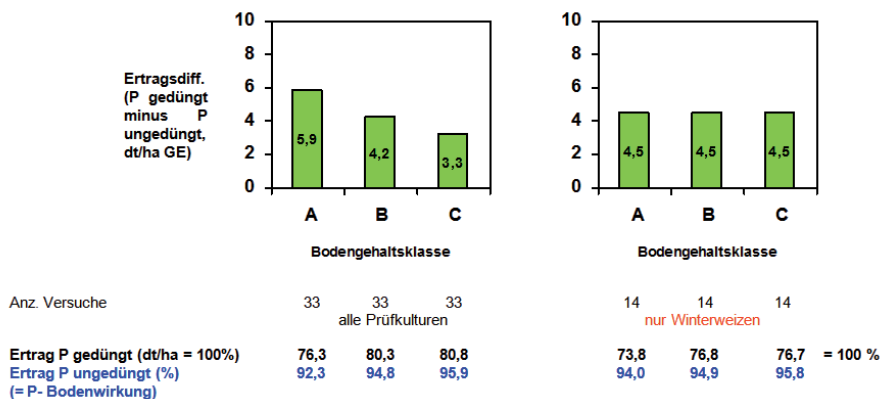


Abb. 4: Ertragsdifferenz zwischen $P_{\text{gedüngt}}$ und $P_{\text{ungedüngt}}$ in Abhängigkeit von der P-Bodenversorgungsklasse in Versuchen nach „BASF-Design“ sowie Höhe der P-Bodenwirkung (links: alle Prüfkulturen, rechts: nur Winterweizen)

Bei Auswertung von Dauerdüngungsversuchen nach „BASF-Design“ (innerhalb einer Versuchsfläche P-Steigerung auf jeweils drei Teilflächen, die sich in Bodengehaltsklasse A, B und C befinden) zeigte sich, dass die Ertragsdifferenz deutlich weniger (Abb. 4 links: alle Prüfkulturen) oder gar nicht von der Bodengehaltsklasse (Abb. 4 rechts: nur Winterweizen) abhängig war. Der Ertrag in $P_{\text{ungedüngt}}$ (= P-Bodenwirkung) lag in allen Teilflächen deutlich über 90 % (Ertrag in $P_{\text{gedüngt}} = 100 \%$). Zwischen den Teilflächen wurden nur geringe Unterschiede in der Höhe der P-Bodenwirkung festgestellt.

Diese Ergebnisse weisen daraufhin, dass zum einen durch eine jährliche Düngung ungefähr in Höhe der P-Abfuhr ein Absinken der P-Bodengehalte in Klasse A vermieden werden sollte, weil sonst dauerhaft auf Ertrag verzichtet wird. Zum anderen ist das Anstreben einer P-Versorgung in Klasse C nicht zwingend notwendig, da die P-Düngewirkung nahezu unabhängig von der P-Bodenversorgung war.

Sind Standorteigenschaften eventuell wichtiger als die Gehalte an P im Boden?
Eine Gruppierung der Ertragswirkung einer P-Düngung nach der Höhenlage oder der Jahresdurchschnittstemperatur des Versuchsstandortes zeigte, dass

mit zunehmender Höhenlage bzw. mit abnehmender Jahrestemperatur die P-Ertragswirkungen zunahmen (Tab. 1). Auch mit ansteigenden Jahresniederschlagsmengen nahm die P-Ertragswirkung zu, wobei aber die Effekte im Vergleich zu den beiden anderen Standortfaktoren nicht so deutlich ausgeprägt waren. Eine Nebenauswertung ergab beim Vergleich zwischen P-Frühjahrs- und P-Herbstapplikation immer eine ertragliche Überlegenheit der Frühjahrsdüngung.

Tab. 1: Ertragsreaktion einer P-Düngung bei Herbst- oder Frühjahrsapplikation in Abhängigkeit von der Höhenlage des Versuchsstandortes, der Jahresdurchschnittstemperatur und der Jahresniederschlagsmenge

Standortfaktor	Ausprägung	Ertragsdiff. ($P_{\text{gedüngt}}$ minus $P_{\text{ungedüngt}}$, dt/ha GE) bei Applikation von P im		
		Herbst	Frühjahr	Ø
Höhenlage	<300m	3,1	4,3	3,9
	300-500m	4,5	4,8	4,6
	>500m	5,1	5,8	5,6
Temperatur	7-8 °C	5,8	6,7	6,3
	8-9 °C	3,1	4,3	3,9
	9-10 °C	-1,1	3,4	2,6
Niederschlag	<600 mm	3,5	4,7	4,2
	600-800 mm	4,5	4,7	4,7
	>800 mm	4,5	5,2	4,9

Offensichtlich scheint die P-Ertragswirkung auch von solchen Standortfaktoren abhängig zu sein und sollte daher bei der P-Düngungsempfehlung Berücksichtigung finden.

4. Zusammenfassung

Im Rahmen einer Arbeitsgruppe in der Fachgruppe I des VDLUFA zur Überarbeitung des VDLUFA-P-Standpunktes wurden Düngungsversuche der BASF SE ab dem Jahr 1985 ausgewertet. Mehr als die Hälfte aller Daten stammten aus P-Dauerdüngungsversuchen, in denen auf jeweils einer Versuchsfläche eine P-Steigerung auf drei verschiedenen P-Bodenversorgungsniveaus durchge-

führt wurde (Bezeichnung „BASF-Design“). Die restlichen Daten resultierten aus „klassischen P-Steigerungsversuchen“, in denen sich in der Regel im Versuchsverlauf aufgrund der unterschiedlichen P-Düngungsmengen verschiedene P-Bodenversorgungsniveaus einstellten. In allen Versuchen wurden der bzw. die P-Bodengehalt(e) und der Ertrag erfasst.

Die Ergebnisse dieser Auswertung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Zwischen dem P-Gehalt im Boden und der Ertragshöhe ergab sich nur eine sehr schwache bzw. keine Beziehung. Auch zwischen dem P-Gehalt im Boden und der Ertragsreaktion (Differenz zwischen $P_{\text{gedüngt}}$ und $P_{\text{ungedüngt}}$) ergab sich keine Beziehung ($r^2 \approx 0,004$). Damit wird deutlich, dass der P-Gehalt des Bodens als Merkmal für die Bemessung der P-Düngung ungeeignet ist.
- Die klassischen P-Düngungsversuche ließen es nicht zu, zwischen der Ertragswirkung durch den Boden (bedingt durch die unterschiedlichen P-Gehalte des Bodens, die sich durch die langjährig unterschiedliche Höhe der P-Düngung eingestellt hatten) und durch die jährliche P-Düngung zu unterscheiden.
- Versuche nach „BASF-Design“ zeigten, dass es je nach Bodengehaltsklasse eine unterschiedliche Bodenwirkung gab. Die Höhe der P-Düngewirkung war jedoch nur gering oder gar nicht von der Bodenwirkung abhängig. Im Vergleich war die P-Bodenwirkung auf den Ertrag deutlich höher als die der P-Düngung.
- Standortfaktoren, wie z. B. Lage des Standortes über NN, durchschnittliche Jahrestemperatur oder durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge könnten eventuell die Düngungsempfehlungen auf Basis der Bodenuntersuchung verbessern.

Auf Basis dieser Auswertung sowie acker- und pflanzenbaulicher Kenntnisse und Erfahrungen zum Einfluss auf die P-Düngewirkung wurde ein P-Schätzrahmen entwickelt (Zerulla et al. 2011), in den neben dem P-Gehalt im Boden mit seinem, wie hier gezeigt, geringen Prognosewert für die Ertragswirksamkeit einer P-Düngung noch andere wichtige Faktoren mit dem Ziel eingehen, die P-Düngungsempfehlungen zu verbessern.

5. Literaturverzeichnis

Schenk, M., Baumgärtel, G., 1989: Anlage von Düngungsversuchen. In: Wagner F. und Prediger G. (Hrsg.), Der Feldversuch - Durchführung und Tech-

- nik, Spezielle technische Versuchsdurchführung B, Fritz Wagner Verlag, Bad Hersfeld, 10.1 - 10.8.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1991: Methode A 6.2.1.2, Bestimmung von Phosphor und Kalium im Doppellactat (DL) - 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.), 2002: Methode A 6.2.1.1, Bestimmung von Phosphor und Kalium im Calcium-Acetat-Lactat-Auszug. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Zerulla, W., Pasda, G., Lex, M., 2011: BASF-Phosphatschätzrahmen zur Bemessung der mineralischen P-Düngung, VDLUFA-Schriftenreihe 67, 156-164, Kongressband 2011 Speyer, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

BASF-Phosphatschätzrahmen zur Bemessung der mineralischen P-Düngung

W. Zerulla, G. Pasda, M. Lex

BASF SE, Agrarzentrum Limburgerhof

Der hier vorgestellte „BASF-Phosphatschätzrahmen zur Bemessung der mineralischen P-Düngung“, nachfolgend „P-Schätzrahmen“ genannt, basiert auf den Befunden, dass die P-Bodenuntersuchung alleine keine befriedigende Möglichkeit bietet, die Ertragswirksamkeit einer Phosphordüngung akzeptabel genau zu prognostizieren und damit eine sichere Beratung des Landwirtes über die Höhe einer eventuell notwendigen Düngung zu ermöglichen. Der P-Schätzrahmen stellt den Versuch dar, durch eine Gewichtung der P-Bodenuntersuchungsergebnisse und eine zusätzliche Berücksichtigung von Parametern, welche die P-Verfügbarkeit im Boden beeinflussen, die P-Düngungsempfehlung für den Landwirt zu verbessern.

1. Aussagekraft einer P-Bodenuntersuchung

Umfangreiche eigene Untersuchungsergebnisse sowohl aus einjährigen P-Düngungsversuchen, aus Dauerdüngungsversuchen nach klassischer Anlage (P-Steigerung auf einem Standort mit Kontrolle ohne P-Düngung) als auch aus Dauerdüngungsversuchen nach BASF-Design (unterschiedliche Gehaltsklassen auf einem Standort mit jeweiliger P-Steigerung und Kontrolle ohne P-Düngung; Beschreibung in Pasda et al., 2011) zeigten keine statistische Beziehung zwischen Phosphorgehalt im Boden und Ertragswirksamkeit einer P-Düngung auf.

Diese Ergebnisse werden durch zahlreiche andere Untersuchungen bestätigt (Mokry, 1996; Hege et al., 2008; Römer, 2009). Da ähnliche Ergebnisse auch in anderen Ländern mit unterschiedlichen Bodenuntersuchungsmethoden gefunden wurden (Tandy et al., 2011; Johnston et al., 2001), bezieht sich die mangelnde Aussagekraft der P-Bodenuntersuchung nicht auf die in Deutschland vorherrschende CAL- (oder früher DL-) Methode, sondern scheint ein generelles Problem der P-Bodenuntersuchung dazustellen.

Die BASF Untersuchungsergebnisse zeigten darüber hinaus, dass es auch nicht möglich ist, anhand des P-Gehaltes im Boden auf das Ertragsniveau des Stand-

ortes zu schließen (Pasda et al., 2011). Es wurden oft bei niedriger P-Bodenversorgung vergleichsweise hohe Erträge, bei hoher P-Bodenversorgung vergleichsweise geringe Erträge erzielt, weil offensichtlich in vielen Fällen andere Produktionsfaktoren als der P-Gehalt des Bodens für den Ertrag limitierend waren.

2. Ökonomie einer Aufdüngung, um eine höhere P-Gehaltsklasse zu erreichen

Trotz deutlich gestiegener Erzeugerpreise ist es bei den heutigen Kosten für P-Düngemittel nicht ökonomisch, von Gehaltsklasse A in die nach VDLUFA-Empfehlung anzustrebende Gehaltsklasse C aufzudüngen.

Dies zeigt folgende Berechnung mit unterschiedlichen Preisen für Winterweizen und P-Dünger auf Basis von Versuchsdaten: Danach benötigt man zur Anhebung eines gegebenen Gehaltes von 4,5 auf 8 mg $P_2O_5/100$ g Boden 520 t/ha. Je nach Preis des P-Düngers fallen hierfür Kosten zwischen 260 (bei 0,50 €/kg P_2O_5) und 1 040 €/ha (bei 2,00 €/kg P_2O_5) an.

Bei mittleren Kosten von 780 € (angenommener P-Preis 1,50 €/kg P_2O_5) dauert es am Beispiel Winterweizen je nach Weizenpreis zwischen 13 (bei 20 €/dt Weizen) und 26 Jahren (bei 10 €/dt Weizen), bis sich die P-Aufdüngung amortisiert hat. In diesem Zeitraum ist jedoch schon längst wieder der P-Gehalt des Bodens auf sein Ausgangsniveau zurückgefallen, da, auf Basis der P-Abfuhr (Annahme: 56 kg P_2O_5/ha , bei 70 dt/ha GE und 0,8 % P_2O_5 im Ernteorgan) durch die angebauten Kulturen berechnet, es nur 9,3 Jahre dauert, bis die gedüngte P-Menge wieder von den Pflanzen entzogen und mit der Ernte abgefahren wurde.

Das bedeutet, man müsste zusätzlich zur aufgedüngten P-Menge noch Phosphor in Höhe der jährlich zu erwartenden P-Abfuhr düngen, um ein Absinken des P-Gehaltes im Boden zu vermeiden. Diese P-Menge wird jedoch in den seltensten Fällen ertragswirksam.

3. Veränderung der Bodengehalte

Während die P-Bodenuntersuchung keinen Zusammenhang zwischen Gehalt im Boden und Ertragsreaktion auf eine P-Düngung aufzeigt, gibt es zahlreiche

Veröffentlichungen die zeigen, dass sich Veränderungen in der P-Düngungshöhe mittelfristig durch eine Veränderung der P-Gehalte im Boden nachweisen lassen (Baumgärtel, 1996; Mokry, 1996; Hege et al., 2008).

Da es nicht Ziel einer nachhaltigen P-Düngungsempfehlung sein kann, langfristig den Boden an Phosphat auszuhagern oder mit Phosphat anzureichern, wird im P-Schätzrahmen eine Veränderung der aktuellen Bodengehalte als Warnhinweis verstanden, die P-Düngungshöhe zu verändern. Die Indexzahlen (Tab. 1a) sind daher so gestaltet, dass eine starke Absenkung der P-Gehalte im Boden zu einer erhöhten P-Düngung, eine Erhöhung der P-Gehalte im Boden dagegen zu einer verringerten P-Düngung führt.

Tab.1a: Aufbau des BASF-Phosphatschätzrahmens zur Bemessung der mineralischen P-Düngung

Ist der pH-Wert des Bodens i.O. (VDLUFA, 2000)	ja → Start P-Schätzrahmen		nein → aufkalken oder saure Dünger verwenden		
organ. Düngung (Gülle, Stallmist, Klärschlamm)?	nein	ja	ja	ja	
Menge ¹		gering bzw. selten	mittel	hoch	
Indexzahl	5	3	1	0 ²	
P-Gehaltsklasse des Bodens	A	B	C	D	E
Indexzahl	5	5	5	0 ²	0 ²
Ø Jahrestemp. des Standortes (°C)	<7	7-8	8-9	9-10	>10
Indexzahl	5	4	3	2	1
Flachgründigkeit des Standortes (A _n -Horizont, cm)	<25	25-30	30-35	35-40	>40
Indexzahl	5	4	3	2	1
Veränderung der P-Bodengehalte ³	C→A	C→B B→A	C→C B→B	C→D B→C	C→E B→D
Indexzahl	20	15	10	0 ²	0 ²
Ackerzahl	<30	30-45	45-60	60-85	>85
Indexzahl	5	4	3	2	1
Bodenverdichtungen (nasse Ernte/Bestellung)?	ja → aktuelle Kultur auf jeden Fall düngen		nein → nach Bewertungsergebnis vorgehen (Tab. 3b)		

¹ Mengen sind zu definieren, ² Abschätzung mittels P-Schätzrahmen beenden, keine mineralische P-Düngung notwendig, ³ innerhalb von z.B. 6 Jahren

Tab 1b: P-Düngungsempfehlung auf Basis des BASF-Phosphatschätzrahmens

Fruchtfolge	> 36	Summe Indexzahlen		14-22
		27-36	23-26	
Raps- Getreide- Getreide	Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr x 1,5 zu jeder Kultur	Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr zu jeder Kultur	keine Dgg. zu Raps, Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr zu Getreide	keine Dgg. zu Raps, Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr zum abtragenden Getreide
ZR/Ka- Getreide- Getreide	Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr x 1,5 zu jeder Kultur	Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr zu jeder Kultur	Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr zu ZR/Ka und zum abtragenden Getreide	Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr zu ZR/Ka
Mais- Getreide- Getreide	Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr x 1,5 zu jeder Kultur, UF-Dgg. zu Mais (max. 40 kg P ₂ O ₅ /ha)	Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr zu jeder Kultur, UF-Dgg. zu Mais (max. 40 kg P ₂ O ₅ /ha)	Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr zu Mais und zum abtragenden Getreide, UF-Dgg. zu Mais (max. 40 kg P ₂ O ₅ /ha)	Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr zu Mais, UF-Dgg. zu Mais (max. 40 kg P ₂ O ₅ /ha)
keine feste Fruchtfolge	Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr x 1,5 zu jeder Kultur	Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr zu jeder Kultur	Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr zu jeder Kultur x 0,66	Dgg. in Höhe der erwarteten Abfuhr zu jeder 3. Kultur

Auf Grund der unter Punkt 1-3 aufgeführten Ergebnisse und Erkenntnisse sieht der P-Schätzrahmen in der Regel nur eine Düngung in Höhe der zu erwartenden Abfuhr vor (Tab. 1b). Eine Aufdüngung in Gehaltsklasse A und B wird nicht empfohlen. Die Düngung wird auf die Gehaltsklassen A-C beschränkt, auf eine P-Düngung in Höhe des halben Entzuges wird bei Gehaltsklasse D verzichtet. Damit ist allen ökonomischen und ökologischen Anforderungen an eine P-Düngung Rechnung getragen.

4. Eine regelmäßige P-Düngung zeigt Vorteile

Im Durchschnitt von 37 Versuchen (Basis P-Dauerdüngungsversuche nach BASF-Design, 1996-2010) zeigte sich, dass bei einer jährlichen Düngung in Höhe der halben P-Abfuhr durch die Ernteprodukte zwar ein etwas geringerer Ertrag (78,4 dt/ha GE) als bei einer P-Düngung nach voller Abfuhr (79,5 dt/ha GE) erzielt wurde, der Ertragsunterschied jedoch vergleichsweise gering (1,1 dt/ha GE) war. Sehr viel größer war der Ertragsunterschied zur Kontrolle ohne P-Düngung (75,6 dt/ha GE).

Diese Ergebnisse sind naheliegend, entsprechen sie doch dem Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses. Man bewegt sich offensichtlich mit einer halben P-Düngung schon im oberen Bereich einer klassischen P-Produktionsfunktionskurve.

Auch aus ökologischen Gründen ist eine jährliche P-Düngung einer P-Vorratsdüngung oder einer klassischen Fruchtfolgedüngung (gesamte P-Düngermenge zur Blatt- oder Hackfrucht) vorzuziehen. Gerade Flächen mit Zuckerrüben, Kartoffeln oder Mais sind häufig erosionsgefährdet. Eine Vorratsdüngung erhöht damit bei Erosionsereignissen den P-Eintrag in Gewässer. Dies ist einer der Gründe, warum auch der „Wissenschaftliche Beirat für Düngungsfragen“ in einer Stellungnahme zur begrenzten Ressource Phosphor eine „Düngung ins Maul“, d.h. zeitnah zum höchsten P-Bedarf der jeweiligen Kultur, fordert (Anonym, 2011).

Der P-Schätzrahmen sieht daher vor, bei einer an der P-Abfuhr orientierten Düngung jede Kultur in der Fruchtfolge zu düngen. Wird eine P-Düngung empfohlen, die unterhalb der P-Abfuhr innerhalb einer Fruchtfolge liegt, werden die Kulturen gedüngt, die auf eine P-Düngung oft positiv reagieren (Tab. 1b).

5. Wirkung einer P-Düngung bei kalter und nasser Witterung

Die Auswertung von insgesamt 22 P-Dauerdüngungsversuchen ergab, dass die Ertragsreaktion verschiedener Kulturen immer dann besonders stark ausgeprägt war, wenn die Frühjahrswitterung kühl war. Sie war noch deutlicher, wenn das Wetter nass-kalt war (Pasda, 2007).

Die Ertragserhöhungen waren sowohl bei einer Applikation des P-Düngers im Herbst als auch bei einer Ausbringung im Frühjahr zu Vegetationsbeginn zu verzeichnen. Eine Frühjahrsdüngung zeigte insbesondere bei nass-kalter Witterung besondere Vorteile gegenüber einer Düngung im Herbst. War es dagegen vergleichsweise warm, war unabhängig vom Applikationszeitpunkt des Düngers keine Ertragsreaktion auf eine P-Düngung zu verzeichnen (Pasda, 2007).

Pasda et al. (2011) konnten auch zeigen, dass die Ertragsreaktion auf eine P-Düngung umso ausgeprägter war, je höher der Standort über NN lag. Damit dürfte indirekt derselbe Effekt zum Ausdruck kommen: In kalten Frühjahren und in Höhenlagen, die kältere Standorte mit späten Frühjahren repräsentieren, ist die Diffusion im Vergleich zu warmen Standorten/Witterungsbedingungen geringer und kann oft den hohen P-Bedarf der Kulturen im Frühjahr nicht ausreichend decken.

Im P-Schätzrahmen wird diesen Befunden dahingehend Rechnung getragen, dass für Standorte mit niedriger durchschnittlicher Jahrestemperatur prinzipiell eher eine P-Düngung angeraten wird als für Standorte mit hoher durchschnittlicher Jahrestemperatur.

6. Einfluss der Bodenstruktur

Untersuchungen bereits Mitte/Ende der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts zeigten, dass zur Erzielung eines bestimmten Ertrages bei schlechter Bodenstruktur wesentlich mehr Phosphat im Boden notwendig ist, als bei guter Bodenstruktur (Sturm et al., 1994). Diese Ergebnisse sind wahrscheinlich auf eine mangelnde Durchwurzelung des Bodens und/oder eine eingeschränkte P-Mobilisierung in der Rhizosphäre zurückzuführen. Ebenso ist in verdichteten Böden die Diffusion eingeschränkt (Schilling, 2000), so dass sich dies bei Strukturschäden überproportional negativ auf die P-Versorgung der Pflanzen auswirken kann.

Im P-Schätzrahmen wird daher vorgeschlagen, unabhängig von der P-Versorgung des Bodens, bei Böden mit Strukturschäden (z. B. bei zu nasser Zuckerrübenenernte im Vorjahr oder zu nasser Bestellung) grundsätzlich eine P-Düngung in Höhe der zu erwartenden P-Abfuhr durchzuführen. Als Strukturschäden sind dabei Verschlammungen oder Bodenverdichtungen aus der letzten Ernteperiode oder Bestellung, nicht aber dauerhafte Pflugsohlen zu verstehen.

7. Sonstige Parameter

Indirekte Parameter für die Güte eines Standortes sind Flachgründigkeit und Ackerzahl. Beide Parameter sind dem Landwirt bekannt und können deshalb einfach über einen Schätzrahmen erfragt werden.

Wird keine regelmäßige, hohe organische Düngung auf solchen Standorten durchgeführt, so sind diese Parameter indirekte Hinweise auf die Ausprägung des durchwurzelbaren Bodenraumes und/oder der Fruchtbarkeit eines Standortes und damit auch auf die P-Verfügbarkeit. Da die Kombination von flachgründigen Standorten oder Standorten mit niedriger Ackerzahl und hoher organischer Düngung im P-Schätzrahmen bereits an früherer Stelle abgefragt und in diesem Fall eine mineralische P-Düngung ausgeschlossen wird, ist die Erhebung der Parameter Flachgründigkeit und Ackerzahl eine zusätzliche Informationsquelle, um eine mineralische P-Düngungsempfehlung sicherer zu machen.

8. Organische Düngung

Eine organische Düngung in vernünftigem Ausmaß ist im Sinne einer Kreislaufwirtschaft die Basis jeder Düngungsempfehlung. Darüber hinaus zeigt eine kombinierte Düngung aus organischen und mineralischen Düngern oft eine bessere Ertragswirksamkeit als eine rein mineralische Düngung (z.B. Körschens, 1994).

Leider hat in der Vergangenheit die Entsorgung pflanzenbaulich nicht gerechtfertigt hoher Mengen an organischen Düngern dazu geführt, dass in manchen Regionen Böden zu hohe Gehalte an Nährstoffen (und hier vor allem Phosphat) aufweisen und dadurch zu ökologischen Problemen beitragen.

Der P-Schätzrahmen trägt dem Rechnung, indem er eine mineralische Ergänzungsdüngung bei hoher organischer Düngung ausschließt. Da der P-Schätzrahmen jedoch nur zur Abschätzung der Notwendigkeit einer mineralischen Ergänzungsdüngung konzipiert ist, wird die Zufuhr von Phosphat durch organische Dünger über die erwartete Abfuhr der angebauten Kultur hinaus weder bewertet noch beurteilt.

9. Zusammenfassung

Der BASF Phosphatschätzrahmen stellt einen Vorschlag und Entwurf dar, die bestehende VDLUFA-P-Düngungsempfehlung, die ausschließlich auf den Ergebnissen der Bodenuntersuchung nach CAL beruht, zu verbessern und um weitere Beurteilungsparameter zu ergänzen. Der P-Schätzrahmen empfiehlt nur noch bei den Gehaltsklassen A-C in Höhe der zu erwarteten P-Abfuhr die Kulturen zu düngen. Er verzichtet auf die Empfehlung einer nicht ökonomischen Aufdüngung und sieht meist eine jährliche P-Düngung vor. Eine Veränderung der Bodenversorgung nach oben oder unten wird als Hinweis gesehen, die P-Düngung zu erhöhen oder zu reduzieren. Parameter wie durchschnittliche Jahrestemperatur des Standortes, Tiefgründigkeit des Bodens und Güte des Standortes gehen ebenfalls in die Beurteilung hinsichtlich der Notwendigkeit bzw. der Höhe der notwendigen P-Düngung ein. Der P-Schätzrahmen erhebt nicht den Anspruch, alle die P-Verfügbarkeit beeinflussenden Parameter ausreichend berücksichtigt zu haben. Er ist für Ergänzungen oder Korrekturen offen.

10. Literaturverzeichnis

Anonym, 2011: Nachhaltiger Umgang mit der begrenzten Ressource Phosphat durch Recycling und Erhöhung der Phosphoreffizienz der Düngung. Standpunkt des „Wissenschaftlichen Beirates für Düngungsfragen“ im BMELV (http://www.bmelv.de/Shared_Docs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Duengungsfragen/Phosphor.html).

Baumgärtel, G., 1996: Ergebnisse langjähriger statischer Phosphatdüngungsversuche auf ackerbaulich genutzten Flächen, VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 42, 94-109, Ergebnisse langjähriger, ortsfester Phosphatdüngungsversuche auf Acker und Grünland, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

- Hege, U., Wendland, M., Offenberger, K., 2008: Zur Bedeutung der Bodenversorgung mit Phosphat und Kali: Wie hoch müssen die Nährstoffgehalte im Boden sein? Pflanzenbauwissenschaften 12, 53-56.
- Johnston, A.E., Ehlert, P.A.I., Kücke, M., Amar, B., Jaggard, K.W., Morel, C., 2001: The effect of phosphate fertilizer management strategies on soil phosphorus status and crop yields in some European countries, Evaluation Report (1991-1996), World Phosphate Institute (Imphos), Casablanca, (<http://www.imphos.org/download/book.html>).
- Körschens, M. (Hrsg.), 1994: Der statische Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 90 Jahren - Einfluss der Düngung auf Boden, Pflanze und Umwelt. B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart und Leipzig.
- Mokry, M., 1996: P-Düngungsversuche - Baden-Württemberg, VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 42, 4-10, Ergebnisse langjähriger, ortsfester Phosphatdüngungsversuche auf Acker und Grünland. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Pasda, G., 2007: Phosphor - Im Herbst oder Frühjahr geben? DLG-Dünger-Magazin, Heft Sommer 2007 (Verlagsbeilage zur DLG-Mitteilungen Heft 6/2007). Max-Eyth-Verlagsgesellschaft, Frankfurt/Main.
- Pasda, G., Zerulla, W., Willkommen, S., 2011: Ergebnisse aus P-Düngungsversuchen der BASF SE für die gemeinsame Auswertung zur Überarbeitung des P-VDLUFA-Standpunktes. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 67, 154-161, Kongressband 2011 Speyer, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Römer, W., 2009: Ansätze für eine effiziente Nutzung des Phosphors auf der Basis experimenteller Befunde. Berichte über Landwirtschaft 87, 5-30.
- Schilling, G., 2000: Pflanzenernährung und Düngung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Sturm, H., Buchner, A., Zerulla, W., 1984: Gezielter düngen: Integriert - wirtschaftlich – umweltgerecht. DLG-Verlag, Frankfurt/Main
- Tandy, S., Mundus, S., Yngvesson, J., de Bang, T.C., Lombi, E., Schjoerring, J.K., Husted, S., 2011: The use of DGT for prediction of plant available copper, zinc and phosphorus in agricultural soils. Plant and Soil 346, 167-180.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2000: VDLUFA-Standpunkt: Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

N- und P-Bilanzen der Landwirtschaft in Rheinland-Pfalz

F. Fritsch

DLR Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Bad Kreuznach

1. Einleitung

Nährstoffsalden, bezogen auf einen Schlag, einen Betrieb, eine Region oder ein Land, sind Indikatoren der Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion. Sie können (je nach Datenverfügbarkeit) mittels einer „Hoftorbilanz“ (bezogen auf den Betrieb oder eine Region als Einheit) oder einer „Feld-Stall-Bilanz“ (bezogen auf die jeweiligen Flächen) errechnet werden. Auf Ebene des landwirtschaftlichen Betriebs mit Viehhaltung ist die Hoftorbilanz aussagekräftiger als die Feld-Stall-Bilanz, weil bei letzterer die Schätzung der Erträge und Nährstoffgehalte im Futterbau sowie der Nährstoffausscheidungen aus der Tierhaltung zu Fehlern führen kann. Die Hoftorbilanz erfasst statt der innerbetrieblichen Nährstoffbewegungen die Nährstoffzu- und -abfuhr mit Futtermitteln, Tieren und Tierhaltungsprodukten.

2. N-Bilanzen auf Bundes- und Länderebene

Der N-Saldo der Landwirtschaft in Deutschland wird nach dem Prinzip der Hoftorbilanz für 2009 mit 87 kg N/ha LF angegeben (BMELV, 2011). Für den Zeitraum 2000-2003 berechneten Nieder et. al. (2007) Hoftorbilanzen (ohne legume N-Bindung, Klärschlamm und Kompost) für die deutschen Bundesländer (N-Saldo von Rheinland-Pfalz 28 kg N/ha, von Deutschland 84 kg N/ha). Die Autoren verweisen jedoch auf Düngemittelimporte als Fehlerquellen in der zugrundeliegenden Düngemittelstatistik.

3. Landesweite N- und P-Bilanz im Jahr 2009

Zur Erstellung einer landesweiten N- und P-Bilanz wurde wegen der begrenzten Datenverfügbarkeit nach dem Prinzip der Feld-Stall-Bilanz vorgegangen.

Der Nährstoffanfall aus der Viehhaltung wurde aufgrund der Bestände und den von der Officialberatung benutzten Nährstoffausscheidungen (DLG, 2005) errechnet (Tab. 1).

Tab. 1: Nährstoffanfall aus der Viehhaltung (Ausscheidungen) 2009

Tierkategorie	Bestand ¹⁾	pro Stallplatz ²⁾		gesamt (1000 kg)	
		kg N	kg P	N	P
weibl. Jungvieh	150 900	52	7,5	7 847	1 132
Milchkühe	118 400	120	17,5	14 208	2 072
Mutterkühe und andere	45 700	110	15	5 027	686
Rinder zum Schlachten	69 100	42	7,3	2 902	504
weibl. Zuchtschafe	63 200	18,6	2,6	1 176	164
sonstige Schafe	5 500	13	1,7	72	9
Damwild ⁴⁾	2 000	21,6	3	43	6
Jung- u. Mastschweine	182 100	12,7	2,5	2 313	455
Sauen (mit Ferkeln)	21 900	37	8	810	175
Eber	500	22,1	4,1	11	2
Pferde ³⁾	19 000	46	9	874	171
Legehennen	658 500	0,786	0,205	518	135
Puten ⁴⁾	35 000	1,5	0,43	53	15
Mast-/Aufzuchtgeflügel ⁴⁾	200 000	0,38	0,1	76	20
Summen				35 928	5 547

¹⁾ Statistisches Landesamt, Bad Ems, Viehzählung 2009 (nach Kategorien entsprechend den Nährstoffausscheidungen geändert),

²⁾ Nährstoffausscheidungen auf Basis der von der Officialberatung benutzten Werte teilweise geschätzt, da für die Tierkategorien gemäß Viehzählung nicht in jedem Fall zuordenbare Angaben zur Verfügung stehen,

³⁾ Bestand von 2010, da für 2009 nicht verfügbar (Annahme: 2/3 Großpferde, 1/3 Ponys),

⁴⁾ Bestand geschätzt

Weitere Nährstoffzufuhren erfolgten vor allem mit Mineraldüngern, Gärresten (Biogasanlagen), Geflügelkotimporten, Klärschlamm, Bioabfallkomposten, Fleischknochenmehlen sowie der N-Bindung der Leguminosen (Tab. 2).

Tab. 2: Weitere Nährstoffzufuhren 2009

					1 000 kg	
					N	P
Mineraldüngung¹⁾					46 946	3 184
Gärreste (NawaRo-Pflanzen)²⁾	ha	Ø-Ertrag dt/ha	kg/ha			
			N	P		
Silomais	9 084	500 (FM)	200	37	1 817	336
Getreide-GPS und -korn	3 413	pauschal	150	28	512	96
Feldgras/sonstige	1 064	80 (TM)	216	30	230	32
Dauergrünland	1 383	70 (TM)	160	30	221	41
Summen	14 944				2 780	505
legume N-Bindung	ha	kg N-Bindung/ha				
Körnerlegum.	1 302	180 ⁵⁾			234	
Ackerfutterbau	12 000 ⁵⁾	120 ⁵⁾			1 440	
Grünland	238 440	30 ⁵⁾			7 153	
Summe					8 827	
		Mengen	% N	% P		
Geflügelkotimporte³⁾		44 000 t	4,2	1,9	1 848	836
Klärschlämme⁴⁾		62 562 t	4,8	2,15	3 003	1 345
Bioabfallkomposte⁴⁾		29 670 t	1,3	0,3	386	89
Fleischknochen-, Tiermehl⁵⁾		10 000 t	7,5	6,7	750	670

¹⁾ Statistisches Bundesamt, Düngemittelversorgung, Wirtschaftsjahr 2009/2010. Der Düngemittelabsatz von 2009/10 kam im Wesentlichen erst 2010 zum Einsatz. Er entspricht dem Durchschnitt der beiden Vorjahre, wobei 2008/09 ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen war.

²⁾ Betriebserhebung Biogas, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Eifel, 2010. Die Nährstoffabfuhr entspricht der Nährstoffzufuhr.

³⁾ auf Basis der hygienerechtlichen Einfuhrgenehmigungen für 2009, Landesuntersuchungsamt, Koblenz.

⁴⁾ Landesabfallbilanz 2009, Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz, Mainz

⁵⁾ wegen Leguminosenanteil geschätzt

Die Nährstoffabfuhr von den Flächen wurden über den Anbauumfang der einzelnen Kulturen, den durchschnittlichen Erträgen sowie den von der Officialberatung benutzten Nährstoffgehalten ermittelt (Tab. 3).

Tab. 3: Nährstoffabfuhr 2009

	ha ¹⁾	Ø-Ertrag dt/ha ¹⁾	kg/ha		1 000 kg	
			N	P	N	P
Weizen	111 450	74,5	149	25	16 606	2 823
Triticale, Roggen	29 340	65,0	109	22	3 198	648
Wintergerste	38 729	63,7	108	22	4 183	839
Sommergerste	48 922	53,8	78	18	3 816	895
Hafer, sonst. Getreide	10 568	46,8	75	16	793	168
Körnermais, CCM	7 644	100,5	141	34	1 078	261
Kartoffeln, sonst. Hackfr.	7 986	384	135	23	1 078	184
Zucker-, Runkelrüben	19 135	690	124	30	2 373	574
Körnerleguminosen	1 302	39,0	140	19	182	24
Gemüse, Erdbeeren etc.	12 878		100 ²⁾	20 ²⁾	1 288	258
Tabak, Handelsgewächse	2 846		100 ²⁾	20 ²⁾	285	57
Raps, Sonnenblumen	45 400	41,0	137	32	6 220	1 453
Klee, Luzerne, Gras	23 908	58,9 ³⁾	159	21	3 801	502
Silomais	26 213	483 ⁴⁾	193	36	5 059	944
Flächenstilllegung	9 873	-	-	-	-	-
Obstanlagen, Baumschulen	6 089		25 ²⁾	4 ²⁾	152	24
Rebanlagen	63 995	97,0 ⁵⁾	6	2	384	128
Dauergrünland	238 440	57,9 ³⁾	120	30	28 613	7 153
Summen	704 718				79 108	16 935

¹⁾ Statistisches Landesamt, Bad Ems, Statistisches Jahrbuch 2010

²⁾ geschätzt

³⁾ Trockenmasse-Erträge

⁴⁾ Frischmasse-Erträge

⁵⁾ Most

Die Nährstoffbilanz des Landes Rheinland-Pfalz für 2009 in kg pro ha landwirtschaftliche Fläche ist in Tabelle 4 dargestellt. Zusätzlich könnte die atmosphärische NO_x-Deposition mit ca. 9 kg N/ha (BMELV, 2011) angenommen werden.

Nicht erfasst wurden Saat- und Pflanzgut (ca. 1,4 kg N und 0,5 kg P/ha), N-Verluste (Denitrifikation, Immobilisierung, Auswaschung), die N-Nachlieferung aus dem Boden und der Anteil gasförmiger Ammoniakverluste aus Viehhaltung und Wirtschaftsdüngerverwertung, der sich außerhalb landwirtschaftlicher Flächen niederschlägt.

Tab. 4: Nährstoffbilanz von Rheinland-Pfalz 2009

	1 000 kg gesamt		kg pro ha LF	
	N	P	N	P
Nährstoffe aus Tierhaltung (ohne N-Verluste)	35 928	5 547	51,0	7,9
Mineraldüngung	46 946	3 184	66,6	4,5
Gärreste (NawaRo)	2 780	505	3,9	0,7
legume N-Bindung	8 827		12,5	0,0
Geflügelkotimporte	1 848	836	2,6	1,2
Klärschlamm	3 003	1 345	4,3	1,9
Bioabfallkompost	386	89	0,5	0,1
Fleischknochen-, Tiermehl	750	670	1,1	1,0
Summe Zufuhren	100 468	12 176	143	17,3
Nährstoffabfuhr (inkl. Beweidung)	79 108	16 935	112	24,0
Nährstoffsaldo gesamt	21 360	- 4 759	30,3	- 6,8

Größere Unsicherheiten liegen vor bei der Ertragseinschätzung des Grünlands sowie bei dessen N-Bindung durch Leguminosen. Der Mineraldüngeraufwand erhöht sich um Einfuhren aus Nachbarländern, die dem Statistischen Bundesamt nicht gemeldet werden.

Trotz aller Ungereimtheiten liegt der N-Saldo unter dem bundesdeutschen Durchschnittswert. Der aktuelle P-Saldo ist eindeutig negativ.

4. N- und P-Bilanzen landwirtschaftlicher Betriebe

Nährstoffvergleiche landwirtschaftlicher Betriebe (gemäß Düngeverordnung als Feld-Stall-Bilanz) aus den Jahren 2008 bis 2010 wurden anlässlich von Cross Compliance-Kontrollen erhoben. Die Betriebe wurden zufällig sowie nach Risikokriterien (Betriebsgröße, Tierhaltung, Gemüsebau etc.) ausgewählt.

Abbildung 1 zeigt den N-Saldo (Mittelwert 26 kg N/ha LF) in Abhängigkeit von der N-Zufuhr aus organischer Düngung (Wirtschaftsdünger, Klärschlamm, Kompost etc.). Unabhängig vom Viehbesatz kann ein Teil der Betriebe den in der Düngeverordnung auf 60 kg N/ha begrenzten N-Überschuss nicht einhalten, obwohl bestimmte Ammoniakverluste aus der Anwendung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft bereits abgezogen wurden. Bei Auswertungen von Nährstoffvergleichen rheinland-pfälzischer Betriebe nach dem Prinzip der Hoftorbilanz (ohne Abzug von Ammoniakverlusten) um das Jahr 2000 lag der N-Saldo deutlich höher und stieg mit dem Viehbesatz deutlich an ($\text{kg N/ha} = 34 + 46 \cdot \text{GV/ha}$).

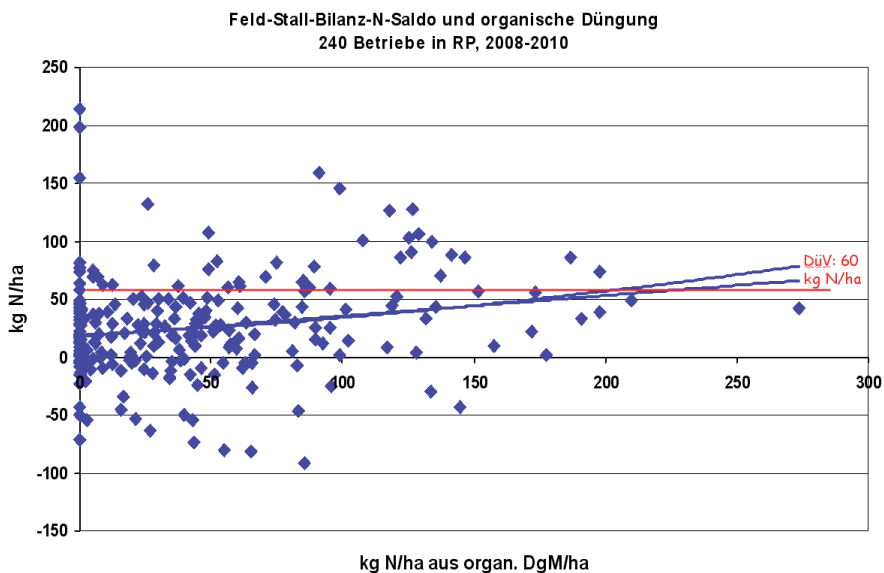


Abb. 1: N-Saldo und N-Zufuhr aus organischer Düngung

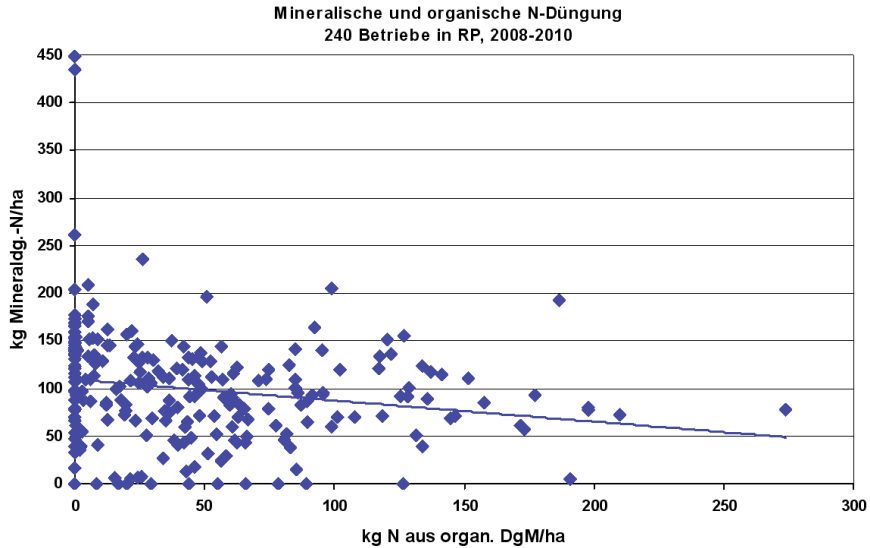


Abb.2: Mineraldünger-N-Einsatz und organische Düngung

Anhand der Darstellung des Mineraldünger-N-Einsatzes in Relation zum Einsatz von Stickstoff aus organischer Düngung wird deutlich, dass die N-Wirkung aus organischer Düngung nicht immer entsprechend berücksichtigt wird (Abb. 2).

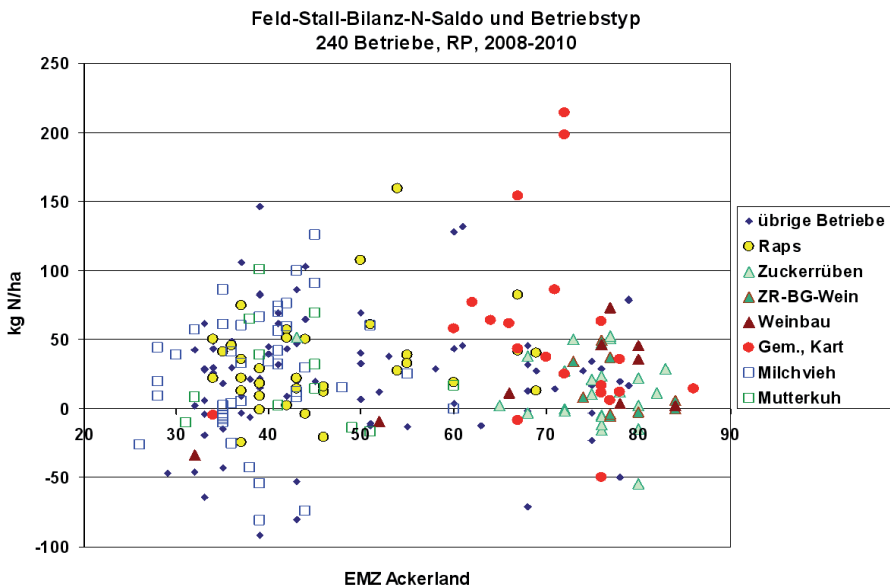


Abb.3: N-Salden verschiedener Betriebstypen in Relation zur durchschnittlichen Ackerzahl

Betriebe mit Gemüsebau, aber auch solche mit hohen Rapsanteilen in der Fruchtfolge, weisen teilweise überhöhte N-Salden auf, während der Anbau von Zuckerrüben, Braugerste und Reben zu vertretbaren N-Überschüssen der Betriebe führt (Abb. 3).

Der durchschnittliche P-Saldo der Betriebe ist negativ (Abb. 4). In vielen Betrieben wird kein P-Dünger zugekauft und der P-Anfall aus Wirtschaftsdüngern ist in Rheinland-Pfalz vergleichsweise niedrig. Dennoch schaffen es einige Betriebe (auch viehlose auf den besseren Standorten) nicht, den in der Düngeverordnung geforderten P-Überschussaldo einzuhalten.

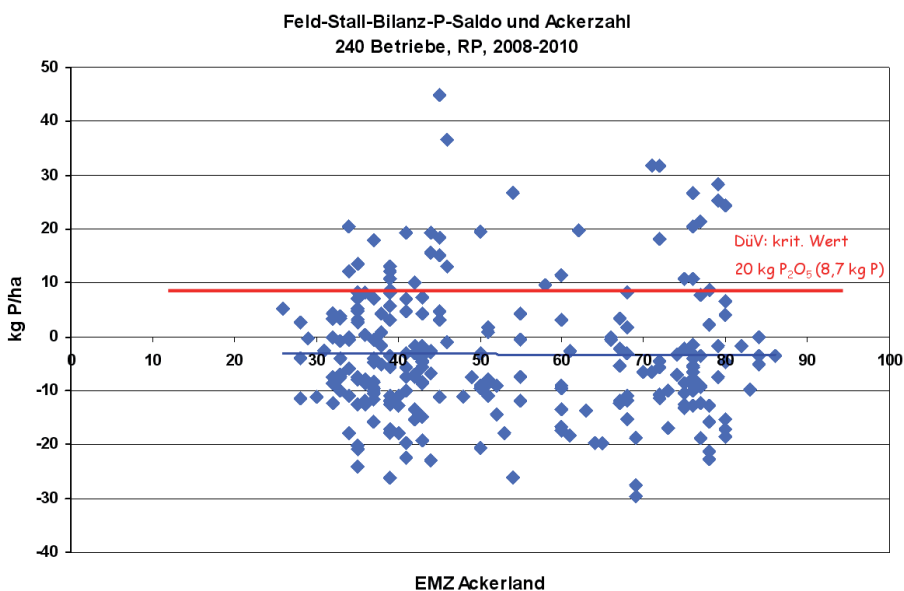


Abb. 4: P-Saldo in Relation zur durchschnittlichen Ackerzahl

5. Fazit

Betriebliche Nährstoffvergleiche bestätigen prinzipiell die auf Landesebene berechneten Daten. Der N-Saldo von Rheinland-Pfalz ist geringer als der Bundesdurchschnitt (wegen geringem Viehbestand und hohem Anteil niedrig gedüngter Kulturen (Braugerste, Reben)). Der P-Saldo weist bei hoher Streubreite ein Defizit auf.

6. Literatur

- BMELV, 2011: Statistik und Berichte des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Nährstoffbilanz insgesamt von 1990 bis 2009 in kg N/ha landwirtschaftlicher Fläche. www.bmelv-statistik.de, Aktualisierung vom 17.05.2011.
- DLG, 2005: Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Arbeiten der DLG, Band 199. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.
- Nieder, B., Köster, W. Kersebaum, K.-C., 2007: Beitrag der Landwirtschaft zu diffusen N-Einträgen. Wasserwirtschaft 1-2, 53-57.

Das Malat-Sulfat-Verhältnis als Indikator des Schwefelbedarfs von Raps: Erfahrungen aus einem dreijährigen Feldversuch

H. Pralle, H.-W. Olf

Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaft und Landschaftsarchitektur, Fachgebiet Pflanzenernährung, Osnabrück

1. Einleitung

Schwefel (S) gehört zu den wichtigen Nährstoffen für landwirtschaftliche Kulturpflanzen, wobei insbesondere Raps einen hohen Schwefelbedarf hat. Schwefel ist für diverse physiologische Prozesse in der Pflanze erforderlich, unter anderem für die Chlorophyllbildung sowie die Protein- und Ölsäuresynthese (Schilling, 2000). Eine ausreichende Schwefelversorgung muss sicher gestellt werden, um das volle Leistungspotential moderner Rapssorten auszunutzen und hohe Erträge sowie Ölgehalte zu realisieren. Dabei steigert eine ausreichende S-Versorgung auch die Resistenz gegenüber pilzlichen Schaderregern (Bloem et al., 2007). Die Höhe des S-Bedarfs von Raps wird mit 50 bis 80 kg S/ha angegeben (VDLUFA, 2000). Auch wenn ein Teil dieser S-Menge aus dem Bodenumsvorrat bzw. organischen Düngern mineralisiert wird oder aus schwefelhaltigen Grunddüngern zur Verfügung gestellt werden kann, ist in der Regel eine gezielte mineralische Schwefeldüngung erforderlich (Baumgärtel, 2009). Etabliert hat sich bei Raps eine S-Düngung im Frühjahr um den wachsenden Beständen von Beginn an ausreichend Schwefel zur Verfügung zu stellen.

Die Abschätzung der noch zu düngenden Schwefelmenge erfolgt in der Praxis überwiegend anhand des Schwefel-Schätzrahmens, unter Berücksichtigung von S_{\min} -Analysen des Bodens oder aufgrund von Erfahrungswerten. Wenig verbreitet ist dagegen das Verfahren, den Schwefelbedarf anhand von Pflanzenanalysen zu bestimmen. Die vergleichsweise hohen Analysekosten sowie das Fehlen von Richtwerten für eine ausreichende S-Versorgung von jungen Rapspflanzen sind hierfür als Gründe anzuführen. Belastbare Richtwerte zur ausreichenden S-Versorgung von Raps liegen nur für das Stadium des Sichtbarwerdens der Hauptinfloreszenz (BBCH 51) vor. Zu diesem Stadium wird oberhalb von 0,55 % S in der TS der jüngsten Blätter von einer ausreichenden S-Versorgung ausgegangen (VDLUFA, 2000). Wird ein Schwefelmangel jedoch erst zu

diesem späten Termin diagnostiziert, ist zu erwarten, dass trotz einer sofortigen S-Düngung Ertragseinbußen i. d. R. nicht mehr zu verhindern sind (VDLUFA, 2000).

Eine innovative Methode zur Diagnose der Schwefelversorgung auch von jungen Rapspflanzen stellt die Bestimmung des Malat-Sulfat-Verhältnis (im Weiteren mit MSV abgekürzt) dar. Dieses Verfahren wurde am IACR-Rothamsted entwickelt und wird vom Hill Court Farm Research (beide in Großbritannien) angeboten. Neben der frühen Einsetzbarkeit soll sie sich auch durch eine hohe Sensibilität und Aussagesicherheit auszeichnen (Blake-Kalff et al., 2000).

In einer dreijährigen Versuchsserie wurde an der Hochschule Osnabrück das Verfahren zur Bestimmung des MSV in Raps erprobt, um dessen Aussagegenauigkeit und Praxistauglichkeit zu evaluieren.

2. Beschreibung der MSV-Methode

Malat, das Salz der Apfelsäure, erfüllt wichtige physiologische Funktionen in den Zellen. Genannt seien hier nur Ausbalancierung der Anionen- und Kationenaufnahme zur Regelung des Ladungsausgleiches und des cytoplasmatischen pH-Wertes in der Vakuole (Martinoia und Rentsch, 1994). Pflanzen reagieren auf eine Abnahme der Sulfatgehalte in den Zellen mit einer Erhöhung der Malatkonzentration. Dabei steigt die Malatkonzentration in einem stärkeren Maße an, als die Sulfatkonzentration abnimmt (Blake-Kalff et al., 2000). Dies bewirkt eine hohe Sensibilität der Methode, wodurch auch eine sichere Diagnose latenter Schwefel-Mangelsituationen ermöglicht werden soll.

Im Gegensatz zu üblichen Pflanzenanalysen wird bei der Bestimmung des Malat-Sulfat-Verhältnisses somit keine Mengen- oder Konzentrationsangabe eines Nährstoffes angegeben, sondern das Verhältnis zweier Pflanzeninhaltsstoffe zueinander. Die Analyse der beiden Stoffe erfolgt mittels Ionenchromatographie (Hill Court Farm Research, 2011).

Als Ergebnis einer MSV-Analyse wird das Verhältnis von Malat zu Sulfat ausgewiesen. Dabei bedeutet z. B. ein MSV von 2,0 dass im analysierten Material die Malatkonzentration doppelt so hoch wie die Sulfatkonzentration ist. Der mögliche Wertebereich des MSV beginnt bei null, eine ausreichende S-Versorgung

liegt bis zu einem MSV von 1,5 vor. Zwischen 1,5 und 2,0 wird die S-Versorgungssituation als „verdächtig“ bezeichnet, d.h. hier liegt möglicherweise schon ein S-Mangel vor. Oberhalb von 2,0 ist von einem Schwefelmangel auszugehen (Abb. 1). Diese Grenzwerte sollen für den gesamten Vegetationsverlauf gelten und die Methode ist auch in anderen Kulturen anwendbar (McGrath et al., 2003).

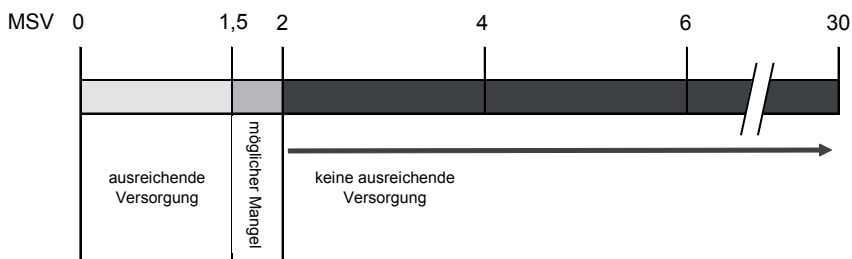


Abb. 1: Wertebereich des MSV und dessen Bedeutung für die S-Versorgung

Zusammenfassend verspricht die Methode der Bestimmung des MSV somit über folgende Eigenschaften bzw. Vorzüge im Vergleich zur herkömmlichen Pflanzenanalyse zu verfügen:

- Unkomplizierte Probennahme und -aufbereitung
- Einfache und kostengünstige Analyse
- Sensibel und sicher in der Aussage
- Einfach in der Interpretation, da Richtwerte für alle Entwicklungsstadien der Kultur gelten
- Schon in frühen Entwicklungsstadien der Kultur anwendbar, daher kann rechtzeitig mit einer gezielten Düngung auf etwaigen S-Mangel reagiert werden.

3. Material und Methoden

In 2008 wurde auf dem Versuchsbetrieb „Nettehof“ der Hochschule Osnabrück eine dreijährige Versuchsreihe in Winterraps begonnen. Sie beinhaltete vier Schwefeldüngungsstufen (0 - 12,5 - 25 - 50 kg S/ha, nachfolgend als S₀ bis S₅₀-Varianten bezeichnet) bei sonst gleicher Bestandesführung. Die S-Düngung erfolgte zu Vegetationsbeginn, in der S₅₀-Variante zu Vegetationsbeginn und zu Schossbeginn. Eingesetzt wurde der Dünger Sulfan (24 % Gesamtstickstoff +

6 % wasserlöslicher Schwefel). Bei den Versuchsstandorten handelt es sich um mittlere Standorte (SI4 bis Ls3, 40 bis 46 Bodenpunkte), die eingesetzten Sorten waren NK Fair und Visby. Es handelte sich um Exaktversuche in vierfacher Wiederholung. Neben der Ertragsermittlung erfolgte eine Beprobung der Versuche zu mehreren Terminen (zwischen BBCH 15-25 = vor 1. Düngung zu Vegetationsbeginn und BBCH 51-55). Dabei wurden parzellenweise Proben sowohl der gesamten oberirdische Biomasse als auch der jeweils jüngsten Blätter entnommen. Die Proben wurden bei 80°C getrocknet und auf 0,5 mm vermahlen. Analysiert wurden der S-Gehalt sowie das MSV (nur der jüngsten Blätter), letzteres vom Hill Court Farm Research in England. Darüber hinaus wurden auch die oberirdische Pflanzenmasse sowie deren Trockensubstanzgehalt bestimmt.

Die statistischen Verrechnungen erfolgten mittels der Statistiksoftware SPSS. Es wurden Mittelwertsvergleiche (LSD-Test) und Korrelationen der erfassten Merkmale berechnet. Hierbei wurde als Signifikanzschwelle eine Irrtumswahrscheinlichkeit von maximal 5 % zu Grunde gelegt. Falls nicht explizit darauf hingewiesen, handelt es sich bei den nachfolgenden Ergebnissen um die Mittelwerte aus allen drei Versuchsjahren.

4. Ergebnisse

Die applizierte Schwefeldüngung führte zu Ertragssteigerungen von annähernd 5 %, signifikante Mehrerträge wurden ab einer Schwefeldüngung von 25 kg S/ha erreicht. Die S-Gehalte in der oberirdischen Biomasse lagen zu Vegetationsbeginn (vor der S-Düngung) bei 0,54 %. Bis zum letzten Beprobungstermin (BBCH 51-55) sanken die Gehalte kontinuierlich bis auf 0,31 % in der S₀-Variante und bis auf 0,42 % in der S₅₀-Variante ab. Unter Einbeziehung der in diesem Zeitraum zunehmenden oberirdischen Biomasse errechnet sich ein stetiger Anstieg der aufgenommenen S-Menge: Zu BBCH 51 betrug diese 40 bzw. 50 kg S/ha in der S₀- bzw. S₅₀-Variante, die beiden übrigen Düngungsvarianten lagen dazwischen.

In den jungen Blättern lagen die S-Gehalte zu Vegetationsbeginn ebenfalls bei 0,31 %. Bis Schosbeginn (BBCH 30-32) stiegen diese auf 0,75 bis 0,81 % an um danach wieder abzusinken. Zu BBCH 51-55 wurden in der S₀-Variante Gehalte von 0,39 % und in der S₅₀-Variante von 0,54 % S analysiert.

Einen umgekehrten Verlauf zeigten erwartungsgemäß die Werte für das MSV.

Diese lagen zu Vegetationsbeginn in allen Varianten um 2,2, welches auf eine unzureichende S-Versorgung hinweist. Zu Schossbeginn betrug das MSV in der S₀-Variante 1,4 und das der S₅₀-Variante 1,1. Auch die Werte für das MSV der beiden übrigen Varianten lagen unter dem Grenzwert von 1,5 und somit im Bereich einer ausreichenden S-Versorgung. Im weiteren Vegetationsverlauf stieg das MSV wieder an, zu BBCH 51-55 lagen alle Varianten zwischen 4,6 und 7,2, was als deutlicher S-Mangel zu interpretieren ist. Ein kausaler Zusammenhang zwischen ausgebrachter S-Menge und bestimmten MSV war zu den beiden späten Beprobungsterminen jedoch nicht erkennbar (Abb. 2).

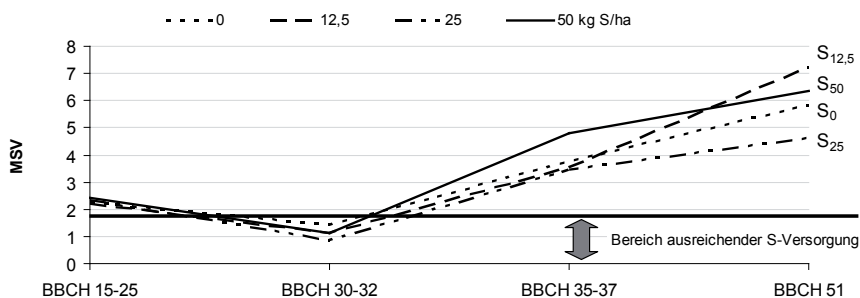


Abb.2: Veränderung der MSV-Werte der S-Düngungsvarianten zu den Beprobungsterminen

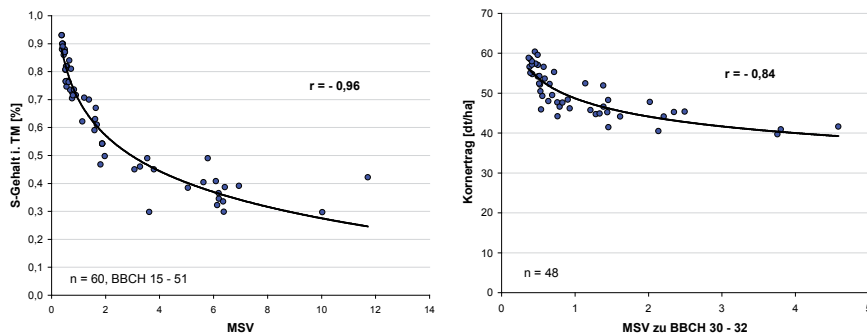


Abb.3: Zusammenhang zwischen MSV und den S-Gehalten in den jüngsten Blättern zu BBCH 15-51 (links) sowie den MSV-Werten zu BBCH 30-32 und den Kornträgen (rechts)

Eine korrekte Diagnose lag dann vor, wenn entweder das MSV zu BBCH 30-32

einen S-Mangel auswies und durch eine S-Düngung deutliche Mehrerträge (von mindestens 5 %) erzielt wurden, oder zu diesem Zeitpunkt die S-Versorgung als ausreichend diagnostiziert wurde und eine S-Düngung keinen deutlichen Mehrertrag erbrachte. In 70,8 % aller untersuchten Fälle lieferte demnach das MSV eine korrekte Diagnose, in 27,1 % war sie falsch. Bei den verbleibenden 2,1 % lag das MSV im „verdächtigen“ Bereich zwischen 1,5 und 2,0 und wurde nicht für diese Aussage berücksichtigt.

5. Diskussion und Fazit

Die praktische Anwendung der MSV-Methode hinsichtlich Probenentnahme und -aufbereitung gestaltete sich problemlos. Die Bestimmung des MSV wurde vom Hill Court Farm Research vorgenommen, die Übermittlung der Ergebnisse erfolgte zügig, die Analysekosten sind mit ca. 16 € pro Probe als günstig zu bezeichnen.

Die Aussagefähigkeit der MSV-Bestimmung wurde mittels Korrelation zu den parallel bestimmten S-Gehalten in den jungen Blättern vorgenommen. Es ergab sich eine signifikante Beziehung ($r = -0,96$). Einer weiteren Evaluierung bedarf jedoch die Aussage, dass der Richtwert für eine ausreichende S-Versorgung ($MSV < 1,5$) für alle Entwicklungsstadien gültig ist. Alle Varianten, auch die mit 50 kg S/ha gedüngten, überschritten nach BBCH 30-32 diesen Richtwert deutlich, wären demnach nicht ausreichend mit Schwefel versorgt. Als zufriedenstellend erscheint die Aussagesicherheit der MSV-Methode bei Einsatz zu BBCH 30-32, hier besteht eine enge Korrelation des MSV mit den Kornerträgen des Rapses. In etwa 71 % aller Fälle lieferte die MSV-Methode eine korrekte Diagnose bezüglich eines S-Düngungsbedarfes.

6. Literatur

- Albert, E., 2003: Grundlagen der Düngung. In: Knittel, H., Albert, E. (Hrsg.). Praxishandbuch Dünger und Düngung. Bergen/ Dumme: Agrimedia GmbH, 15-98.
- Blake-Kalff, M., Hawkesford, M., Zhao, F., McGrath, S., 2000: Diagnosing sulfur deficiency in field grown oilseed rape (*Brassica napus* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant and Soil 225, 95-107.

- Bloem, E., Haneklaus, S., Schnug, E., 2007: Schwefelinduzierte Resistenz (SIR) - Schwefeldüngung als nachhaltige Strategie zur Gesunderhaltung von Pflanzen. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 2/2007, 7-12.
- Baumgärtel, G., 2009: Bei der Rapsdüngung an alles denken. *Innovation: Das DSV-Magazin für die moderne Landwirtschaft* 2/2009, 6-8.
- Hill Court Farm Research, 2011: Analytical Services and Price List. <http://www.hillcourtfarm.co.uk/index.php?go=7> (Download vom 30.09.2011).
- Martinoia, E., Rentsch, D., 1994: Malate compartmentation-responses to a complex metabolism. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 45, 447-467.
- McGrath, S., Carver, M., Blake-Kalff, M., Wilkinson, R., 2003: Diagnosing and correcting S deficiency in wheat and rape. *HGCA Topic Sheet No. 66*, London.
- Schilling, G., 2000: *Pflanzenernährung und Düngung*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2000: *Schwefelversorgung von Kulturpflanzen - Bedarfsprognose und Düngung*. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Erstellung von pH-Wert Schlagkarten basierend auf online-erfassten Boden-pH-Werten als Grundlage teilflächenspezifischer Kalkapplikation

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

Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Hochschule Osnabrück

1. Einleitung

Auf hiesigen Ackerschlägen ist eine regelmäßige Kalkapplikation zur Sicherstellung des optimalen Boden-pH-Wertes und damit optimalen Pflanzenwachstums gängige landwirtschaftliche Praxis. Derzeit wird die benötigte Düngermenge mithilfe der VDLUFA Verbandsmethode ermittelt (VDLUFA, 2002), wobei der Kalk anschließend zumeist flächeneinheitlich ausgebracht wird. Unberücksichtigt bleibt bei dieser Vorgehensweise, dass Boden-pH-Werte deutlich kleinräumig variieren wie Untersuchungen an der Hochschule Osnabrück (Borchert et al., 2010) sowie Ergebnisse von Bianchini und Mallarino (2002) belegen. Um eine teilflächen-angepasste Kalkung zu ermöglichen, sind somit sehr engmaschige Beprobungsdichten Voraussetzung, die durch manuelle, voll- oder halbautomatische Bodenprobenahme aus Zeit- und Kostengründen nicht realisiert werden können.

Das Veris MSP, eine von der Firma Veris Technologies in den USA entwickelte Sensorplattform, misst online hochaufgelöst Boden-pH-Werte und gewährleistet darüber eine hohe Beprobungsdichte. Kleinräumige pH-Wert Differenzen werden dabei sicher erfasst und Zonen mit unterschiedlichen pH-Werten innerhalb von Schlägen sind klar abgrenzbar (Olf und Trautz, 2009). Im Vergleich mit der aktuellen VDLUFA Verbandsmethode zeigt sich eine zufriedenstellende Beziehung zwischen den beiden pH-Wert Bestimmungsverfahren (beispielsweise $r^2 = 0,6$ laut Borchert et al. (2010)). Jedoch liegen die mittels Sensor ermittelten pH-Werte im Bereich kleiner pH 5,5 deutlich höher (Borchert et al., 2010).

Parallel erfasst der Sensor die elektrische Leitfähigkeit des Bodens (EC), die es erlaubt, Aussagen über Bodenunterschiede in der Fläche zu treffen (Lund et al., 2005). Bei Mehrfachkartierung eines Schlages zu verschiedenen Termi-

nen ergeben sich enge Beziehungen zwischen den gemessenen EC-Werten ($r^2 > 0,8$), was auf eine hohe Reproduzierbarkeit der Daten schließen lässt. Weitere Untersuchungen belegen, dass hohe EC-Werte auf hohe Tongehalte hinweisen, jedoch eine quantitative Umrechnung nicht möglich ist (Borchert et al., 2011).

Grundsätzlich können somit alle erfassten Sensordaten nicht direkt in der hiesigen Kalkdüngempfehlung nach VDLUFA Verbandsmethode Verwendung finden, jedoch lässt sich die Eingliederung einer Flächenkartierung mit dem Veris MSP mithilfe von Referenzbodenprobenahmen realisieren. Ein entsprechendes Konzept ist an der Hochschule Osnabrück im Rahmen des Forschungsprojektes „Erfassung der räumlichen Variabilität der pH-Werte im Boden zur Optimierung acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen“ (EFRE-80029307) entwickelt und evaluiert worden, um zukünftig auf Basis von online-erfassten Boden-pH-Werten mittels Veris MSP teilflächenspezifisch Kalk auszubringen.

2. Material und Methoden

Die an der Hochschule Osnabrück erarbeitete Vorgehensweise zur Verwendung der Veris MSP Daten unter den Rahmenbedingungen der VDLUFA Verbandsmethode als Grundlage für teilflächenspezifische Kalkapplikation ist beispielhaft für den Schlag Rottland (ca. 12 ha; Bodenart SI3-SI4) durchgeführt worden (Abb. 1). Hierzu ist der Schlag zunächst mit dem Veris MSP (Abb. 2) auf pH-Wert und EC-Wert kartiert worden. Als Schlepperanbaugerät ist das Veris MSP dabei mit einem hydraulisch gesteuerten Probenahmeschuh ausgerüstet, welcher während der Fahrt in einer Bodentiefe von 8-10 cm geführt und anschließend mit Boden gefüllt ausgehoben wird. Es entsteht ein direkter Kontakt zwischen feldfeuchter Bodenprobe und zwei parallel angeordnete Elektroden, welche den pH-Wert des Bodens messen. Bei Unterschieden zwischen den Messergebnissen beider Elektroden von mehr als 0,5 pH-Wert Einheiten wird der Messwert verworfen. Jeder Messzyklus wird durch die Reinigung der Elektroden mit Wasser abgeschlossen, während der Probenahmeschuh die nächste Bodenprobe sammelt. Der gesamte Messablauf erfolgt bei kontinuierlicher Fahrt und wird automatisch gesteuert.

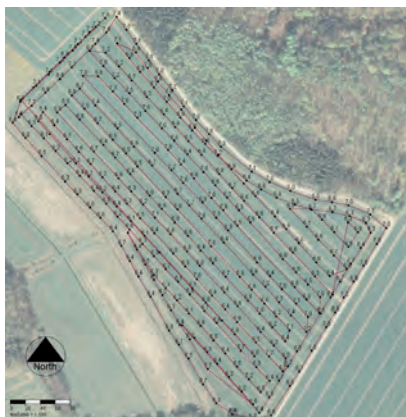


Abb. 1: Schlag Rottland mit Veris MSP Fahrspuren und gemessenen pH-Werten (verändert nach LBEG, 2011)

Neben dem pH-Wert misst das Veris MSP die elektrische Leitfähigkeit des Bodens anhand der sechs parallel angeordneten Elektroden in einer Tiefe von 0-30 cm sowie 0-90 cm. Bei Fahrspurabständen von 15 m und einer Fahrgeschwindigkeit von ca. 10 km/h sind ca. 27 pH-Wert Proben/ha und 354 EC-Werte/ha gemessen worden.

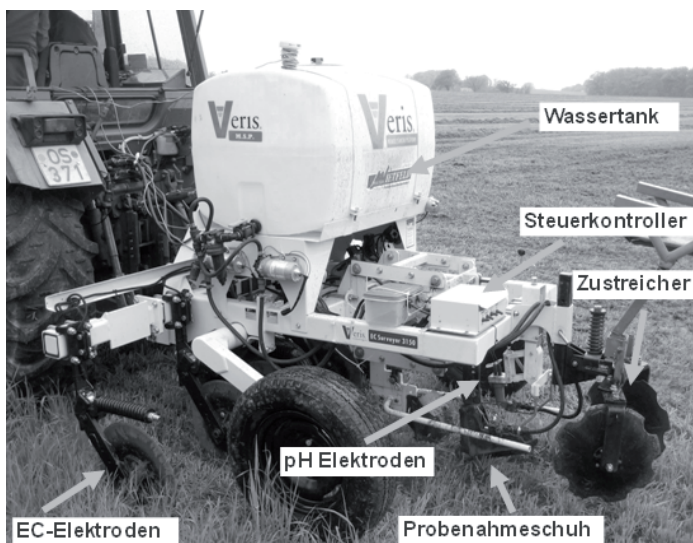


Abb. 2: Veris MSP mit Bauteilenbeschriftung

Alle erfassten Daten sind zusammen mit den dazugehörigen geografischen Positionen zur weiteren Verarbeitung auf einer Speicherkarte gespeichert und anschließend direkt auf dem Schlag in die an der Hochschule Osnabrück entwickelte, auf Excel basierende Software „VerisSa Feld“ eingelesen worden. Die pH-Wert Daten sind automatisch in drei Klassen (niedrig, mittel, hoch - orientiert am Median des Q90) eingruppiert und die einzelnen Messpunkte als Schlagkarte dargestellt worden. Anhand derer ist für jede Klasse eine repräsentative Zone ausgewählt worden (Abb. 3). Aus jeder der drei gewählten Zonen auf dem Schlag ist danach manuell eine Bodenmischprobe (15 Einstiche mit dem Bohrstock auf 0-30 cm; Radius = 7,5 m) als Referenzprobe entnommen und deren pH-Wert nach VDLUFA Verbandsmethode analysiert worden.

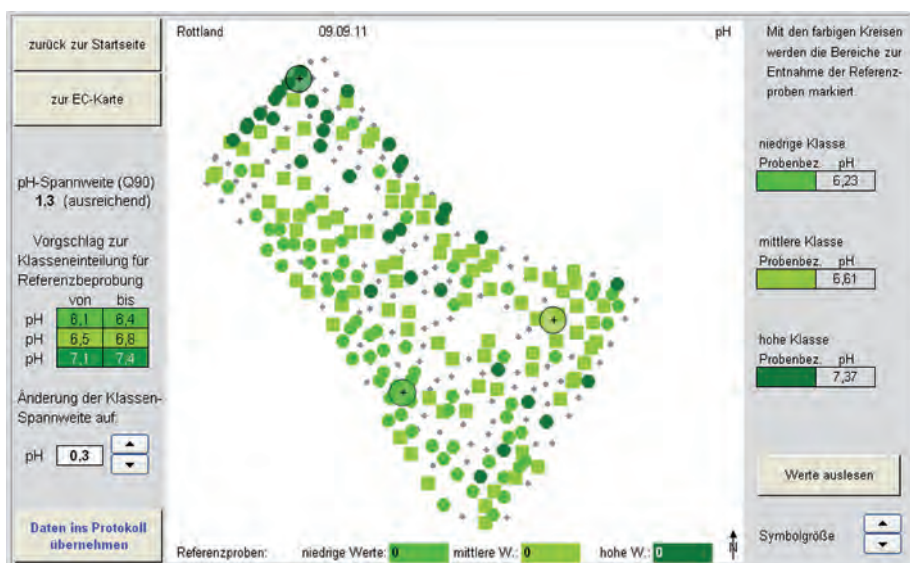


Abb. 3: Veris pH-Messpunkte eingeteilt in Klassen mittels Software „VerisSa Feld“ und Referenzprobenorte (Kreise mit Kreuz)

Durch gleiches Vorgehen wie für den pH-Wert sind Zonen für die Referenzbodenprobenahme der EC-Wert Messung ausgewählt worden (Abb. 4). Die Klasseneinteilung erfolgte nach der Methode „Gleiche Klassenstärke“. An 5 Stellen auf dem Schlag sind danach manuell Bodenmischproben (8 Einstiche mit dem Bohrstock auf 0-30 cm; Radius = 7,5 m) entnommen und mittels Fingerprobe die Bodenart nach AG Boden (2005) bestimmt worden.

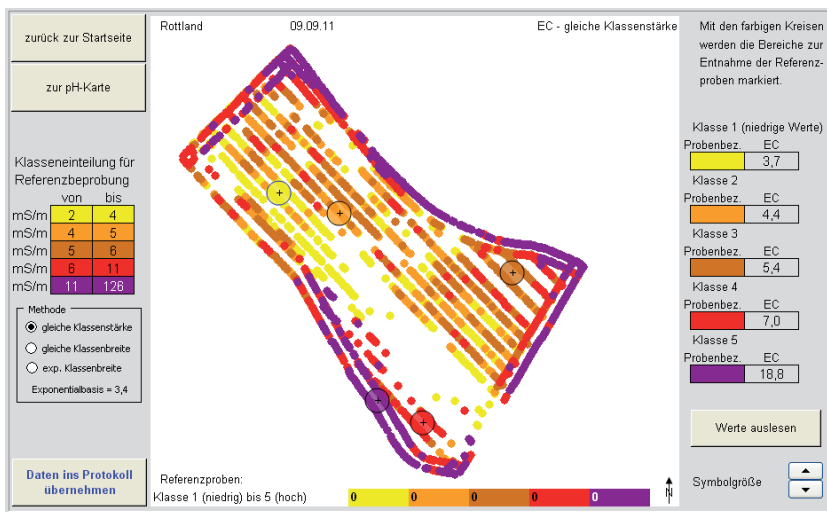


Abb. 4: Veris EC-Wert Messpunkte eingeteilt in Klassen mittels Software „VerisSa Feld“ nach der Methode „Gleiche Klassenstärke“ und Referenzprobenorte (Kreise mit Kreuz)

Eine Weiterverarbeitung der Veris MSP Daten und der Ergebnisse der Referenzprobenahmen ist in der Excel basierten Software „VerisSa Büro“ erfolgt. Mithilfe der Regressionsfunktion ($y = 0,991 \cdot x - 0,649$), ermittelt aus Veris MSP pH-Werten und den dazugehörigen Labor-pH-Werten der drei Zonen, sind die Veris pH-Werte in VDLUFA-konforme Werte transformiert worden. Nach Verdichtung der EC-Messwerte um die pH-Wert Messpunkte ist jedem Messpunkt eine Bodenart und darüber die Bodenartengruppe zugeordnet worden. Nach Angabe des Humusgehaltes (Bestimmung über Farbkarten) ist für jeden Messpunkt die empfohlene Kalkdüngermenge berechnet worden. Der dadurch erzeugte Datensatz ist im Anschluss in der GIS-Software OpenJump zur Erstellung der Kalkapplikationskarte verwendet worden. Diese ist nach Bearbeitung der Daten mittels Punktkriging nach Webster und Oliver (2007) im Raster 11×11 m erstellt worden. Abschließend ist die auszubringende Kalkmenge bei flächeneinheitlicher Kalkung unter Berücksichtigung eines Durchschnitts-pH-Wertes von 6,0, Bodenartengruppe 2 und einem Humusgehalt von 4 % auf 1 t CaO/ha kalkuliert worden. Hierüber sind der prozentuale Anteil an Über- bzw. Unterdüngung des Schlages beim Vergleich flächeneinheitlicher zu teilflächenspezifischer Applikation berechnet worden.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Kartierung des Schlages Rottland mittels Veris MSP zeigt deutliche Unterschiede im Boden-pH-Wert auf. Dieser variiert zwischen Veris pH 5,6 und 7,7. Eine teilflächenspezifische Kalkapplikation bietet sich daher an. Die hierfür benötigte vor Ort Auswertung der Sensordaten zur Bestimmung der Referenzprobenorte ist über die Excel-basierte Software „VerisSa Feld“ sichergestellt worden. Die Einteilung der Veris pH-Werte in 3 Klassen (tief, mittel, hoch) erwies sich als günstig, da so das gesamte pH-Wert Spektrum für die Referenzprobenahme erfasst wird. Die Zonenauswahl ist einfach und schnell verlaufen, da eine ausreichend große pH-Wert Spannweite ($> 0,9$ pH-Einheiten) vorhanden gewesen ist. Eine Optimierung der Referenzprobenahme ist durch Einteilung in mehr als 3 Klassen bei großen Veris pH-Wert Spannweiten, Einteilung der Klassen unter Berücksichtigung der vorliegenden Bodenarten sowie die Anwendung geostatistischer Werkzeuge zur Ermittlung der Veris pH-Werte für die einzelnen Klassen als Grundlage für den Algorithmus denkbar. Die durchgeführten pH-Wert Messungen nach VDLUFA Verbandsmethode bestätigen die pH-Wert Klassen Zuordnung (tief, mittel, hoch) und lassen den berechneten Algorithmus vertrauenswürdig erscheinen.

Die gemessenen EC-Werte liegen zwischen 2-126 mS/m. Mittels Referenzproben und anschließender Fingerprobe sind diesen die Bodenartengruppe 2 und 3 zugeordnet worden. Die auszuwählenden Zonen zur Referenzprobenahme konnten ohne Schlagvorkenntnisse mittels „VerisSa Feld“ ermittelt werden, wobei die Einteilung der EC-Werte in 5 Klassen den gesamten EC-Werte-Bereich abdeckt. Es ist allerdings zu bedenken, dass verschiedene Methoden der Klassenbildung (gleiche Klassenstärke, gleiche Klassenbreite, exponentielle Klassenbreite) tendenziell zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Generell ist die Bestimmung der Bodenart durch Fingerprobe praktikabel. Da der Bodenzustand (z. B. Feuchte, Verdichtungen) die EC-Werte beeinflusst, können jedoch Fehler bei Zuweisung der Bodenart auftreten. Möglichkeiten zur Optimierung ergeben sich durch die Eingliederung der Daten der Reichsbodenschätzung in das Verfahren und/oder die Berücksichtigung weiterer Standortfaktoren (z. B. Verdichtungen).

Die durch Verschneiden der VDLUFA konformen pH-Werte mit den Bodenartengruppen und dem Humusgehalt sich ergebene Kalkapplikationskarte (Raster 11*11 m) für den Schlag Rottland zeigt Düngungsmengen von 0-6,3 t CaO/ha

auf. Im Vergleich zu einer flächeneinheitlichen Kalkung mit 1 t CaO/ha kann dementsprechend eine Überdüngung von 2/3 der Fläche und eine Unterversorgung von 1/3 der Fläche vermieden werden (Abb. 5).

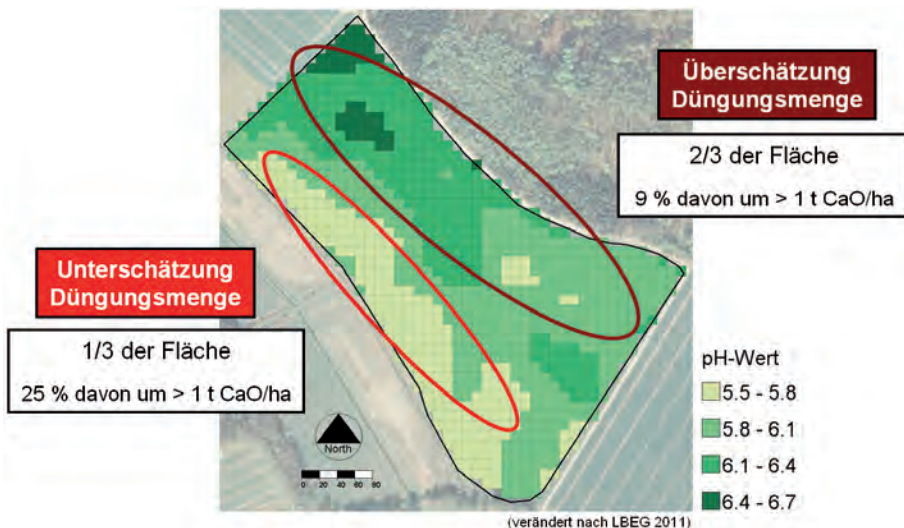


Abb. 5: Vergleich „flächeneinheitliche“ und „teilflächenspezifische“ Kalkapplikation auf Schlag Rottland

4. Fazit

Der Sensor Veris MSP bietet eine praxistaugliche Möglichkeit zur intensiven pH-Wert- und EC-Beprobung von Böden. Allerdings sind die erfassten Daten nicht unmittelbar für die Kalkdüngung in Deutschland nutzbar. An der Hochschule Osnabrück steht hierfür eine „Teilflächen-angepasste Vorgehensweise“ zur Verfügung, welche praktikabel und zuverlässig mittels Referenzproben die Veris MSP Werte für die Ableitung der teilflächen-optimalen Kalkdüngermenge entsprechend der Vorgehensweise nach VDLUFA Verbandsmethode nutzbar macht. Die Interpretation der EC-Werte bedarf dabei aber weiterer Forschung. Als unflexibel erweist sich ebenfalls die unterschiedliche Software, die zur Weiterverarbeitung der Sensordaten bis zur Erstellung der Applikationskarte erforderlich ist. Hierfür ist zusätzlich teilweise umfangreiches Spezialwissen nötig.

5. Literatur

- AG Boden, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Bianchini, A.A., Mallarino, A.P., 2002: Soil-sampling alternatives and variable-rate liming for a soybean-corn rotation. *Agronomy Journal* 94, 1355-1366.
- Borchert, A., Trautz, D., Olf, H.-W., 2010: Eignung des Online-Messverfahrens VERIS MSP zur Erfassung der räumlichen Variabilität von pH-Werten in Ackerböden: Validierung anhand von Labor- und Felduntersuchungen. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 66, 511-518, Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Borchert, A., Olf, H.-W., Trautz, D., 2011: Messung von Bodenparametern mit Hilfe der Sensorplattform Veris MSP. 42. DLG-Technikertagung, 25.-26. Januar 2011, Soest.
- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), 2011: Geobasisdaten - Digitales Orthophoto im NIBIS® KARTENSERVEN. <http://nibis.lbeg.de/net3/public/ogc.ashx?PkgId=22&Version=1.1.1&Service=WMS&Request=GetCapabilities>.
- Lund, E.D., Adamchuk, V.I., Collings, K.L., Drummond, P.E. Christy, C.D., 2005: Development of soil pH and lime requirement maps using on-the-go soil sensors. In: Stafford, J.V. (Hrsg.) *Precision Agriculture 2005*, 457-464, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Niederlande.
- Olf, H.-W., Trautz, D., 2009: Einsatz des VERIS-MSP Systems zur Online-Erfassung der räumlichen Variabilität der pH-Werte in Ackerböden. *Berichte der DGB* (<http://www.dbges.de>).
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2002: Methode A 5.2.2 Ermittlung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden auf Basis des pH-Wertes. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Webster, R., Oliver, M., 2007: *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley & Sons, New York, USA.

Bor-Verfügbarkeit für die Zuckerrübe in Abhängigkeit von der Bor-Düngung, der Kalkung und dem Carbonatgehalt der Böden

T. Appel¹, J. Seelig¹, D. Horn²

¹Fachhochschule Bingen, ²Bodengesundheit GmbH Ochsenfurt

1. Einleitung

Bor ist ein Mikronährstoff, der in den Pflanzen nur in geringen Mengen vorkommt. Dennoch ist dieser Nährstoff für viele Funktionen in den Pflanzen sehr wichtig. Zweikeimblättrige Pflanzen - wie z. B. Zuckerrüben und Raps - benötigen etwa fünfmal mehr Bor im Pflanzengewebe als die Getreidearten. Der größte Bor-Anteil im Boden ist für die Pflanzen nicht verfügbar. Für die Düngeberatung werden deshalb Bodenuntersuchungen benötigt, die nicht das gesamte im Boden vorhandene Bor, sondern nur den pflanzenverfügbaren Anteil erfassen. Lösliches Bor kommt im Boden hauptsächlich als Borsäure vor, die allerdings bei höheren pH-Werten eine Lewis-Säure bildet. Die dabei entstehenden Bor-Anionen können von Aluminium-, Eisenoxiden und Tonmineralien adsorbiert werden. Bor-Mangel ist deshalb eher auf ton- und kalkreichen Böden zu vermuten (Marschner, 1986).

Mit der Elektro-Ultrafiltration (EUF), einer vor allem im Rübenanbau weit verbreiteten Untersuchungsmethode, wird allerdings häufig mehr Bor aus carbonathaltigen Böden als aus carbonatarmen extrahiert (Horn und Fürstenfeld, 2007). Auch bei der Boden-Extraktion mit Diethylen-Triamin-Penta-Essigsäure (CAT-Methode) wird in Böden mit höheren pH-Werten (also den carbonathaltigeren) tendenziell mehr Bor gefunden als in den Böden mit niedrigem pH. Dies ergab ein Mikronährstoffmonitoring in Rheinland-Pfalz (Fritsch, 2010). Auch die Bor-Gehalte in den Blättern des Rapses waren auf diesen Standorten mit den höheren pH-Werten tendenziell höher als auf sauren Standorten.

Es war deshalb das Ziel, zu überprüfen, welchen Einfluss eine Kalkung bzw. der bodenbürtige Carbonatgehalt zum einen auf die extrahierbaren Bor-Gehalte im Boden haben und zum anderen, wie sie sich auf die Pflanzenverfügbarkeit des Bors auswirken.

2. Material und Methoden

Drei Böden, die sich im pH-Wert und im Carbonatgehalt unterschieden (Tab. 1), wurden mit und ohne Kalkung (0,784 g/kg) sowie mit und ohne Bor-Düngung (0,5 mg B/kg) in Mitscherlich-Gefäße (6,5 kg Boden-TS/Gefäß) gefüllt, auf 60 % der maximalen Wasserhaltekapazität (WHC) befeuchtet und dann zwei Wochen lang stehen gelassen. Anschließend wurden Bodenproben aus jedem Gefäß entnommen und Zuckerrüben auf den Böden in den Gefäßen angebaut. Die Bodenproben wurden mit der EUF-, der CAT- und der HWL-Methode (heißwasserlösliches Bor) untersucht. Die Bor-Konzentration im Rübenaufwuchs wurde analysiert. Die Varianten erhielten alle die gleiche Menge an den Nährstoffen N, P, K sowie die gleiche Menge an sonstigen Mikronährstoffen; sie unterschieden sich lediglich in der Kalkung (mit und ohne CaO) und der Bor-Düngung (mit und ohne Bor). Die Dünger wurden für jedes Gefäß separat eingewogen und beim Ansetzen mit dem Boden vermischt. Nach dem Auflaufen der Rüben wurde so pikiert, dass die fünf stärksten Pflanzen stehen blieben. Acht Wochen nach dem Auflaufen (BBCH-Stadium 17) wurden die Pflanzen geerntet, getrocknet, gemahlen und analysiert. Der Versuch wurde mit 4 Parallelen durchgeführt, die Fehlerbalken in den Grafiken kennzeichnen den Standardfehler der jeweiligen Mittelwerte.

Tab. 1: Kennwerte der verwendeten Böden (alle Angaben in g/100 g Boden)

Nr.	CaCO ₃ -Äq.	Ton	Schluff	Sand	Humus
1	0,03	10,8	80,9	8,3	3,0
2	0,18	24,3	59,7	16,0	2,4
3	13,80	11,7	69,1	19,2	3,3

3. Ergebnisse und Diskussion

Auf dem sauren und dem carbonathaltigen Boden wuchsen die Rüben etwa gleich gut. Der Trockenmasseertrag war weder durch die Bor-Düngung noch durch die Kalkung beeinflusst (Abb. 1). Bei dem Boden mit mittlerem pH-Wert hatte die Bor-Düngung ebenfalls keinen Effekt auf die geerntete Sprossmasse, die Kalkung wirkte jedoch negativ.

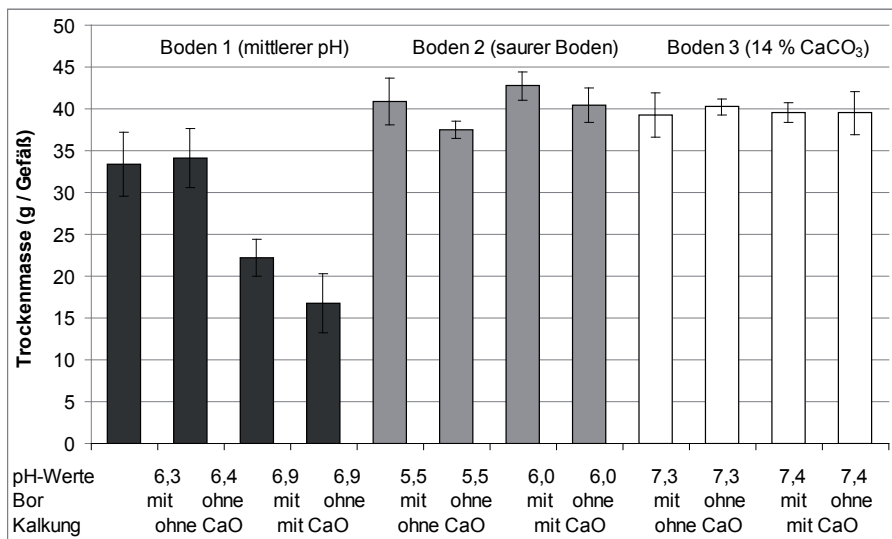


Abb. 1: Trockenmasse-Erträge des Aufwuchses der Zuckerrüben in Abhängigkeit vom Boden, der Kalkung und der Bor-Düngung

Die Bor-Konzentration im Aufwuchs der Zuckerrüben war bei Boden 2 und 3 in den nicht mit Bor gedüngten Varianten deutlich niedriger als in den mit Bor gedüngten Varianten (Abb. 2). Bei dem Carbonatboden war der Bor-Düngungs-Effekt sogar besonders deutlich an der Bor-Konzentration in den Pflanzen ablesbar. Bei dem Boden mit dem mittlerem pH-Wert (Boden 1) hatte die Bor-Düngung dagegen fast keine Wirkung auf die Bor-Konzentration.

Besonders interessant ist der Effekt der Kalkung bei diesem Boden. Die Kalkung beeinträchtigt bei diesem Boden das Wachstum der Pflanzen so stark, dass die Bor-Konzentration in den Pflanzen sogar im Vergleich zur ungekalkten Variante anstieg. Das deutet darauf hin, dass das Kalken nicht via Bor-Mangel, sondern auf eine andere Weise das Pflanzenwachstum hemmte.

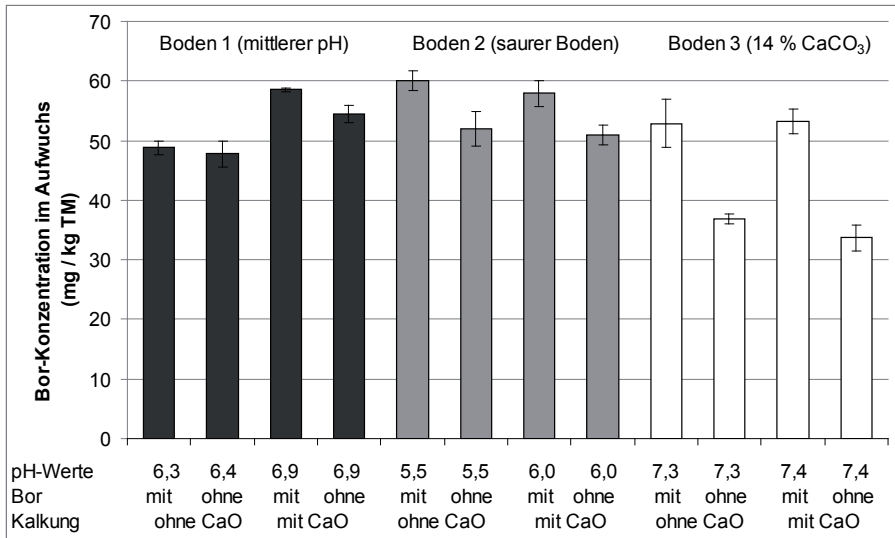


Abb. 2: Bor-Konzentration im Aufwuchs der Zuckerrüben in Abhängigkeit vom Boden, der Kalkung und der Bor-Düngung

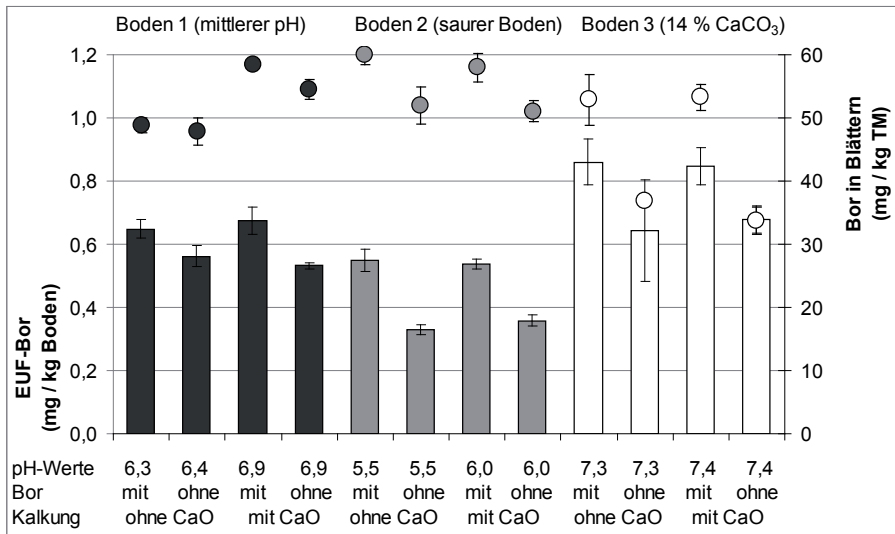


Abb. 3: EUF-Bor (Säulen) und Bor im Aufwuchs der Zuckerrüben (Marker) auf Böden mit unterschiedlichen pH-Werten in Abhängigkeit von der Bor-Düngung und der Kalkung

EUF-Bor differenzierte bei allen drei Böden zwischen den mit Bor gedüngten und den ungedüngten Varianten (Abb. 3). Die Kalkung hatte keinen Effekt auf EUF-Bor. Aus dem Carbonatboden wird mit der EUF-Methode allerdings wesentlich mehr Bor extrahiert als aus dem sauren Boden, obwohl die Bor-Verfügbarkeit – gemessen an der Bor-Konzentration in den Pflanzen – auf dem sauren Boden besser war. Das deutet darauf hin, dass die EUF-Methode die Borverfügbarkeit auf dem Carbonatboden überschätzte und dass das EUF-Bor aus Carbonatböden niedriger bewertet werden müsste als das EUF-Bor aus dem sauren Boden.

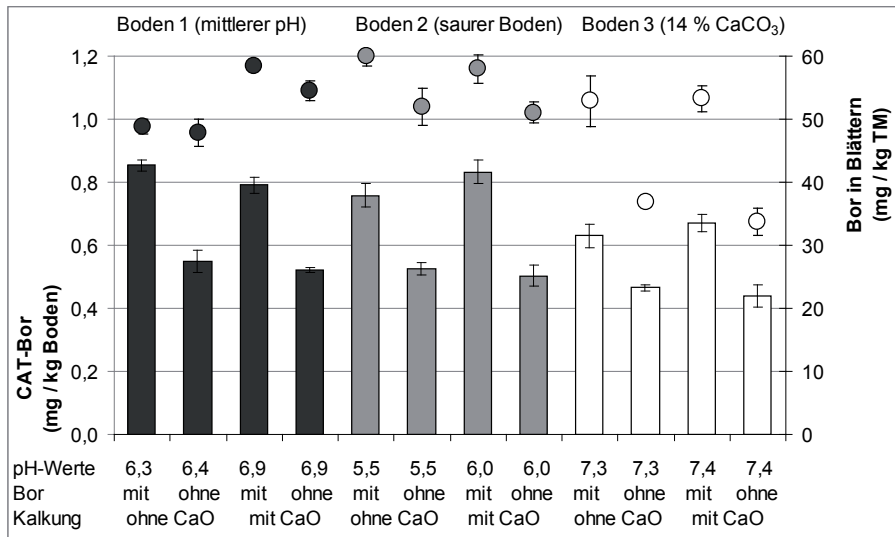


Abb. 4: CAT-Bor (Säulen) und Bor im Aufwuchs der Zuckerrüben (Marker) auf Böden mit unterschiedlichen pH-Werten in Abhängigkeit von der Bor-Düngung und der Kalkung

CAT-Bor differenzierte bei allen drei Böden ebenfalls gut zwischen den mit Bor gedüngten und den ungedüngten Varianten (Abb. 4). Auch bei der CAT-Methode hatte die Kalkung keinen nennenswerten Effekt auf das extrahierbare Bor. Die CAT-Methode extrahierte aus dem Carbonatboden im Mittel etwas weniger Bor als aus dem sauren Boden. Das entspricht auch der Bor-Konzentration im Aufwuchs der Zuckerrüben, die auf dem Carbonatboden im Mittel ebenfalls etwas geringer war als auf den carbonatarmen Böden. Nimmt man die Bor-Konzentration in den Blättern als Maßstab, so überschätzt allerdings auch die CAT-Methode die Bor-Verfügbarkeit auf dem Carbonatboden. Das ist beispielsweise daran zu erkennen, dass in den mit Bor gedüngten Varianten des Carbonatbo-

dens die Bor-Konzentration in den Rübenblättern etwa genauso hoch war wie in den Blättern der ungedüngten Pflanzen des sauren Bodens. Die mit der CAT-Methode aus dem Carbonatboden extrahierten Bor-Gehalte waren jedoch signifikant höher als die aus dem sauren Boden.

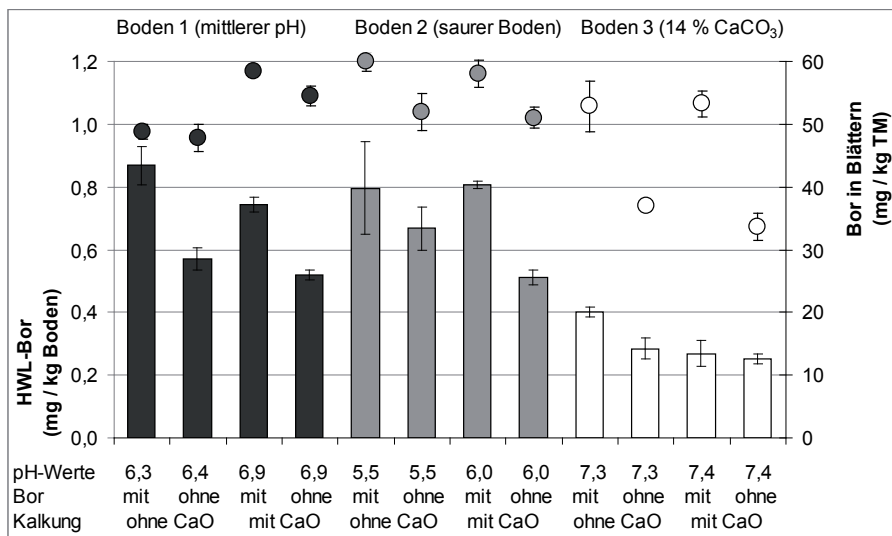


Abb. 5: HWL-Bor (Säulen) und Bor im Aufwuchs der Zuckerrüben (Marker) auf Böden mit unterschiedlichem pH-Werten in Abhängigkeit von der Bor-Düngung und der Kalkung

HWL-Bor differenzierte bei dem gekalkten Carbonatboden nicht zwischen mit und ohne Bor-Düngung (Abb. 5). Die Methode zeigte auf dem gekalkten Carbonatboden die durch die Bor-Düngung hervorgerufene unterschiedliche Bor-Verfügbarkeit deshalb nicht richtig an. Aber auch auf dem ungekalkten Carbonatboden extrahierte die HWL-Methode wesentlich weniger Bor als aus den carbonatarmen Böden, obwohl die Bor-Verfügbarkeit in Boden 3 – angezeigt durch die Bor-Konzentration im Pflanzenaufwuchs – in der Variante mit Bor-Düngung nicht geringer war als in den ungedüngten Varianten der carbonatarmen Böden. Die HWL-Methode unterschätzte also die Bor-Verfügbarkeit auf dem Carbonatboden, und zwar insbesondere dann, wenn Ca-Hydroxide im Boden vorhanden sind.

4. Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass die mit den drei Methoden extrahierten Bor-Gehalte, je nach Carbonatgehalt eines Bodens, unterschiedlich zu bewerten sind. Das geschieht bisher noch nicht.

5. Literatur

- Fritsch, F., 2010: Ist eine Düngung mit Spurennährstoffen notwendig? Vortrag vor dem Ackerbau-Beratungsring in Münchweiler am 26.2.2010.
- Horn, D., Fürstenfeld, F., 2007: Nährstoffwechselwirkungen in Böden, Vortrag am 20.9.2007 auf dem 119. VDLUFA-Kongress in Göttingen.
- Marschner, H., 1986: Mineral Nutrition of Higher Plants, 2. Aufl. Academic Press, Heidelberg.

Untersuchungen zum Bor-Ernährungszustand von Getreide in Thüringen

W. Zorn, H. Schröter, S. Wagner

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena

1. Problemstellung

Bor ist ein essenzieller Mikronährstoff und in niedrigen Konzentrationen im Stoffwechsel der Pflanzen hoch wirksam. Ein ausgeprägter Mangel führt insbesondere bei Kulturen mit hohem Borbedarf (z. B. Zuckerrübe oder Winterraps) zu Ertrags- und Qualitätsminderungen der Ernteprodukte (Bergmann, 1993).

Seit mehreren Jahren werden unter Beratern und Landwirten zunehmend Diskussionen über die Notwendigkeit einer Bordüngung zu Getreide geführt. Anlass dafür sind das gestiegene Ertragsniveau im Getreideanbau sowie das Risiko einer verminderten Boraufnahme auch bei Getreide als Folge häufiger Trockenperioden.

Goldbach (2006) berichtet über verbreiteten Bormangel bei Getreide in Südostasien, der zu Ertragsminderung bis über 30 % führt. Ursache dafür sind Störungen des Bortransports im Xylem zu den generativen Organen der Pflanzen, die über den höchsten Bedarf verfügen. Eine unzureichende Boreinlagerung in die Ähre kann zu Pollensterilität verursachen und damit die Kornzahl je Ähre reduzieren. B-Mangel wird durch eingeschränkte Transpiration gefördert. Solche Bedingungen können in Phasen hoher Luftfeuchte, bei Stomaschluss unter trocken-heißen Bedingungen, durch langanhaltende Trockenheit mit B-Sorption im Boden und B-Transporthemmung oder einer geringen Wurzelaktivität im kalten Frühjahr (Hemmung der Wasseraufnahme) eintreten. Bormangel entsteht jedoch nur dann, wenn die Pflanzenbestände noch ausreichend wüchsig sind. In Deutschland ist das Auftreten von Bormangel bei Getreide noch nicht sicher belegt.

Da Thüringen nicht selten von anhaltenden Trockenperioden betroffen ist, wurden mehrjährige Untersuchungen zum B-Ernährungszustand von Getreide und zur Ertragswirkung einer B-Blattdüngung zu diesen Kulturen durchgeführt.

2. Borbedarf verschiedener Ackerkulturen

Für die Beratung der Landwirte wird der Mikronährstoffbedarf landwirtschaftlicher Kulturpflanzenarten häufig in niedrig, mittel sowie hoch eingestuft und als Grundlage für die Mikronährstoffdüngung herangezogen. Nach Breuer et al. (2003) wird der Borbedarf von Weizen, Gerste, Roggen und Triticale als niedrig beurteilt. Dagegen weisen Raps und Zuckerrübe eine hohe Borbedürftigkeit auf. Daraus leitet sich kein vordringlicher B-Düngebedarf für die aufgeführten Getreidearten ab.

3. Erhebungsuntersuchungen zur Borversorgung von Böden und Getreide

3.1 Borversorgung der Böden

Die Thüringer Ackerböden weisen eine überwiegend gute Borversorgung auf, wie eine Erhebungsuntersuchung auf 417 repräsentativen Ackerstandorten nach der CAT-Methode in den Jahren 2004/2005 zeigte (Zorn et al., 2007). 70 % der untersuchten Flächen sind hoch bis sehr hoch (Gehaltsklasse D/E), 25 % mittel (Gehaltsklasse C) und nur 5 % niedrig bis sehr niedrig (Gehaltsklasse A/B) mit Bor versorgt.

3.2 Borernährungszustand von Winterweizen 2007 und 2008

Die Probenahme erfolgten auf Weizenschlägen der Landwirte im BBCH-Stadium 39-45. Zur Analytik wurden die Pflanzen jeweils in die obere und untere Pflanzenhälfte getrennt, um Informationen über die B-Dynamik in der Pflanze zu erhalten.

Das Jahr 2007 war durch ein sehr trockenes Frühjahr gekennzeichnet. Nennenswerte Niederschläge fielen erst ab Anfang Mai. Die Niederschläge waren im April 2008 überdurchschnittlich hoch. Daran schloss sich ein trockener Mai an. Die Erhebungsuntersuchung umfasste 36 bzw. 50 Praxisflächen der Landwirte.

Die Tabellen 2 und 3 zeigen die Ergebnisse für den B- und Ca-Gehalt. Die Ca-Gehalte in den Pflanzenteilen werden als Vergleich herangezogen, da beide Nährstoffe innerhalb der Pflanze fast ausschließlich im Xylem transportiert werden (Bergmann, 1993). Höhere B- und Ca-Gehalte in der unteren Pflanzenhälfte

im Vergleich zur oberen Hälfte können einen Indikator für eine zumindest temporäre niedrige Versorgung der jüngeren Pflanzenorgane darstellen.

Tab. 2: Mittlerer B- und Ca-Gehalt von Winterweizenpflanzen im Jahr 2007 (BBCH-Stadium 39-45, n=36)

Pflanzenteil	B mg/kg TM	Ca % TM
obere Pflanzenhälfte	3,2 (2,2 ... 4,2)	0,16 (0,08 ... 0,30)
untere Pflanzenhälfte	5,9 (3,1 ... 8,5)	0,36 (0,22 ... 0,59)
Gesamtpflanze	4,5 (2,8 ... 7,5)	0,26 (0,17 ... 0,36)

Im Frühjahr 2007 mit anhaltender Trockenheit bis Anfang Mai betrug der mittlere B-Gehalt der oberen Pflanzenhälfte 3,2 mg B/kg TM bei einer Spannweite von 2,2-4,2 mg B/kg TM. In Mittel der unteren Pflanzenhälfte lag mit 5,9 mg B/kg TM ein deutlich höherer B-Gehalt vor. Die Ca-Gehalte verhalten sich ähnlich. Dieses Ergebnis deutet auf eine zumindest temporäre Reduzierung der B-Aufnahme durch die Weizenpflanzen hin.

Die Pflanzenanalysen im Frühjahr 2008 mit überwiegend ausreichender Wasserversorgung des Winterweizens wiesen eine entgegen gesetzte Verteilung der B-Gehalte innerhalb der Pflanze aus (Tab. 3).

Tab. 3: Mittlerer B- und Ca-Gehalt von Winterweizenpflanzen im Jahr 2008 (BBCH-Stadium 39-45, n=50)

Pflanzenteil	B mg/kg TM	Ca % TM
obere Pflanzenhälfte	4,1 (2,3 ... 15,9)	0,32 (0,17 ... 0,53)
untere Pflanzenhälfte	2,1 (1,0 ... 5,6)	0,27 (0,17 ... 0,53)
Gesamtpflanze	3,3 (2,1 ... 10,7)	0,30 (0,17 ... 0,53)

Der mittlere B-Gehalt in der oberen Pflanzenhälfte war mit 4,1 mg B/kg TM annähernd doppelt so hoch wie in der unteren Pflanzenhälfte (Mittel: 2,1 mg B/kg TM). Offensichtlich waren gute Bedingungen für den B-Transport in die jüngeren Pflanzenteil gegeben. Der mittlere B-Gehalt im Spross lag deutlich unter dem Mittelwert der Stichprobe im Jahr 2007.

3.3 B-Ernährungszustand verschiedener Getreidearten 2009 bis 2011

In den Jahren 2009 bis 2011 umfassten die Erhebungsuntersuchungen verschiedene Getreidearten (Winterweizen, -gerste, -roggen, -triticale, -durum sowie Sommergerste) von Praxisflächen der Landwirte. Die Probenahme erfolgte im Stadium BBCH 32-36. Analysiert wurde jeweils der gesamte Spross.

Das Jahr 2009 war durch überdurchschnittliche Frühjahrsniederschläge, 2010 durch einen trockenen April und einen nassen Mai sowie 2011 durch unterdurchschnittliche Frühjahrsniederschläge gekennzeichnet.

In allen drei Jahren lag eine erhebliche Spannweite der B-Gehalte in den Getreidepflanzen vor. Die überwiegende Mehrzahl wies B-Gehalte unterhalb des Richtwertes für einen B-Ernährungszustand von Bergmann (1993) von 5 ... 6 mg B/kg TM auf. Jahresabhängig unterschritten bis ca. 40 % der analysierten Proben den von Zorn und Marks (2008) vorgeschlagenen Richtwert von 2,5 ... 3 mg B/kg TM. Insgesamt ist eine große Streubreite der B-Gehalte zu verzeichnen. B-Gehalte <2 mg B/kg TM kommen in den Jahren 2009 und 2010 häufiger vor als im Jahr 2011.

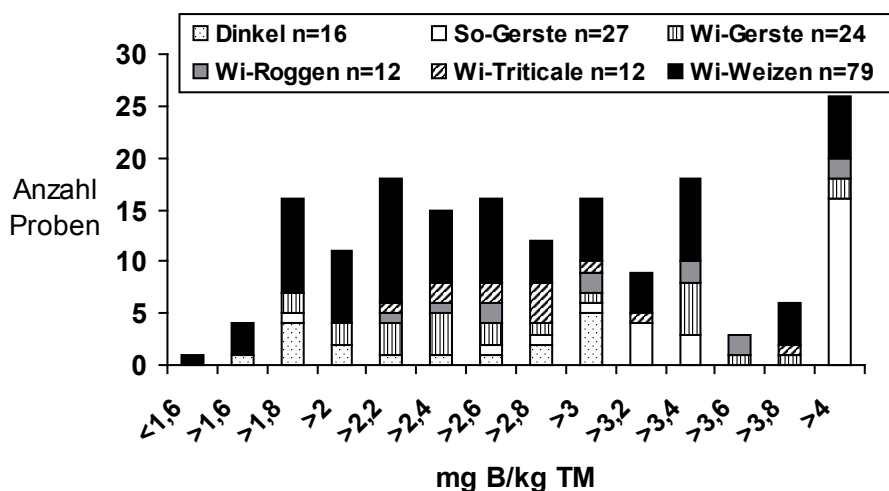


Abb. 1: B-Gehalt im Spross verschiedener Getreidearten (BBCH 32-36) im Jahr 2009

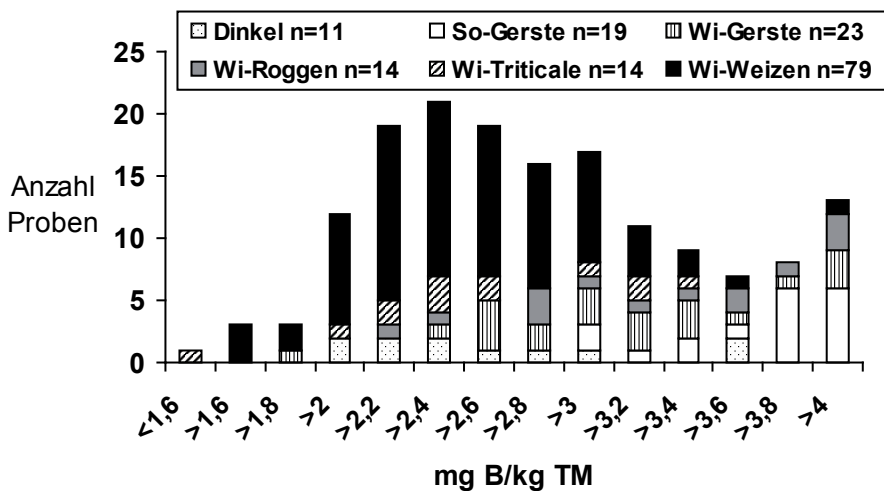


Abb. 2: B-Gehalt im Spross verschiedener Getreidearten (BBCH 32-36) im Jahr 2010

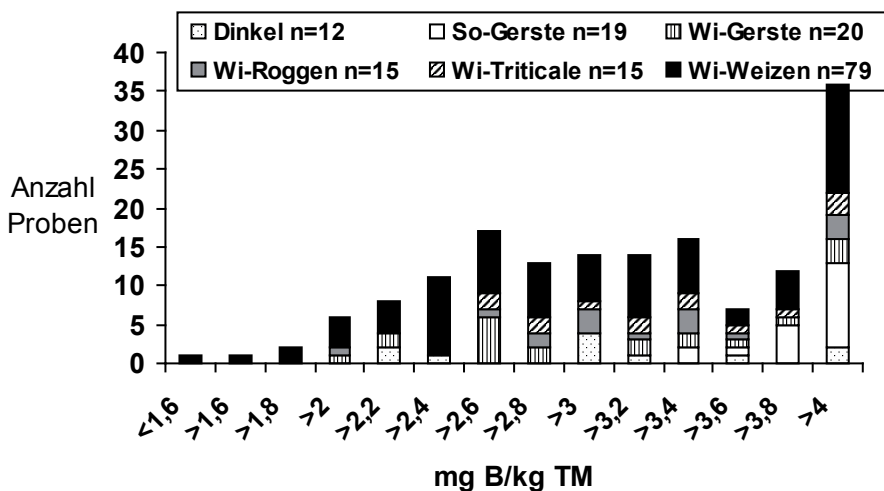


Abb. 3: B-Gehalt im Spross verschiedener Getreidearten (BBCH 32-36) im Jahr 2011

Diese Ergebnisse signalisieren Forschungsbedarf hinsichtlich der Notwendigkeit einer B-Blattdüngung, insbesondere unter trockenen Standortbedingungen sowie bei analytisch ermittelten niedrigen B-Konzentrationen in der Pflanze.

4. Gefäßversuche zur Untersuchung der Wirkung differenzierter Wasserversorgung und Bordüngung auf den Kornertrag von Getreide

Der Gefäßversuch bietet die Möglichkeit neben der Wirkung einer Düngung zusätzlich auch den Einfluss einer differenzierten Wasserversorgung auf die Ertragsbildung zu untersuchen. Im Jahr 2007 wurde ein Versuch mit kleinen Mitscherlichgefäßen durchgeführt. Verwendet wurde ein Schieferverwitterungsboden der Herkunft Oberweißbach, 0,22 mg B_{CAT} /kg, pH-Wert 6,9) sowie ein Buntsandsteinverwitterungsboden der Herkunft Bad Salzungen (0,19 mg B_{CAT} /kg, pH-Wert 6,8). Der Sommerweizen der Sorte „Triso“ wurde unter differenzierter Wasserversorgung und B-Zufuhr als Na-Borat kultiviert. Weitere Angaben zur Versuchsdurchführung sowie die relativen Kornerträge zeigt Tabelle 4. Der Kornertrag des Sommerweizens wird in erster Linie durch die Wasserversorgung und die Dauer des Wasserstress beeinflusst. Die B-Düngung über Boden bzw. Blatt sowie die Kombination beider Düngungsverfahren waren nicht in der Lage, die Ertrags hemmende Wirkung des Wassermangels zu kompensieren.

Tab. 4: Kornertrag von Sommerweizen in Abhängigkeit von der Wasser- und Borversorgung (Gefäßversuch 2007, Mittel von 2 Böden)

Wasserversorgung	Bordüngung	TM-Ertrag relativ
optimal	-	100
Trockenstress ¹⁾ BBCH 32-45	-	85
Trockenstress ¹⁾ BBCH 45-59	-	81
Trockenstress ¹⁾ BBCH 35-59	-	75
Trockenstress ¹⁾ BBCH 35-59	Boden	57
Trockenstress ¹⁾ BBCH 35-59	Blatt ES 32	62
Trockenstress ¹⁾ BBCH 35-59	Boden, Blatt ES 32	59
Trockenstress ¹⁾ BBCH 35-59	-	58
GD _{5%} (Tukey)		6,5

¹⁾ = 30% der maximalen Wasserkapazität

Hier nicht dargestellte Gefäßversuche mit Winterweizen und Sommergerste in den Folgejahren bestätigen die Ergebnisse des ersten Experiments.

5. Feldversuche zur Untersuchung der Wirkung einer B-Blattdüngung auf den Kornertrag von Getreide 2000 bis 2010

Zur Untersuchung der Wirkung einer B-Blattdüngung zu Getreide wurden auf verschiedenen Standorten Feldversuche durchgeführt.

Mit Ausnahme eines Standortes mit B-Gehaltsklasse A-C waren die Versuchstandorte hoch und zum Teil mittel mit Bor versorgt. Die B-Blattdüngung im BBCH-Stadium 31-32 erfolgte bis 2005 mit 0,4 kg B als Na-Borat sowie ab 2006 mittels handelsüblicher formulierter Blattdünger, wobei die Aufwandmengen nach den Herstellerangaben bemessen wurden.

Abbildung 4 zeigt die Ertragswirkung einer Borblattdüngung zu Getreide in 29 Feldversuchen in Abhängigkeit vom B-Gehalt im Spross unmittelbar vor der Blattdüngung. Die B-Gehalte im Spross schwankten zwischen 1,67 und 8,0 mg B/kg TM, die Ertragsänderungen zwischen -2,7 und +3,6 dt/ha. Sowohl die Ertragsdifferenzen zur Kontrolle ohne B-Düngung als auch die Beziehung zwischen B-Gehalt zu BBCH 31-32 und der Ertragsänderung waren in keinem Versuch signifikant.

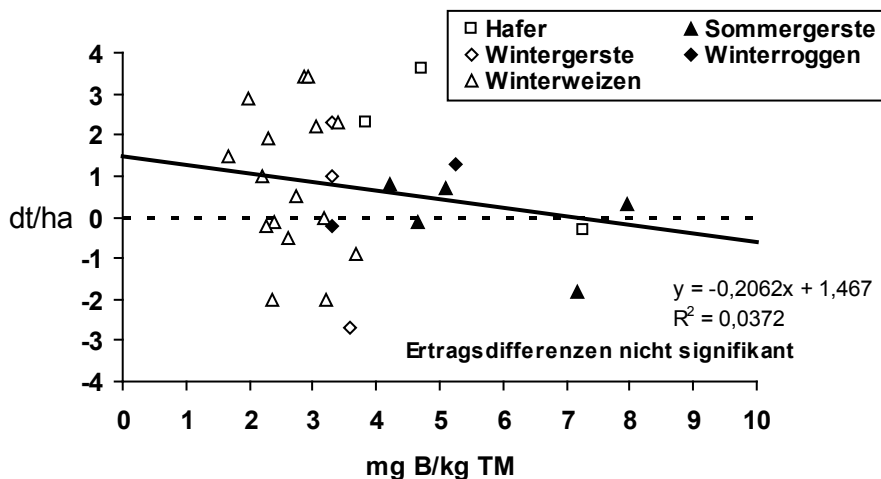


Abb. 4: Mehrertrag durch B-Blattdüngung in Abhängigkeit vom B-Gehalt im Spross zu BBCH 31-32 (29 Feldversuche)

6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Unter den Thüringer Standortbedingungen mit überwiegend guter B-Versorgung der Böden schwankten die B-Gehalte im Spross verschiedener Getreidearten während der Schossphase zwischen ca. 1,5 und ca. 10 mg B/kg TM. In mehreren Gefäßversuchen konnte durch Wassermangel kein Bormangel, der durch B-Düngung behoben werden konnte, induziert werden. In 29 Feldversuchen hatte die B-Blattdüngung zu ES 31/32 auch bei B-Gehalten im Spross unter 2,0 mg/kg B/kg TM keine signifikanten Mehrerträge zur Folge. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse wird zurzeit keine B-Düngung zu Getreide empfohlen. Unter Berücksichtigung des prognostizierten Klimawandels sind langfristig Untersuchungen zum B-Düngebedarf von Getreide, zum optimalen Zeitpunkt der B-Blattdüngung sowie zur Blattdüngerzusammensetzung und -formulierung erforderlich.

7. Literatur

- Bergmann, W., 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav-Fischer-Verlag, Jena-Stuttgart.
- Breuer, J., König, V., Merkel, D., Olf, H.-W., Steingrobe, B., Stimpfl, E., Wissemeyer, A., Zorn, W., 2003: Die Pflanzenanalyse zur Diagnose des Ernährungszustandes von Kulturpflanzen: Anwendung in Landwirtschaft, Gemüse- und Obstbau. Agrimedia Bergen/Dumme.
- Goldbach, H., 2006: Ist der Borbedarf abhängig vom Klima?“ Vortrag, 14. Tagung Arbeitskreis Blattdüngung: Grundlagen, Beratung und Praxis, 12. Oktober 2006, Universität Würzburg.
- Zorn, W., Marks, G., 2008: Mikronährstoffdüngung im Ackerbau Thüringens. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena. 20. (download: <http://www.tll.de/ainfo/pdf/dmik0508.pdf>).
- Zorn, W., Wagner, S., Schröter, H., 2007: Mikronährstoffversorgung Thüringer Böden und Pflanzen. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 63, 719-727, Kongressband 2007 Göttingen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Wer kann was? - Aktive und passive Spektralsensoren im Pflanzenbau und ihre Unterschiede in der Differenzierung von Biomasseparametern bei Weizen

K. Erdle, B. Mistele, U. Schmidhalter

Department Pflanzenwissenschaften, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, TU München, Freising

1. Einleitung

Die Anwendung von Remote Sensing in Landwirtschaft ist seit langem bekannt. Im Bestandesmanagement von Ackerkulturen sind traktorbasierte Systeme von großem Vorteil da Informationen sofort bereitgestellt und im Online-Verfahren genutzt werden können (Pinter et al., 2003). Spektrale Sensoren arbeiten entweder passiv oder aktiv, wobei passive Spektralsensoren auf Sonnenlicht angewiesen sind. Aktive Systeme hingegen verfügen über eine eigene Lichtquelle und ermöglichen so den Einsatz unabhängig von veränderlichem Sonnenlicht jedoch mit eingeschränktem Wellenlängenbereich. Beide Versionen, passive und aktive, messen das vom Pflanzenbestand reflektierte Licht indem sie Licht in ein elektrisches Signal umwandeln. Hierbei wird Licht in den Bereichen des sichtbaren Lichts (VIS, ca. 400-700 nm) und nahinfraroten Lichts (NIR, ca. 700-2 500 nm) gemessen. Reflexion im VIS-Bereich basiert hauptsächlich auf den Chlorophyllgehalt im Palisadengewebe des Blattes (Campbell, 2002). Die Reflexion im NIR Bereich hingegen ist stark von der Struktur der Mesophyllzellen beeinflusst (Campbell, 2002).

Der Simple-Ratio (SR) und der daraus entwickelte Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) basieren auf reflektiertem Licht des roten und NIR Spektralbereichs. Beide Indizes wurden lange zur indirekten Schätzung von Biomasse und Ertrag in Weizen genutzt (Pinter et al., 2003). Mittlerweile wurden weitere Vegetationsindizes entwickelt um auch agronomische Parameter wie N-Gehalt, N-Aufnahme und N-Effizienz zu schätzen (Li et al., 2008; Mistele und Schmidhalter, 2010a). VIS basierte Indizes neigen bei hohen Bestandesdichten zur Sättigung da bei hohen Chlorophyllmengen und deren Absorptionsstärke eine schlechtere Differenzierung möglich ist. NIR basierte Indices sollen resistenter gegen diesen Sättigungseffekt sein.

Beim Vergleich von Spektrolsensoren wurden in der Vergangenheit entweder lediglich die Spektraldaten verschiedener Systeme miteinander verglichen oder mehrere Indizes eines einzelnen Sensors mit Biomassedaten referenziert. Ein direkter Vergleich von mehreren Sensorsystemen, deren Vegetationsindizes und das Referenzieren mit Bestandesdaten wurde so noch nicht durchgeführt.

In dieser Arbeit werden passive und aktive Sensoren mit jeweils mehreren Vegetationsindizes in ihrer Fähigkeit verglichen agronomische Parameter eines Weizenbestandes wiederzugeben.

2. Material und Methoden

In den Jahren 2009 und 2010 wurden in einem 2-faktoriellen Feldversuch sieben Weizensorten (*Triticum aestivum* L.) (Tommi, Solitär, Impression, Pegassos, Ludwig, Cubus, Ellvis) angebaut. In vier N-Düngungsstufen (0, 100, 160 und 220 kg N ha⁻¹) wurden zu drei Terminen, BBCH 37, 49 und 65, Teilernten durchgeführt und die Parameter Trockenmasse (TM), Frischmasse (FM), Trockensubstanz (TS), N-Gehalt, N-Aufnahme und der Nitrogen Nutrition Index (NNI) erhoben. Der NNI nach Lemaire und Gastal (1997) berechnet sich nach der Gleichung:

$$\text{NNI} = N_{\text{act}} / N_c$$

wobei N_{act} der tatsächliche N-Gehalt der Pflanze und N_c den kritischen N-Gehalt nach Justes et al. (1997):

$$N_c = 5.35 (\text{TM} [\text{t ha}^{-1}])^{-0.442}$$

darstellt.

Die spektralen Messungen mit aktiven und passiven Sensoren wurden jeweils vor den Teilernten durchgeführt. Dabei wurden die Sensoren in Nadir-Position und einer konstanten Höhe von 1.4 m über dem Boden über die Parzellen geführt. Hierbei entstanden pro Parzelle bis zu 40 Messpunkte, georeferenziert mit RTK-GPS Koordinaten (Trimble, Sunnyvale, CA, USA). Zur Auswertung wurden die 40 Parzellenwerte gemittelt.

Ein bi-direktionales Radiometer (BDR) (tec5, Oberusel) wurde als passiver Sensor installiert. Das BDR besaß zwei Zeiss MMS1 Diodenarray-Spektrometer mit einem Messbereich von 300-1700 nm (Mistele und Schmidhalter, 2010b). Die Spektrometer detektierten dabei das Sonnenlicht als Referenz bzw. die Reflexion des Bestandes.

Ein Active-Flash-Sensor (AFS) ähnlich zum YARA ALS (YARA International, ASA) wurde als einer der drei aktiven Spektralsensoren verwendet. Als Lichtquelle diente in diesem System ein Xenon Blitzlicht mit einem Spektralbereich von 650-1100 nm, wobei für die Messungen Filter für 730, 760, 900 und 970 nm gewählt wurden.

Desweiteren wurden die aktiven Sensorsysteme GreenSeeker (NTech Industries INC., Ukiah, Kalifornien) und CropCircle ACS-470 (Holland Scientific Inc., Lincoln, Nebraska) getestet. Beide Systeme arbeiten mit Licht emittierenden Dioden (LEDs) als Lichtquelle wobei sie unterschiedliche Wellenlängen messen. Der GreenSeeker misst lediglich die Wellenlängen 656 und 774 nm. Der CropCircle hingegen kann drei frei wählbare Wellenlängen detektieren wobei für dieses Experiment 670, 730, 760 nm gewählt wurden.

Obwohl einige Sensoren bereits berechnete Indizes als Output anbieten, wurden in dieser Arbeit Einzelwellenlängen aufgenommen und anschließend für die Berechnung unterschiedlicher Indizes kombiniert. Sieben Vegetationsindizes aus dem VIS und NIR Bereich wurden gewählt um das Reflektionsspektrum des Bestandes wiederzugeben (Tab. 1). Da die aktiven Sensorsysteme nicht immer die exakten Wellenlängen für die Berechnung der gewählten Indizes zur Verfügung stellten, wurden möglichst ähnliche Wellenlängen verwendet um die genannten Vegetationsindizes zu berechnen.

Der SR und NDVI wurden als Vegetationsindizes des VIS und NIR Spektralbereichs gewählt. Der Red-Edge-Inflection-Point (REIP) beinhaltet ebenfalls Informationen aus Chlorophyllabsorption und Zellstruktur (Guyot et al., 1988). Ein Index aus zwei NIR Wellenlängen zeigte bereits bei Mistele und Schmidhalter (2010b) enge Zusammenhänge zum N-Status bei Weizen. Der Wasser Index (WI) soll strukturelle Veränderungen basierend auf variierendem Zellwassergehalt darstellen (Penuelas et al., 1993). Aus dem VIS Bereich wurden die Vegetationsindizes PRI (Photochemical Reflectance Index, Gamon et al., 1992) und VARI (Visually Atmospherically Resistant Vegetation Index, Gitelson et al., 2002) gewählt.

Im Jahr 2009 konnten mit dem AFS keine Daten erhoben werden. Im Jahr 2010 hingegen waren alle Sensoren im Einsatz. Sämtliche Spektralmessungen fanden zur Zeit höchster Sonneneinstrahlung statt, 11:00-13:00 Uhr MEZ, um bestmögliche Voraussetzungen für die passiven Messungen zu garantieren.

Eine ANOVA in SPSS 11 (SPSS Inc., Chicago, USA) mit $p = 0.05$ wurde für die Mittelwertvergleich hinzugezogen.

Tab 1: Spektrale Indizes zum Vergleich der Sensorsysteme.

Abkürzung	Formel	Referenz
NDVI	$(R_{780} - R_{670}) / (R_{780} + R_{670})$	(Rouse et al., 1974)
SR	R_{780} / R_{670}	(Pearson und Miller, 1972)
NIR/NIR	R_{780} / R_{740}	(Mistele und Schmidhalter, 2010b)
WI	R_{900} / R_{970}	(Peñuelas et al., 1993)
REIP	$700 + 40((R_{670} + R_{780}) / 2 - R_{700}) / (R_{740} - R_{700})$	(Guyot et al., 1988)
PRI	$(R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$	(Gamon et al., 1992)
VARI	$(R_{550} - R_{650}) / (R_{550} + R_{650} - R_{470})$	(Gitelson et al., 2002)

3. Ergebnisse

Für alle Zwischenernten der Jahre 2009 und 2010 wurden die Mittelwerte der Bestandesparameter TM, FM, TS, N-Gehalt, N-Aufnahme und der NNI innerhalb zwischen den N-Düngungsstufen verglichen. Stellvertretend für die BBCH Stadien 37 und 49 sind die Ergebnisse des BBCH 65, des Stadiums der maximalen Biomasse, gezeigt (Abb. 1). Bei einem maximalen Biomasseertrag von 8.7 t TM ha⁻¹ ist deutlich zu erkennen, dass im Jahr 2009 die unterschiedlichen Düngevarianten signifikant voneinander zu unterscheiden sind. Im Vergleich dazu konnten in der Saison 2010 TM und FM der höchsten N-Stufen nicht signifikant voneinander unterschieden werden. Der Biomasseertrag dieses Jahres überstieg mit über 1,1 t TM ha⁻¹ deutlich den des Vorjahres. Alle verbleibenden Parameter konnten ihrer Düngungsstufe entsprechend voneinander unterschieden werden.

Zu BBCH 65 im Jahr 2009 konnten durch die Vegetationsindizes nahezu alle Düngungsstufen unterschieden werden. Lediglich die BDR-Indizes NDVI und VARI konnten die hohen N-Düngungsvarianten nicht mehr signifikant unterscheiden. Im Jahr 2010 waren zu BBCH 65 nur wenige Vegetationsindizes fähig alle vier Düngungsstufen signifikant voneinander zu unterscheiden. Die Indizes

NDVI, ein SR (R_{730}/R_{670}), PRI und VARI des Sensors BDR konnten bereits ab einer N-Applikationsmenge von 100 kg N ha^{-1} keine signifikanten Unterschiede mehr erkennen. Die SR Indizes R_{760}/R_{670} , R_{780}/R_{650} des BDR, der WI des BDR und des AFS und der REIP des BDR konnten die zwei höchsten N-Varianten 160 und 220 kg ha^{-1} nicht signifikant unterscheiden.

a)

kg N ha ⁻¹	TS				TM				N-Gehalt				N-Aufstand				FM				NNI			
0																								
100																								
160																								
220																								
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d

b)

kg N ha ⁻¹	TS				TM				N-Gehalt				N-Aufstand				FM				NNI			
0																								
100																								
160																								
220																								
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d

Abb. 1: Mittelwertvergleiche für die Bestandesparameter Trockensubstanz (TS), Trockenmasse (TM), N-Gehalt, N-Aufnahme, Frischmasse (FM) und den Nitrogen Nutrition Index (NNI) für das Entwicklungsstadium BBCH 65 der Jahre 2009, a), und 2010, b). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den N-Applikationsstufen mit $p \leq 0.05$

Ebenso fanden einige Indizes des CropCircle, NDVI und SR R_{730}/R_{670} , und der NDVI des GreenSeeker keine signifikanten Unterschiede zwischen den zwei höchsten N-Applikationsstufen. Mit dem Greenseeker SR R_{774}/R_{656} im Jahr 2010 konnte keine der vier N-Düngungsstufen unterschieden werden.

4. Diskussion

Ein bi-direktionaler hyperspektraler Spektroskopie-Sensor und drei aktive Spektroskopie-Sensoren wurden auf ihre Fähigkeit hin getestet über zwei Vegetationsperioden hinweg unterschiedliche Ernährungszustände in Winterweizen wiederzugeben.

a)

kg N ha ⁻¹	BDR_NDVI	BDR_R730/R670	BDR_R760/R670	BDR_R730/R650	BDR_R760/R730	BDR_WI
0	a	a	a	a	a	a
100	b	b	b	b	b	b
160	c	c	c	c	c	c
220	d	d	d	d	d	d

kg N ha ⁻¹	BDR_REIP	BDR_PRI	BDR_VARI	CC_NDVI	CC_R730/R670	CC_R760/R670
0	a	a	a	a	a	a
100	b	b	b	b	b	b
160	c	c	c	c	c	c
220	d	d	d	d	d	d

kg N ha ⁻¹	CC_R760/R730	GS_NDVI	GS_R774/R656	AFS_R760/R730	AFS_WI	
0	a	a	a	a	a	
100	b	b	b	no data	no data	
160	c	c	c			
220	d	d	d			

a b c d a b c d a b c d a b c d a b c d a b c d

b)

kg N ha ⁻¹	BDR_NDVI	BDR_R730/R670	BDR_R760/R670	BDR_R730/R650	BDR_R760/R730	BDR_WI
0	a	a	a	a	a	a
100	b	b	b	b	b	b
160	c	c	c	c	c	c
220	d	d	d	d	d	d

kg N ha ⁻¹	BDR_REIP	BDR_PRI	BDR_VARI	CC_NDVI	CC_R730/R670	CC_R760/R670
0	a	a	a	a	a	a
100	b	b	b	b	b	b
160	c	c	c	c	c	c
220	d	d	d	d	d	d

kg N ha ⁻¹	CC_R760/R730	GS_NDVI	GS_R774/R656	AFS_R760/R730	AFS_WI	
0	a	a	a	a	a	
100	b	b	b	b	b	
160	c	c	c	c	c	
220	d	d	d	d	d	

a b c d a b c d a b c d a b c d a b c d a b c d

Abb. 2: Mittelwertvergleiche der Vegetationsindizes des bidirektionalen Radiometers (BDR) und der aktiven Sensoren CropCircle (CC), GreenSeeker (GS) und den Active Flash Sensor (AFS) für das Entwicklungsstadium BBCH 65 der Jahre 2009, a), und 2010, b). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den N-Applikationsstufen mit $p \leq 0.05$

Vegetationsindizes, welche auf Wellenlängen im Rot-Bereich basieren, neigen mit steigender N-Menge und hoher Bestandesdichte zur Sättigung auf Grund

hoher Absorption seitens des Chlorophylls. NIR-basierte Indizes hingegen sind diesem Effekt weniger stark ausgesetzt (Mistele und Schmidhalter 2010b). Speziell im Jahre 2010 war dieser Effekt zu erkennen. Bei hohen Biomassewerten von bis zu 11 t TM ha^{-1} im Jahr 2010 waren die Reflektionswerte der meisten VIS-basierten Indizes bereits von Sättigungseffekten beeinflusst.

Während die hohen N-Stufen bei TM und FM in 2010 selbst bei den Mittelwertvergleichen der Biomasseparameter nicht signifikant zu unterscheiden waren, konnten sämtliche N-Parameter (N-Gehalt, N-Aufnahme und der NNI) signifikant in allen N-Stufen unterschieden werden. Diese Parameter wurden in beiden Jahren vor allem von NIR-basierten Indizes qualitativ gut wiedergegeben. Ähnliche Beobachtungen wurden bereits früher für die oberirdische N-Aufnahme gemacht (Mistele und Schmidhalter, 2010a,b). Vor allem der Vegetationsindex R_{760}/R_{730} aller diesen Index bietenden Sensoren konnte die N-Parameter der vier N-Stufen in beiden Jahren signifikant unterscheiden.

6. Zusammenfassung

Die vergleichbaren Vegetationsindizes der verschiedenen Sensorsysteme reagierten sehr ähnlich auf Veränderung der Bestandesparameter zwischen Düngungsstufen und Jahren. VIS-basierte Indizes neigten bei hohen Bestandesdichten zur Sättigung. NIR-basierte Vegetationsindizes zeigten eine höhere Resistenz gegen Sättigung. Vor allem der Index R_{760}/R_{730} der drei Systeme, BDR, CC und AFS, konnte die N-Parameter N-Gehalt, N-Aufnahme und NNI deutlich und über beide Jahre hinweg differenzieren.

Während hyperspektrale passive Sensoren einerseits eine sehr breite Spektralinformation liefern können, sind sie im Gegensatz zu den, noch auf wenige Wellenlängen begrenzte, aktiven Sensoren auf adäquate Lichtverhältnisse angewiesen. Hyperspektrale Sensoren bieten sich somit für die Findung neuer Zusammenhänge zwischen Reflektion und Bestandesparametern an, wobei die gefundenen Spektralbereiche dann auf aktive und anwenderfreundlichere Systeme übertragen werden können.

7. Literatur

- Campbell, J.B., 2002: Introduction to remote sensing. The Guilford Press, New York.
- Gamon, J.A., Peñuelas, J., Field, C.B., 1992: A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sens. Environ.* 41, 35-44.
- Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R., Rundquist, D., 2002: Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sens. Environ.* 80, 76-87.
- Guyot, G., Baret, F., Major, D.J., 1988: High spectral resolution: Determination of spectral shifts between the red and the near infrared. *Int. Arch. Photogram. Rem. Sens.* 11, 750-760.
- Justes, E., Jeuffroy, M., Mary, B., 1997: Wheat, barley, and durum wheat. In: Lemaire, G. (Ed.), *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 73-92.
- Lemaire, G., Gastal, F., 1997: N uptake and distribution in plant canopies. In: Lemaire, G. (Ed.), *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 3-43.
- Li, F., Gnyp, M.L., Jia, L., Miao, Y., Yu, Z., Koppe, W., Bareth, G., Chen, X., Zhang, F., 2008: Estimating N status of winter wheat using a handheld spectrometer in the North China Plain. *Field Crops Res.* 106, 77-85.
- Mistele, B., Schmidhalter, U., 2010a: A comparison of spectral reflectance and laser-induced chlorophyll fluorescence measurements to detect differences in aerial dry weight and nitrogen uptake of wheat. In: Khosla, R. (Ed.), *10th International Conference of Precision Agriculture*, Denver, Colorado.
- Mistele, B., Schmidhalter, U., 2010b: Tractor-based quadrilateral spectral reflectance measurements to detect biomass and total aerial nitrogen in winter wheat. *Agron. J.* 102, 499-506.
- Pearson, R.L., Miller, L.D., 1972: Remote mapping of standing crop biomass for estimating of the productivity of the short-grass prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado., 8th International Symposium on Remote Sensing of Environment, ERIM., Ann Arbor, MI, 1357-1381.
- Pinter, P.J., Hatfield, J.L., Schepers, J.S., Barnes, E.M., Moran, M.S., Daughtry, C.S.T., Upchurch, D.R., 2003: Remote sensing for crop management. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 69, 647-664.

- Peñuelas, J., Filella, I., Biel, C., Serrano, L., Savé, R., 1993: The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. *Int. J. of Remote Sens.* 14, 1887-1905.
- Rouse, J.W., Haas, J.R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1974: Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, NASA SP-351., Third ERTS-1 Symposium. NASA, Washington, DC, 309-317.

Möglichkeiten zur Minderung der N₂O-Freisetzung aus einem gemüsebaulich genutzten Boden

R. Ruser¹, H. Pfab¹, I. Palmer², F. Buegger³, R. Schulz¹, S. Fiedler⁴, T. Müller¹

¹Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, FG. Düngung mit Bodenchemie, Universität Hohenheim, ²Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, ³Institut für Bodenökologie, Helmholtz Zentrum München, ⁴Institut Bio- und Geowissenschaften, Forschungszentrum Jülich

1. Einleitung

Lachgas (N₂O) ist ein klimarelevantes Spurengas, das zum stratosphärischen Ozonabbau beiträgt (Crutzen, 1981). Der Anteil von N₂O am anthropogenen Treibhauseffekt beträgt 7,9 % (IPCC, 2007). N₂O wird in Böden überwiegend während der Nitrifikation in aeroben Bodenkompartmenten und während der Denitrifikation bei geringem O₂-Partialdruck gebildet. Die N-Düngung stellt somit direkt die Substrate für die N₂O-Bildung in Böden und erhöht so die N₂O-Freisetzung. Die N₂O-Emissionen steigen i. d. R mit zunehmenden N-Überschüssen in bewirtschafteten Böden an (McSwiney und Robertson, 2005).

In der aktuellen Version der Düngeverordnung werden einigen Gemüsekulturen wie beispielsweise Blumenkohl oder Brokkoli sehr hohe unvermeidbare N-Überschüsse von bis zu 160 kg N ha⁻¹ a⁻¹ eingeräumt. Über die Erntereste des Blumenkohls werden zudem bis zu 200 kg N ha⁻¹ wieder in den Boden rückgeliefert. Aufgrund des engen C/N-Verhältnisses dieser Ernterückstände können im selben Jahr beträchtliche Mengen an mineralischem N (95-140 kg N ha⁻¹) durch Mineralisation zusätzlich freigesetzt werden (Everaarts, 2000). Aus diesem Grund wird die Höhe der unvermeidbaren N-Überschüsse derzeit kontrovers diskutiert. Wiesler et al. (2008) konnten die N-Überhänge einer Gemüsebaufuchtfolge mit reduzierten N-Mengen vermindern und erreichten gleichzeitig eine signifikante Abnahme der Nitratauswaschung. Während der Einfluss von Maßnahmen zur Reduktion von N-Überschüssen auf die Nitratauswaschung bereits häufig untersucht wurde, ist es noch nicht bekannt, inwiefern sich diese auch auf die N₂O-Emission auswirken. Zudem fehlt es derzeit an ganzjährigen Datensätzen zur N₂O-Freisetzung aus dem Gemüsebau. Diese sind Voraussetzung für eine zuverlässige Abschätzung der Wirkung von Maßnahmen hinsichtlich deren

Treibhauswirkung, weil die N_2O -Emission im Winter ca. 50 % der gesamten Jahresemission in Deutschland betragen können (Kaiser und Ruser, 2000).

Ziel des Projektes war es deshalb, die N_2O -Freisetzung aus einem gemüsebaulich genutzten Boden ganzjährig zu quantifizieren sowie den Einfluss einzelner Maßnahmen zur Reduktion der N-Überschüsse im Gemüsebau in Bezug auf deren Treibhauswirkung zu überprüfen.

2. Material und Methoden

Die Messungen wurden auf einer Ackerfläche des Hohenheimer Versuchsguts „Heidfeldhof“ durchgeführt. Im langjährigen Mittel fallen am Versuchsstandort 697 mm a^{-1} Niederschlag bei einer mittleren Jahrestemperatur von $8,8^\circ\text{C}$. Bodentyp ist eine Parabraunerde mit einem C_{org} -Gehalt im A_n -Horizont von 1,8 % und einem pH-Wert (0,01 m CaCl_2) von 5,5. Die Textur des Bodens besteht aus 2 % Sand, 68 % Schluff und 30 % Ton (Pfab et al., 2011).

2007 wurde eine vollrandomisierte Blockanlage als Parzellenversuch angelegt. In den beiden Versuchsjahren 2008 und 2009 wurden jeweils ein Satz Kopfsalat gefolgt von einem Satz Blumenkohl angebaut. Im Frühjahr 2010 wurde zusätzlich ein Satz Mangold gesetzt. Als Winterzwischenfrucht wurde 2007/08 sowie 2009/10 jeweils einheitlich Grünroggen angesät. In Tabelle 1 sind die Versuchsvarianten zusammengestellt. Die N-Düngung nach Faustzahlen erfolgte nach Angaben von Gemüsebauberatern, die die N-Düngung von Landwirten abschätzen sollten, die ohne Berücksichtigung der N_{min} -Gehalte des Bodens düngen. In der Variante KNS wurde nach dem Sollwert des kulturbegleitenden N_{min} -Sollwertsystems nach Feller et al. (2007) gedüngt. Als Nitrifikationsinhibitor wurde 3,4-Dimethylpyrazol-Phosphat (DMPP) verwendet. Für alle Düngungsmaßnahmen wurde als N-Form Ammonsulfatsalpeter (ASS) verwendet. Bei der Bandapplikation wurde der Dünger in 10 cm Tiefe in einer Furche abgelegt und diese anschließend wieder verschlossen.

Zur Quantifizierung des Einflusses des Umbruchtermins einer (Grünroggen-) Zwischenfrucht auf die N_2O -Freisetzung wurden zusätzlich Messungen von Mitte März bis Ende Juni 2010 durchgeführt. Als Umbruchvarianten wurden dabei untersucht: früher (25.03.), mittlerer (15.04.) und später (29.04.) Umbruchtermin. Die Düngung erfolgte einheitlich mit gleichen N-Mengen am 05.05. Die N_2O -Messungen erfolgten im Zeitraum 20.03. bis 25.06.2011.

Tab. 1: Bezeichnung der Versuchsvarianten sowie der N-Düngermengen inklusive der N_{\min} -Gehalte zum jeweiligen Pflanztermin von Kopfsalat (KS) und Blumenkohl (BK).

Bezeichnung	N-Düngung [kg N ha ⁻¹]	Anmerkung
Kontrolle	0	
FZ	195 (KS) + 372 (BK) = 567	Faustzahlenvariante
KNS	150 (KS) + 286 (BK) = 436	Sollwert nach N-Expert
KNS -20%	120 (KS) + 230 (BK) = 350	Sollwert -20%
NI	150 (KS) + 286 (BK) = 436	Nitrifikationshemmstoff
Depot	150 (KS) + 286 (BK) = 436	Bandapplikation
ZF-Umbruch	150 (KS) + 286 (BK) = 436	ZF = Zwischenfrucht

Die Spurengasmessungen wurden mit der geschlossenen Kammermethode durchgeführt. Das Versuchsdesign sowie die Berechnung der Gasflussraten mittels eines linearen Anreicherungsmodells sind ausführlich bei Flessa et al. (1995) beschrieben. Die Messung der N_2O -Konzentrationen in den Gasproben erfolgte mit Hilfe eines GC (Hewlett Packard) mit ^{63}Ni -ECD.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Reduktion der N-Düngermenge

Die N_2O -Freisetzung zeigte eine hohe zeitliche Dynamik (nicht dargestellt). Die höchsten Raten wurden mit $1\,700\ \mu\text{g}\ N_2O\text{-N}\ \text{m}^{-2}\ \text{h}^{-1}$ unmittelbar nach der N-Düngung zum Kopfsalat 2008 in der Variante „Düngung nach Faustzahlen“ gemessen. Hohe Flussraten traten im weiteren Verlauf nach der Blumenkohlernte im ersten Versuchsjahr auf. Sie erstreckten sich über einen Zeitraum von annähernd vier Monaten im Winter. Die N_2O -Flussraten der ungedüngten Behandlung waren über den gesamten Versuch hinweg geringer als bei den gedüngten Behandlungen. Erhöhte N_2O -Flüsse nach N-Düngung bei gleichzeitig hohen Bodenwassergehalten wurden in Ackerbausystemen häufig beschrieben und werden vor allem auf eine erhöhte N_2O -Bildung während der Denitrifikation aufgrund einer verringerten O_2 -Diffusion im Boden und der daraus resultierenden Ausbildung eines anaeroben Milieus zurückgeführt (Ruser et al., 2001; Flessa et al., 1995).

Tab. 2: Ertrag von vermarktungsfähigem Kopfsalat sowie N₂O-Freisetzung während der Anbauphase des Kopfsalats, des Blumenkohls, außerhalb der Vegetationsperiode (Winter), sowie die Jahresemission der Versuchsvarianten. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Student-Newman-Keuls-Test, $\alpha < 0,05$).

	N-Düngung			
	Kontrolle	KNS -20%	KNS	FZ
Ertrag Kopfsalat [Mg ha ⁻¹]	5 ^a	26 ^b	39 ^c	40 ^c
N₂O-Freisetzung [kg N ha ⁻¹]				
Kopfsalat	0,4 ^a	2,0 ^a	3,2 ^{ab}	4,1 ^b
Blumenkohl	0,7 ^a	1,2 ^b	1,5 ^c	1,7 ^c
Winter	1,3 ^a	2,5 ^a	4,1 ^b	4,8 ^b
Jahresemission	2,4 ^a	5,7 ^b	8,8 ^c	10,6 ^d

Die kumulativen N₂O-Emissionen des ersten Versuchsjahres schwankten zwischen 2,4 kg N ha⁻¹ a⁻¹ in der ungedüngten und 10,6 kg N ha⁻¹ a⁻¹ in der nach Faustzahlen gedüngten Variante (Tab. 2). Diese Emissionen sind verglichen mit den N₂O-Emissionen aus ackerbaulich genutzten Flächen in Deutschland als hoch zu bewerten (Kaiser und Ruser, 2001). Ebenfalls in Einklang mit Kaiser und Ruser (2001) stellten die Emissionen außerhalb der Vegetationsperiode Anteile zwischen 44 und 54 % der gesamten Jahresemissionen. Diese Emissionen dürften vor allem Folge einer intensiven Mineralisation der Ernterückstände des Blumenkohls sein, durch die mineralischer N als Substrat für die N₂O-bildenden Prozesse in Böden zur Verfügung gestellt wurde. Durch den mikrobiellen Abbau der Ernterückstände wurden zudem anaerobe Bedingungen infolge der starken O₂-Zehrung gefördert und so die Denitrifikation begünstigt.

Aufgrund der hohen N-Düngermengen sowie der großen N-Mengen die über die Ernterückstände wieder zurückgeführt wurden, lagen die auf den gesamten N-Input bezogenen Emissionsfaktoren mit Werten zwischen 1,3 und 1,6 jedoch nur knapp über dem vom IPCC (2006) als Vorgabewert vorgeschlagenen 1 % (nicht dargestellt).

Ausgehend von der N-Düngung nach Faustzahlen konnte die annuelle N_2O -Freisetzung mit der Reduktion der N-Düngermenge vermindert werden (Tab. 2). So verringerte sich die annuelle N_2O -Emission um 17 % bei Reduktion der Düngermenge vom Niveau „FZ“ auf die Menge entsprechend dem Sollwert nach dem KNS-System. Eine weitere Verminderung um 35 % konnte durch die zusätzliche Reduktion auf das Düngerniveau der Variante „KNS -20%“ erreicht werden. Diese war allerdings mit einem starken Ertragsrückgang beim Kopfsalat verbunden (Tab. 2). Im Gegensatz dazu waren die Erträge bei den „FZ“- und „KNS“-Varianten gleich, sodass die Reduktion auf den KNS-Sollwert als effektive Maßnahme zur N_2O -Minderung mit einem Potential von ca. 17 % bewertet werden kann.

3.2 Nitrifikationshemmstoff und platzierte N-Düngung

Die N_2O -Emission einer praxisüblich breitwürfig gedüngten Variante konnte in beiden Versuchsjahren durch Einsatz eines Nitrifikationsinhibitors (NI) signifikant um jeweils über 40% vermindert werden (Abb. 1). Ein entsprechend hohes N_2O -Minderungspotential ist für andere Maßnahmen zur Verbesserung der N-Effizienz bisher nicht beschrieben worden. Mit Hilfe einer Metaanalyse berechneten Akiyama et al. (2010) ein Minderungspotential von ca. 30 %. In dieser Metastudie wurden die Ergebnisse von 85 Untersuchungen zusammengefasst, in denen der Einfluss verschiedener NIs auf die N_2O -Freisetzung getestet wurde. Die von Akiyama et al. (2010) berechnete Minderung bezog sich jedoch weitestgehend auf die Emissionen während der Vegetationsperiode, weil lediglich 13 annuelle Datensätze in die Auswertung eingingen. Diese wurden in Schottland in einem Gebiet ohne Frost/Tau-Zyklen durchgeführt und sind deshalb nicht repräsentativ für unser Untersuchungsgebiet in Mitteleuropa.

Die geringeren N_2O -Emissionen bei NI-Anwendung wurden während der Vegetationsperiode auf verringerte Nitrifikationsraten sowie auf ein geringeres Substratangebot für die Denitrifikation zurückgeführt. Überraschenderweise waren die N_2O -Emissionen bei NI-Anwendung auch im Winter niedriger. Der Wirkstoff war zu diesem Zeitpunkt wahrscheinlich abgebaut (Applikation: 3 Monate vor Blumenkolernte bei gleichzeitig hohen Bodentemperaturen). Der Grund für dieses Phänomen ist derzeit nicht bekannt. Geringere CO_2 -Flussraten im Winter lassen auf eine Nachwirkung des NIs auf die heterotrophe und damit denitrifizierende Bodenmikroflora schließen.

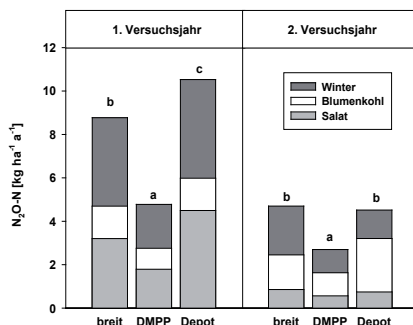


Abb. 1: Annuelle N₂O-Freisetzung in den beiden Versuchsjahren in Abhängigkeit der N-Düngung. Alle Düngungen erfolgten mit ASS als Basisdünger. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Student-Newman-Keuls-Test, $\alpha < 0,05$)

Im Gegensatz zum NI konnte mittels platzierter N-Düngung in beiden Versuchsjahren keine Minderung der N₂O-Emission erreicht werden (Abb. 2). Erhöhte NH₄⁺-Gehalte in den Depots über einen Zeitraum von mehreren Wochen können als Beleg dafür herangezogen werden, dass die nitrifikationshemmende Wirkung mittels hoher NH₄⁺-Konzentrationen (Wetselaar et al., 1972) erreicht wurde. Offensichtlich ist es aber in der mikrobiell intakten Umgebung der Depots zu verstärkten Emissionen gekommen. Beim Vergleich von breitflächiger N-Düngung, Band- oder Punktablage kamen Engel et al. (2010) ebenfalls zu dem Ergebnis, dass die platzierte N-Düngung mit höheren Emission verbunden war als die breitwürfige Gabe.

3.3 Terminierung des Zwischenfruchtumbruchs

Die Emissionen über den gesamten Messzeitraum betragen 3,1 kg N₂O-N ha⁻¹ bei frühem, 4,4 kg N ha⁻¹ bei mittlerem und 5,9 kg N ha⁻¹ bei spätem Umbruchtermin von Grünroggen. Bei frühem Umbruch waren die Emissionen signifikant niedriger als die Emissionen der beiden anderen Umbruchvarianten (nicht dargestellt).

Die steigernde Wirkung frischer organischer Substanz auf die N₂O-Freisetzung wurde von Garcia-Ruz und Baggs (2007) vor allem auf die O₂-Zehrung beim C-Umsatz zurückgeführt. Dies führt zu einer Verstärkung des anaeroben Milieus

und fördert somit, neben der Nachlieferung an mineralischem N, die N_2O -Bildung während der Denitrifikation. Damit kann die N_2O -Emission durch eine zeitliche Desynchronisation von N-Düngung und dem Angebot an frischem organischem Material ebenfalls vermindert werden.

4. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden verschiedene Maßnahmen zur Steigerung der N-Effizienz im Gemüsebau auf die N_2O -Freisetzung getestet. Ein besonders hohes Minderungspotential von jeweils über 40 % konnte in beiden Versuchsjahren mittels der Anwendung des NIs DMPP erreicht werden. Die Reduktion der N-Düngung auf den Sollwert aus dem KNS-Sollwertsystem führte im Vergleich zur Düngung nach Faustzahlen zu einer Emissionsminderung von 17 %. Die Depotdüngung führte nicht zu einer Reduktion der N_2O -Freisetzung. Die N_2O -Emission während der Vegetationsperiode konnte durch die Desynchronisation von mineralischer N-Düngung und dem Umbruch der Winterzwischenfrucht ebenfalls signifikant vermindert werden.

5. Literatur

- Akiyama, H., Yan, X., Yagi, K., 2010: Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N_2O and NO emissions from agricultural soils: Meta-analysis. *Glob. Chang. Biol.* 16, 1837-1846.
- 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.
- Engel, R., Liang, D., Wallander, R., Bembeck, A., 2010: Influence of urea fertilizer placement on nitrous oxide production from a silty loam soil. *J. Environ. Qual.* 39, 115-125.
- Everaarts, A.P., 2000: Nitrogen balance during growth of cauliflower. *Sci. Hortic.* 83, 173-186.
- 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 Gemüsebau – Datenbasis für eine erfolgreiche Düngung im

- Freilandgemüsebau. In: Fink, M. (Hrsg.): 2. überarbeitete Auflage, Schriftenreihe des Institutes für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren und Erfurt.
- Flessa H., Dörsch, P., Beese, F., 1995: Seasonal variation of N₂O and CH₄ fluxes in differently managed arable soils in southern Germany. *J. Geophys. Res.* 100, 23115-23124.
- Garcia-Ruiz, R., Baggs, E.M., 2007: N₂O emission from soil following combined application of fertiliser-N and weed residues. *Plant Soil* 299, 263-274.
- 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.
- Kaiser, E.A., Ruser, R., 2000: Nitrous oxide emissions from arable soils in Germany – An evaluation of six long-term field experiments. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163, 249-260.
- 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., Flessa, H., Schilling, R., Beese, F., Munch, J.C., 2001: Effects of crop-specific field management and N fertilization on N₂O emissions from a fine-loamy soil. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 59, 177-191.
- Wetselaar, R., Passioura, J.B., Sing, B.R., 1972: Consequences of banding nitrogen fertilizers in soil I. Effects on nitrification. *Plant Soil* 36, 159-175.
- Wiesler, F., Laun, N., Armbruster, M., 2008: Integriertes Stickstoffmanagement – eine Strategie zur wirksamen Verringerung der Gewässerbelastung im Gemüsebau. *Agrarspectrum* 41, 95-108.

Das Projekt wurde durch die Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert.

Boden-Pflanze Transfer von anorganischen und organischen Schadstoffen nach langjähriger Klärschlammdüngung

H. Pang, M. Armbruster, D. Martens, K. Wies, F. Wiesler
LUFA Speyer

1. Einleitung

In Deutschland fallen jährlich etwa 2 Millionen Tonnen Klärschlamm (Trockenmasse) aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen an (Statistisches Bundesamt, 2010). Davon werden etwa 30 % in der Landwirtschaft und weitere 14 % im Landschaftsbau stofflich verwertet. In Rheinland-Pfalz liegt der Anteil der landwirtschaftlichen Verwertung bei einem jährlichen Klärschlammanfall von etwa 89 Tausend Tonnen Trockenmasse mit fast 70 % noch wesentlich höher als im Bundesdurchschnitt (Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz, 2010). Durch die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm werden Nährstoffe im Kreislauf gehalten und den Böden erhebliche Mengen an organischer Substanz zugeführt. Auf der anderen Seite ist Klärschlamm auch eine Senke für anorganische und organische Schadstoffe. Die Auswirkungen der Klärschlammdüngung auf die Bodenfruchtbarkeit und den Schadstofftransfer in die Pflanzen können aus Langzeitversuchen abgeleitet werden. So wird auf der Versuchsstation Rinkenbergerhof der LUFA Speyer seit 1981 ein Versuch mit unterschiedlichen Ausbringungsmengen von Klärschlamm durchgeführt.

Diese Flächen wurden im Jahre 2011 intensiv beprobt. In ausgewählten Varianten wurden Salat und Zucchini ausgepflanzt, um den potentiellen Transfer an Schwermetallen und perfluorierten Chemikalien (PFC) in die Pflanzen zu untersuchen. PFC wurden über viele Jahre u.a. zum Galvanisieren, in Feuerlöschschäumen und zur Herstellung von Imprägnierungen, Antihafbeschichtungen und Oberflächenbeschichtungen verwendet. Einige Vertreter wie Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) sind in der Umwelt weit verbreitet und wurden u.a. in vielen Klärschlämmen nachgewiesen. Diese sehr persistenten Verbindungen stehen im Verdacht, krebserzeugend und reproduktionstoxisch zu sein. In Modellversuchen konnte ein Übergang vom Boden in die Pflanze nachgewiesen werden (Stahl et al., 2007). Der Gesetzgeber hat deshalb das Inverkehrbringen und Verwenden von PFOS bis auf einige Ausnahmen seit

2008 verboten und hat u.a. Grenzwerte für PFC in der Düngemittelverordnung eingeführt bzw. sieht diese für die novellierte Klärschlammverordnung vor.

2. Material und Methoden

Der Versuchsstandort Rinkenbergerhof liegt in der Oberrheinebene nördlich von Speyer auf 99 m über NN. Bei dem Boden handelt es sich um eine Braunerde bis Pseudogley-Braunerde aus Terrassensanden des Rheins und des Speyerbaches mit einer Ackerzahl von 25. Die nutzbare Feldkapazität beträgt etwa 10 %. Im langjährigen Mittel fallen knapp 600 mm Jahresniederschlag, die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 10 °C. Bei Bedarf werden die Versuche beregnet.

Der Klärschlammversuch wurde 1981 angelegt, seit 1990 erfolgt die Klärschlamm-Ausbringung in drei Applikationsmengen: 0, 1,67 und 3,33 Tonnen Trockenmasse $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ (bis zum Jahre 1989 wurden auf der Basis der bis dahin geltenden Regelung die 3-fachen Mengen ausgebracht). Die Ausbringung erfolgt je nach Variante entweder jährlich oder alle drei Jahre in dann dreifacher Höhe der jährlichen Ausbringung. Die vorliegende Arbeit wurde in den Varianten mit dreijähriger Ausbringung durchgeführt. Die letzte Klärschlamm-Ausbringung erfolgte im Frühjahr 2011. Der Versuch wird seit 1981 mit der Fruchtfolge Zuckerrübe (seit 2005 Mais) – Winterweizen – Wintergerste durchgeführt.

Zur Ermittlung des potentiellen Transfers von Schwermetallen und PFC in die Pflanzen wurde 2011 in den ausgewählten Varianten (s.o.) Kopfsalat (Sorte Rujano, Pflanzung 18.04.2011) und Zucchini (Sorte Rhodos, Pflanzung 18.04.2011) ausgepflanzt. Nach praxisüblicher Kulturführung wurden die Pflanzen am 24.05.11 (Salat) und von 30.05.11 bis zum 27.06.11 (Zucchinifrüchte, 11 Erntegänge) geerntet. Die Zucchinifrüchte von zwei Erntegängen (30.05.11 und 03.06.11) wurden für die Analyse aufbereitet. Die Zucchini sprossen wurden zwischen dem 27.06.11 und dem 01.07.11 geerntet. Zusätzlich zu den Sprossen erfolgte auch eine Wurzelprobenahme durch Ausgraben eines Teils der Wurzelsysteme mit einem Spaten und vorsichtiger trockener und nasser Reinigung über einem Sieb. Die Wurzelprobenahmen erfolgten zwischen dem 30.05.11 und 01.06.11 (Salat) bzw. zwischen dem 27.06.11 und dem 01.07.11 (Zucchini).

Parallel zum Feldversuch wurde ein Gefäßversuch (1,05 kg TM Boden pro Gefäß, Bodenentnahme aus der Nullparzelle des Klärschlammversuchs) ange-

setzt, in dem nach Zugabe von jeweils 0, 200 und 1000 μg PFOA bzw. PFOS pro kg Boden Kopfsalat ausgepflanzt (Pflanztermin 20.05.11) und für 25 Tage kultiviert wurde.

Boden- und Pflanzenproben (Wurzel, Spross) wurden auf Schwermetalle (Boden: Königswasseraufschluss; Pflanzen: Aufschluss mit Salpetersäure unter Druck) und PFC untersucht. Die PFC-Analytik in Boden und Pflanzen erfolgte nach Extraktion mit Acetonitril im Ultraschallbad und verschiedenen Aufreinigungsschritten mittels LC-MS/MS (VDLUFA-Methode 3.3.2.6).

3. Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Bodenuntersuchung vor dem Versuchsbeginn im Jahre 2011. Dabei fällt auf, dass die langjährige Klärschlammdüngung unabhängig von der applizierten Klärschlammmenge zu einer moderaten Erhöhung der Gehalte an organischen Kohlenstoff (C_{org}) und Gesamtstickstoff (N_{ges}) im Boden geführt hatte. Einen starken Anstieg wiesen die P_{CAL} -Gehalte und, aufgrund der Konditionierung des Klärschlammes, die pH-Werte auf. Die K_{CAL} -Gehalte unterschieden sich dagegen erwartungsgemäß kaum zwischen den Varianten.

Tab. 1: Bodenuntersuchungsergebnisse in 0-30 cm Bodentiefe im Klärschlammversuch der LUFA Speyer nach 30-jähriger Klärschlamm-Anwendung

	C_{org} [%]	N_{ges} [%]	P [$\text{mg } 100^{-1}$]	K [$\text{mg } 100\text{g}^{-1}$]	pH [CaCl_2]
Kontrolle	0,73	0,08	6,6	7,5	5,4
1,67tKS	0,93	0,10	8,7	7,5	5,8
3,33tKS	0,92	0,10	16,2	8,3	6,2

Neben seiner zweifellos positiven Nährstoffwirkung müssen mögliche Schädwirkungen aufgrund kritischer Gehalte an Schwermetallen und organischen Schadstoffen im Klärschlamm in die Betrachtung mit einbezogen werden. Mit wenigen Ausnahmen (1991, 1993) wurde in dem Versuch Klärschlamm aus derselben Kläranlage verwendet. Während des gesamten Versuchszeitraums nahmen die Gehalte an Cadmium (Cd), Blei (Pb), Chrom (Cr) und Quecksilber (Hg) sehr

deutlich auf ca. 5 - 25 % der Ausgangswerte im Jahr 1981 ab. Demgegenüber waren die Rückgänge der Gehalte an Nickel (Ni), Zink (Zn) und Kupfer (Cu) nur moderat. Die aus den Schwermetallkonzentrationen und Ausbringungsmengen berechneten Schwermetallfrachten sind in Tabelle 2 im Vergleich zu den gesetzlich zugelassenen Grenzfrachten nach Bioabfallverordnung (BioAbfV) und Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) dargestellt. Bei der Berechnung wurde lediglich der Zeitraum mit den seit 1991 applizierten Mengen berücksichtigt. Überschreitungen der Grenzfrachten nach BBodSchV ergeben sich dabei für Kupfer (Cu), Quecksilber (Hg) und Zink (Zn). Die aus der BioAbfV abgeleiteten Grenzfrachten wurden dagegen bei allen Elementen unterschritten. Bei Ausbringung der doppelten als der gesetzlich zulässigen Klärschlammmenge (3,33 t TM pro Hektar und Jahr) wurden die Grenzfrachten bei Kupfer (Cu) und Zink (Zn) sowohl nach BBodSchV als auch nach BioAbfV, bei Nickel (Ni) und Quecksilber (Hg) nur nach BBodSchV überschritten.

Tab. 2: Vergleich der aus der Bioabfallverordnung (BioAbfV) und Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) abgeleiteten Grenzfrachten mit den tatsächlich im Klärschlammversuch der LUFA Speyer im Zeitraum 1990 bis 2010 pro Jahr ausgebrachten Schwermetallmengen

Element	Grenzfracht	Grenzfracht	Fracht 1 Kontrolle	Fracht 2 1,67 t KS	Fracht 3 3,33 t KS
	BioAbfV	BBodSchV			
	(g/ha/a)	(g/ha/a)	(g/ha/a)	(g/ha/a)	(g/ha/a)
Pb	1001	400	11	190	371
Cd	10	6	1,8	2,7	5,1
Cu	667	360	3,2	665	1326
Ni	334	100	3,4	61	120
Hg	6,7	1,5	0,02	1,9	3,8
Zn	2668	1200	38	1818	3616

Mittlere jährliche Frachten im Zeitraum 1990 bis 2010

Die Schwermetallgehalte im Boden spiegeln fast ausnahmslos die unterschiedlichen Schwermetallfrachten in den drei Varianten wider (Abb. 1). Dessen ungeachtet liegen die Gehalte im Boden auch heute noch deutlich unterhalb der Grenzwerte nach AbfKlärV und bei Anwendung der zulässigen Klärschlammmenge auch unterhalb der Vorsorgewerte nach BBodSchV. Allerdings zeigt sich bei überhöhter Klärschlamm-Anwendung (3,33 t KSh⁻¹ a⁻¹) bei Kupfer (Cu), Zink

(Zn) und Quecksilber (Hg) ein Erreichen bzw. Überschreiten der Vorsorgewerte nach BBodSchV für die Bodenart Sand.

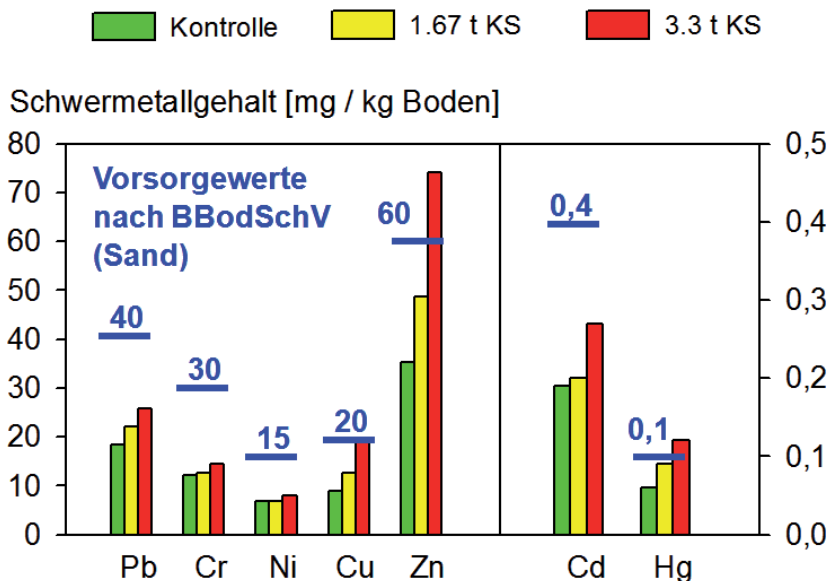


Abb. 1: Schwermetallgehalte im Boden (0-30 cm) im Klärschlammversuch der LUFA Speyer nach 30-jähriger Klärschlammdüngung (Säulen) im Vergleich zu den Vorsorgewerten nach Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBoSchV, Sand)

Die Schwermetallgehalte in den Pflanzen (Tab. 3 und Tab. 4) wiesen die typische Differenzierung zwischen den Organen auf (Wurzel > Spross > Frucht). Trotz des deutlichen Anstiegs der Schwermetallgehalte im Boden wurden die Gehalte in den Pflanzen durch die Klärschlammausbringungsmenge nicht konsistent beeinflusst. Bemerkenswerterweise erniedrigten sich die Cd- und Zn-Gehalte im Spross und in der Wurzel von Salat mit zunehmender Ausbringungsmenge, d. h. ansteigenden Gehalte im Boden (Tab. 3). Bei Zucchini war eine entsprechende Abnahme der Cd-, Ni- und tendenziell auch Zn-Gehalte festzustellen (Tab. 4). Diese Ergebnisse dürften auf die steigenden pH-Werte mit steigender Klärschlammmenge zurückzuführen sein. Sie bestätigen den bekannten Einfluss des pH-Werts auf die Mobilität von Schwermetallen im Boden (Prüß, 1992) und deren Aufnahme durch die Pflanzen (Hooda, 1997).

Tab. 3: Schwermetallgehalte im Kopf und in den Wurzeln von Kopfsalat in Abhängigkeit von der langjährig ausgebrachten Klärschlammmenge sowie dem pH-Wert im Boden

Variante	Schwermetallgehalt [mg kg ⁻¹ TM]							Boden
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	pH
	Kopf							
Kontrolle	1,3	1,8	4,7	6,8	3,2	0,01	120	5,4
1,67tKS	1,3	1,1	2,5	7,9	1,6	0,01	109	5,8
3,33tKS	1,6	0,7	3,9	7,0	1,7	0,01	87	6,2
	Wurzel							
Kontrolle	5,1	3,5	8,2	22,1	7,4	0,04	306	5,4
1,67tKS	8,4	2,1	9,7	26,9	7,7	0,04	264	5,8
3,33tKS	6,4	0,8	12,8	19,8	7,6	0,03	134	6,2

Tab. 4: Schwermetallgehalte in der Frucht, dem Spross und in den Wurzeln von Zucchini in Abhängigkeit von der langjährig ausgebrachten Klärschlammmenge sowie dem pH-Wert im Boden

Variante	Schwermetallgehalt [mg kg ⁻¹ TM]							Boden
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	pH
	Frucht							
Kontrolle	0,46	0,15	0,60	6,0	1,7	0,002	77	5,4
1,67tKS	0,53	0,08	0,36	5,6	1,0	0,001	71	5,8
3,33tKS	0,57	0,06	0,47	6,1	0,7	0,001	73	6,2
	Spross							
Kontrolle	0,94	0,72	1,61	8,8	2,4	0,015	173	5,4
1,67tKS	0,93	0,22	1,06	9,5	1,5	0,016	165	5,8
3,33tKS	0,78	0,13	1,17	9,2	1,2	0,017	133	6,2
	Wurzel							
Kontrolle	5,39	1,51	13,61	14,0	9,7	0,029	138	5,4
1,67tKS	4,76	0,92	9,71	15,8	7,2	0,022	138	5,8
3,33tKS	4,34	0,83	10,34	18,1	6,9	0,019	125	6,2

Bezüglich organischer Schadstoffe zeigte der durchgeführte Gefäßversuch eindeutig, dass Salat PFC in den Spross aufnimmt (Tab. 5). Dabei war die Aufnahme von PFOA um ein Vielfaches höher als die Aufnahme von PFOS. Je nach Angebot lassen sich Transferkoeffizienten von ca. 10 - 20 für PFOA und 0,25 - 1 für PFOS schätzen. Sowohl der vom Angebot abhängige Anstieg der PFC-Gehalte in den Pflanzen als auch die wesentlich höhere Aufnahme von PFOA im Vergleich zu PFOS bestätigten Modellversuche, die Stahl et al. (2007) mit verschiedenen Pflanzenarten durchführten.

Tab. 5: Gehalte an Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) im Boden (Versuchsbeginn; Applikation von 0 (Kontrolle), 200 (Niedrig) und 1000 (Hoch) μg PFOA und PFOS pro kg Boden) und in Kopfsalatpflanzen nach 25-tägiger Kulturdauer in einem Gefäßversuch

PFC-Angebot	Gehalt im Boden		Gehalt in der Pflanze ^a	
	PFOA	PFOS	PFOA	PFOS
	[$\mu\text{g kg}^{-1}$ TM]			
Kontrolle	0	3	5	0
Niedrig	174	1726	1987	52
Hoch	847	835	18283	799

^a Als Trockenmasse-Gehalt 4,8% (Durchschnittlicher im Feldversuch erhobener Wert)

Im Feldversuch wies der im Jahre 2011 applizierte Klärschlamm PFOS-Gehalte von $62 \mu\text{g kg}^{-1}$ TM auf, PFOA war nicht nachweisbar. Dies stimmte mit den im Jahre 2011 gemessenen PFOS-Gehalten im Boden überein, die sich in dem Bereich 7 (Kontrolle), 15 (1,67 t KS) und 26 (3,33 t KS) $\mu\text{g kg}^{-1}$ Boden bewegten (Tab. 6). PFOA wurden auch im Boden nicht nachgewiesen. Trotz der im Vergleich zum Gefäßversuch deutlich niedrigeren PFOS-Gehalte im Boden, konnte auch im Feldversuch eine Beziehung zwischen Gehalt im Boden und Gehalt in den Wurzeln bzw. dem Spross von Salat und Zucchini nachgewiesen werden. Der Vergleich der Pflanzenarten zeigte höhere PFOS-Gehalte insbesondere in den Wurzeln des Salates, aber weniger deutlich im Spross. Ein Vergleich der Organe ergibt immer höhere Gehalte in den Wurzeln als im Spross und höhere Gehalte in den äußeren Blättern als im Kopf (Salat) bzw. höhere Gehalte im Spross als in der Frucht (Zucchini).

Tab. 6: Gehalte an Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) im Boden (0-30 cm) im Klärschlammversuch der LUFA Speyer nach 30 jähriger Klärschlammdüngung sowie in den 2011 kultivierten Kopfsalat- (Wurzeln, äußere Blätter, Kopf) und Zucchinipflanzen (Wurzeln, Spross, Frucht)

	Boden		Salat	
		Wurzel	Äußere Blätter	Kopf
Kontrolle	7,0	32,8	2,9	0,8
1,67tKS	15,2	83,7	5,1	1,1
3,33tKS	26,4	99,5	7,0	2,2
	Boden		Zucchini	
		Wurzel	Spross	Frucht
Kontrolle	7,0	6,9	2,6	0,7
1,67tKS	15,2	10,8	3,9	1,0
3,33tKS	26,4	15,9	5,0	1,0

4. Fazit

Klärschlamm ist ein nährstoffreicher organischer Dünger, der allerdings auch eine Senke für Schwermetalle und organische Schadstoffe darstellt. Der hier vorgestellte 30-jährige Langzeitversuch bestätigt, dass durch Klärschlammaufbringung insbesondere beträchtliche Mengen an Phosphor in Form von Mineraldüngergaben eingespart werden können. Der Versuch zeigt jedoch auch, dass langjährige Klärschlammdüngung zu einer Akkumulation von Schwermetallen im Boden führt, wenn dies aufgrund von pH-Effekten auch keine erhöhte Schwermetallaufnahme der hier verwendeten Modellpflanzen Salat und Zucchini zur Folge hatte. Bemerkenswert ist, dass die langjährige Klärschlammdüngung sich auch in unterschiedlichen PFOS-Gehalten im Boden widerspiegelte. Obwohl diese Gehalte viel niedriger waren als in dem hier vorgestellten und auch als in der Literatur publizierten Modellversuchen, spiegelten sie sich auch in entsprechenden Gehalten in den Pflanzen wider. Ob die ermittelten Gehalte von human-toxikologischer Relevanz sind, muss offen bleiben, zumal die Gehalte in den normalerweise zum Verzehr genutzten Pflanzenteilen (Salatkopf, Zucchinifrucht) mit Abstand am niedrigsten waren.

5. Literatur

- Hooda, P.S., McNulty, D., Alloway, B.J. and Aitken, M., 1997: Plant availability of heavy metals in soil previously amended with heavy applications of sewage sludge. *J. Sci. Food Agric.* 73, 446-454.
- Prüß, A., 1992: Vorsorgewerte und Prüfwerte für mobile und mobilisierbare, potentiell ökotoxische Spurenelemente in Böden. Verlag Ulrich E. Grauer, ISBN 3-9803063-4-8.
- Stahl, T., Heyn, J., Thiele, H., Hüther, J., Failing, K., Georgii, S., Brunn, H., 2007: Carryover of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) from soil to plant. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 57, 289-298.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2011: Methode 3.3.2.6 Bestimmung von Perfluoroktancarbonsäure (PFOA) und Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) als Leitsubstanzen der perfluorierten Chemikalien (PFC) in Klärschlamm mittels Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion. *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. VII Umweltanalytik, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag Darmstadt.

Rückgewinnung und Nutzbarmachung von Phosphor aus Klärschlämmen

A.K. Brock, S. Ruppel

Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren

1. Hintergrund

Die Landwirtschaft ist der größte Verbraucher an Rohphosphat, welches aufgrund mangelnder eigener Lagerstätten nach Deutschland importiert werden muss. Da aufgrund abnehmender Lagerstätten der Abbau von Rohphosphat zunehmend aufwendiger wird, ist eine erhebliche Preissteigerung von Phosphatdünger zu erwarten (Dery und Anderson, 2007). Auf der anderen Seite wird in Deutschland 38 % (2005) des anfallenden Klärschlammes als entsorgungspflichtiger Abfall verbrannt, wodurch der enthaltene Phosphor als wichtige Ressource dem Nährstoffkreislauf entzogen wird. Eine Rückgewinnung des Phosphors aus Klärschlämmen ist daher ein wichtiger Schritt in Richtung nachhaltiger Landwirtschaft. Bisher sind vorwiegend chemisch-thermische Rückgewinnungsstrategien wie z. B. das Seaborne-Verfahren beschrieben, bei dem Phosphor mit Metallionen komplexiert wird (Ludwig, 2009). Ein großer Nachteil der hierbei stattfindenden Magnesiumammoniumphosphat-Fällung ist jedoch, dass enorme Mengen an Chemikalien wie Schwefelsäure und Magnesiumhydroxid benötigt werden, was ökologisch bedenklich ist. Weiterhin liegt durch diese Komplexbildung das Phosphat in einer für die Pflanze schwer verfügbaren Form vor. In einem AIF-geförderten Projekt wurde daraufhin untersucht, inwieweit es möglich ist durch „Grüne Gerste“ dem Klärschlamm Phosphate vor der Verbrennung zu entziehen.

2. „Grüne Gerste“

Vom Interesse für das Forschungsprojekt war die „Grüne Gerste“. In den ersten Wachstumsphasen hat der Graskeimling einen erhöhten Metabolismus mit verstärkten Enzymaktivitäten, die für Wachstumsvorgänge benötigt werden. Während der Photosynthese wird in den jungen grünen Blättern Glucose gebildet. Diese wird in der Pflanze im Stoffkreislauf in Eiweiß, Kohlenhydrate und Fette umgewandelt. Dieser Kohlenhydratstoffwechsel ist stets über Phosphate

energetisiert. Überhaupt beruht die Energieübertragung und -bereitstellung im zellulären System auf der hydrolytischen Spaltung energiereicher Phosphatverbindungen, z. B. des ATP. Enzyme und Nährstoffe stammen aus dem pflanzlich assimilierten Traubenzucker und den aus dem Boden aufgenommenen Mineralien (Lüttge et al., 1999). Demzufolge mobilisiert und akkumuliert junge, grüne Gerste für ihren energiezehrenden Metabolismus verstärkt mineralisch und organisch gebundene Phosphate aus dem Nährboden. Bis zum Schossen wird Phosphat in die Zellsubstanz eingebaut, danach erfolgt der Abbau des gespeicherten Phosphats eine Translokation in die Samen.

Diese Besonderheit der „Grünen Gerste“ bezüglich der P-Akkumulierung sowie deren schnellwachsende Eigenschaft wurde für die P-Rückgewinnung aus kommunalen Klärschlämmen genutzt. Eine weitere Besonderheit erschließt sich aus der Verwendung der grünen Pflanzenteile als Dünger, da die in der grünen Gerste bis zum Schossen angereicherten Phosphate in leicht pflanzenverfügbarer Form vorliegen (Hagen et al., 1957). Zudem beinhalten die grünen Pflanzenteile zu diesem Zeitpunkt zahlreiche Enzyme und Mineralien, die neben der hohen P-Verfügbarkeit förderlich für Boden, Bodenlebewesen und Pflanzen sind, wenn dieses aufbereitete Material als organischer Dünger eingesetzt wird.

3. Klärschlamm

Während der Projektlaufzeit standen zahlreiche Klärschlammchargen zur Verfügung, welche aus Haushaltsabwässern im Spreewald stammten. Die Klärschlämme wurden nach § 3 Abs. 5 AbfklärV durch ein akkreditiertes Labor auf ihre Nährstoffzusammensetzung sowie auf Schadstoffe hin untersucht. In Tabelle 1 sind Mittelwerte sowie die maximale Abweichung aus insgesamt 20 Einzelproben aufgeführt.

4. Ermittlung von optimalen P-Anreicherungsparametern

Zunächst wurde untersucht, ob die Keimung und weitere Entwicklung von Gerste auf purem Klärschlamm möglich ist oder ob ggf. Beimengungen erfolgen müssen. Im Gefäßversuch wurde Gerste auf Klärschlamm, Klärschlamm-Quarzsand-Gemisch und Klärschlamm-Erde-Gemisch sowie zur Kontrolle auf purem Quarzsand und purer Erde, bei der es sich um lehmigen Sandboden handelt,

Tab. 1: Zusammensetzung ausgewählter Nähr- und Schadstoffe der verwendeten Klärschlammchargen (20 Einzelproben)

Parameter	Klärschlammproben	
	Mittelwert	Abweichung
pH-Wert	7,15	+/- 0,28
Nährstoffe (in TM) in %		
Phosphor (P ₂ O ₅)	7,45	+/- 1,67
Gesamtstickstoff (N)	4,99	+/- 1,32
Kaliumoxid (K ₂ O)	0,48	+/- 0,18
Magnesiumoxid (MgO)	0,769	+/- 0,014
Schadstoffe (mg kg⁻¹ TM)		
Blei	16,5	+/- 0,8
Cadmium	0,875	+/- 0,041
Chrom	26,9	+/- 0,7
Zink	486,4	+/- 50,4
Kupfer	226,85	+/- 8,85

ausgesät. Die Samen wurden dünn mit dem entsprechenden Substrat bedeckt. Zusätzlich wurden zum Halten der Feuchtigkeit Folienhauben auf die Töpfe gespannt, die nach Beendigung der Keimung wieder entfernt wurden. Die Versuche ergaben, dass Sommergerste mit einer Keimungsrate von über 60 % sehr gut in der Lage ist, sich auf purem Klärschlamm zu entwickeln. Zusätzliche Beimengungen sind folglich nicht erforderlich. Weiterhin wiesen die auf purem Klärschlamm gewachsenen Gerstenpflanzen vier Wochen nach der Aussaat den im Vergleich zu den Kontrollen höchsten Gesamt-P-Gehalt von 1 % auf.

Um möglichst viel Biomasse auf dem Klärschlamm zu erzeugen, wurde die maximale Aussaatdichte von Sommergerste auf dem Klärschlamm bestimmt und gleichzeitig der ideale Erntezeitpunkt untersucht. Die Gesamt-P-Gehalte zu verschiedenen Erntezeitpunkten und Aussaatdichten sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2: Gesamt-P-Gehalte der geernteten Gerste 2, 4 und 7 Wochen nach der Aussaat auf Klärschlamm sowie Standardabweichung bei zwei verschiedenen Pflanzendichten

Pflanzenzahl pro m ²	Wochen nach der Aussaat		
	2	4	7
	% P (Stabw)	% P (Stabw)	% P (Stabw)
700	1,38 (0)	0,95 (0,04)	0,83 (0,04)
6000	1,76 (0,17)	1,1 (0,08)	1,27 (0,1)

Gesamt-P-Untersuchungen ergaben, dass bei einer sehr hohen Aussaatdichte von 6 000 Pflanzen pro m² der höchste Gesamt-P-Gehalt von 1,76 % erreicht wurde. Dicht wachsende Pflanzen wiesen aufgrund der gegenseitigen Behinderung zwar eine niedrigere Biomasse pro Pflanze auf (Daten nicht gezeigt), doch konnten hierbei höhere Gesamt-P-Gehalte erzielt werden. Offensichtlich ist die P-Akkumulation in Sommergerste unabhängig vom Biomassewachstum. Da Gerste insbesondere in sehr jungen Stadien P anreichert, war es nicht verwunderlich, dass der höchste Gesamt-P-Gehalt zwei Wochen nach der Aussaat festgestellt wurde.

Da der Gesamt-P-Entzug pro Quadratmeter entscheidend ist, wurde dieser berechnet und ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tab. 3: Gesamt-Phosphor Entzug durch Sommergerste (in g pro m²) 2, 4 und 7 Wochen nach der Aussaat auf Klärschlamm bei zwei verschiedenen Pflanzendichten, Standardabweichung in Klammern

Pflanzenzahl pro m ²	Wochen nach der Aussaat		
	2	4	7
	pro P m ⁻² [g] (Stabw)	P m ⁻² [g] (Stabw)	P m ⁻² [g] (Stabw)
700	0,51 (0)	0,77 (0,29)	2,28 (0,92)
6000	2,16 (1,14)	3,89 (2,16)	12,41 (2,56)

Der optimale Phosphatentzug aus dem Klärschlamm konnte 7 Wochen nach der Aussaat der Gerste bei einer enorm hohen Aussaatdichte verzeichnet werden. 12,41 g Phosphor akkumulierte in der Gerste unter diesen Bedingungen pro m² Klärschlamm. Trotz einer starken Konkurrenzsituation aufgrund der hohen Aussaatdichte und dem prozentual etwas niedrigerem Gesamt-P-Gehalt des späten Erntezeitpunkts überwiegt die insgesamt sehr hohe Biomasseproduktion, was letztendlich zum Phosphatentzugsoptimum zu diesem späteren Zeitpunkt führte.

5. Zusammenfassung und Fazit

Gerste keimt und wächst gut auf purem Klärschlamm. Dabei toleriert sie hohe Pflanzendichten von 6 000 Pflanzen pro m² sehr gut. Bei hohen Aussaatdichten und einem Erntezeitpunkt zwei Wochen nach der Aussaat wurden Gesamt-P-Gehalte von bis zu 1,76 % erreicht. Die effektivste P-Akkumulation von 12,41 g Phosphor pro m² Klärschlamm fand bei der hohen Dichte von 6 000 Pflanzen pro m² 7 Wochen nach der Aussaat statt.

Auch wenn längst nicht der gesamte im Klärschlamm vorhandene Phosphor durch die Gerste entzogen werden konnte, zeigen die Ergebnisse eine umweltverträgliche Möglichkeit auf, dem Klärschlamm vor der Verbrennung Phosphat zu entziehen.

6. Literaturangaben

- Dery, P., Anderson, D., 2008: Peak Phosphorus. Energy Bulletin. <http://www.energybulletin.net/node/33164>.
- Hagen, C.E., Legget, J.E., Jackson, P.C., 1957: The sites of orthophosphate absorption by barley roots. Proc. natn. Acad. Sci., U.S.A., 43, 496.
- Ludwig, H., 2009: Rückgewinnung von Phosphor aus der Abwasserreinigung. Eine Bestandsaufnahme. Umwelt-Wissen Nr. 0929. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Lüttge, U., Kluge, M., Bauer, G., 1999: Botanik. Wiley-VCH Verlag, Weinheim.

19 Jahre Bodendauerbeobachtung in Thüringen – Gefügeuntersuchungen

R. Paul

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Die Thüringer Bodendauerbeobachtungsflächen

Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft betreut seit 1992 14 Bodendauerbeobachtungsflächen. Darauf werden Gefügeuntersuchungen im Rhythmus von zwei Jahren durchgeführt. Das Ziel dieser Untersuchungen ist die Beobachtung der Gefügeentwicklung bei praxisüblicher Bewirtschaftung und Technik.

Die Flächencharakteristik und die Bodenbearbeitungsverfahren sind in Tab. 1 dargestellt. Auf zwei Flächen wird seit 1994 permanent pfluglos gearbeitet, auf einer pfluglos zwischen 1994 und 2008, auf sieben Flächen pfluglos mit Unterbrechung durch Pflügen nach vom Nutzer erkanntem Bedarf). Die Bearbeitungstiefe pflugloser Bearbeitung beträgt 15 cm, gearbeitet wurde mit unterschiedlichen Geräten (Scheibengrubber, Schwergrubber, Spatenrollegge).

Die Bodenuntersuchung erfolgt an eingemessenen Flächen innerhalb der Schläge in jeweils 4 Profilen und in vier Schichten, obere und untere Krume, Krumenbasis und krumennaher Unterboden. Je Schicht und Profil werden 6 Stechzylinder entnommen, so dass pro Schicht, Standort und Untersuchungsjahr 24 Wiederholungen vorliegen. Der Zeitpunkt der Beprobung ist das Frühjahr.

Der Gefügestand wird an den Kriterien Luftkapazität und Durchlässigkeit (kf-Wert) bewertet. Der Schadbereich ist definiert mit einer Luftkapazität <8 Vol.-% (Krume) und <5 Vol.-% (Unterboden) und einem kf-Wert <10 cmd^{-1} .

Die Flächen wurden nach ihrer Druckbelastbarkeit in drei Gruppen eingeteilt; Flächen mit hoher Druckbelastbarkeit und Flächen mit geringer Druckbelastbarkeit wegen Kompressionsgefährdung und wegen geringem Scherwiderstand (Knetungsgefährdung). Aus jeder Gruppe wird ein Beispiel vorgestellt, bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren ein weiteres.

Tab. 1: Standorte und Bodenbearbeitung

Bodenbearbeitungs- verfahren	Bodentyp	Bodenart	Ausgangs- material
Grubber bis 15 cm Tiefe und bedarfsweiser Pflugeinsatz bis 25 cm Tiefe	Vega	Ut4	Akkumulation
	Schwarzerde	Lt2	Keuper
	Pseudogley	Uls	Schiefer
	Braunerde	Uls	Schiefer
	Gley	Tu2	Keuper
	Rendzina	Tu2	Keuper
	Rendzina	Tu3	Muschelkalk
Permanent Grubber bis 15 cm Tiefe	Schwarzerde (1994-2009)	Lu	Löß
	Braunerde	Sl4	Buntsandstein
	Pseudogley	Slu	Buntsandstein

2. Ergebnisse zur Gefügeentwicklung bei Bodenbearbeitung mit bedarfsweisem Pflügen

Die gefügestabilen Böden verdichteten sich in den pfluglosen Perioden. Die nicht mehr bearbeitete Krume reduzierte das Volumen weiter Grobporen (Abb. 1, Abschnitt 1993 bis 1995) und die Durchlässigkeit des Porensystems (Abb. 2). In unterschiedlicher Ausprägung setzte eine Gefügeumbildung ein vom krümelig-bröckeligen zu zunächst einem plattigen, danach einem polyedrischen Gefüge. Die Umbildung ist am Profil zu sehen und durch Veränderungen der Aggregatdichte auch nachgewiesen, wird aber hier nicht dargestellt. Trotz der Gefügeumbildung trat keine Schadverdichtung ein.

Das Pflügen (1996; 1997; 1998; 1999; 2003; 2005; 2009) lockerte das Gefüge der Krume wieder auf. Im Kurvenverlauf für die Schicht 15-30 cm folgen der Lockerung ein steiler Anstieg des Grobporenvolumens und der Durchlässigkeit. In den pfluglosen Perioden (2000-2003 und 2005-2009) nehmen beide Eigenschaften deutlich ab, es blieb aber immer ein ausreichend funktionierendes Grobporensystem erhalten. Der Grund dafür ist der Aufbau eines stabilen Gefüges durch natürliche Krümelbildung und Setzung. Die Trendlinie für die Entwick-

lung der Luftkapazität in der unteren Krume verläuft steigend, ist aber nicht signifikant. Das Gefüge der tieferen Schichten (Krumenbasis und Unterboden) wurde geringfügig verbessert.

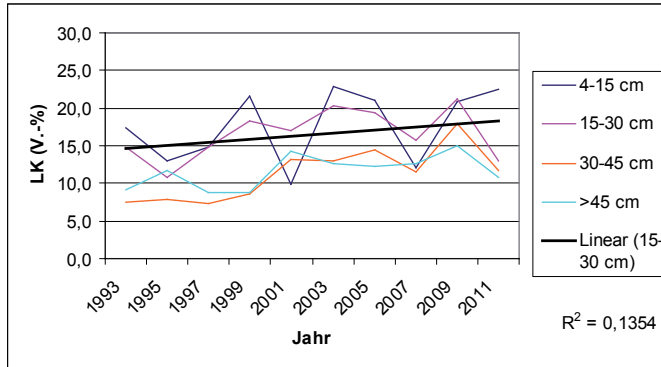


Abb. 1: Beispiel für die Gefügeentwicklung (Luftkapazität) eines gefügestabilen Bodens (Braunerde aus Schiefer)

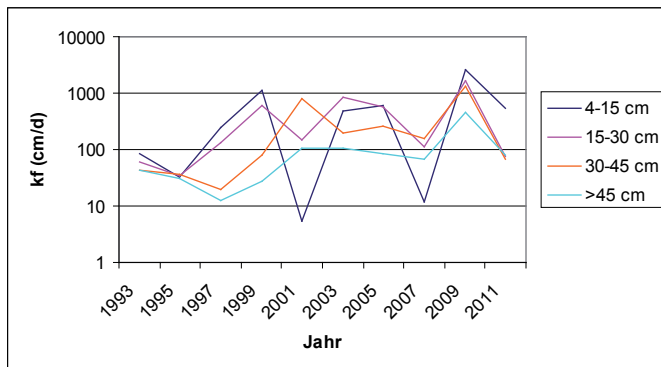


Abb. 2: Beispiel für die Gefügeentwicklung (Durchlässigkeit) eines schluffreichen gefügestabilen Bodens (Braunerde aus Schiefer)

Die Krume der knetungsgefährdeten Böden (das sind die tonreichen, während der Frühjahrsarbeiten ggf. weichplastischen Böden) verliert bei Verzicht auf Lockerung in kurzer Zeit ihre Durchlässigkeit. Zwar können Schrumpfrisse zeitweise Verbindungen zum Unterboden schaffen, nur ist dann der Bodenwassergehalt nicht mehr pflanzenverfügbar und beschränkt gemeinsam mit der Festigkeit des geschrumpften Bodenblockes das Wurzeltiefenwachstum.

Die Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Durchlässigkeit auf einer Tonmergelrendzina. Die Fläche wurde 1993, 1994, 1995, 1996, 2001, 2004, 2005, 2006, 2008 und 2009 gepflügt. Auf die pfluglose Periode zwischen 1997 bis 2003 reagierte die Durchlässigkeit mit steilem Rückgang bis zum Schadbereich und verblieb auf diesem Niveau bis zur nächsten krumentiefen Lockerung. Die Ursache der Gefügeschädigung ist die knetende Beanspruchung des Bodens durch sich horizontal und tangential ausbreitende Spannungen (siehe zwiebelartige Spannungsverteilung im Boden).

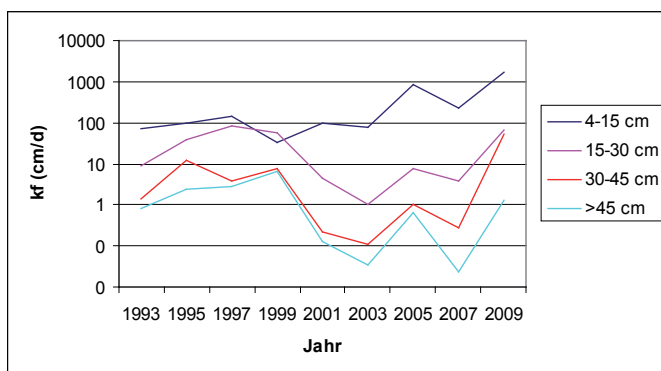


Abb.3: Entwicklung der Durchlässigkeit einer bedarfsweise gepflügten Tonmergelrendzina mit pflugloser Periode zwischen 1999 und 2003

3. Ergebnisse zur Gefügentwicklung bei permanent pflugloser Bodenbearbeitung

Auf den gefügestabilen Böden begann mit dem Verzicht auf das Pflügen ab 1994 die Verdichtung der nicht mehr gelockerten Krume. Der Grobporenanteil (Abb. 4) nahm bis zu einem ersten Minimum 1998 ab, um dann auf einem mit über 10 Vol.-% ausreichendem Niveau zu bleiben. Der Boden hatte einen dem Druckniveau entsprechenden Konsolidierungszustand erreicht. Im Jahr 2008 wurde wieder gepflügt. Die Luftkapazität stieg daraufhin deutlich an, sank aber in der folgenden pfluglosen Periode etwa auf das Niveau vor dem Pflügen ab. Die Durchlässigkeit (Abb. 5) folgte dem Rückgang, zeigte jedoch deutlichere Schwankungen.

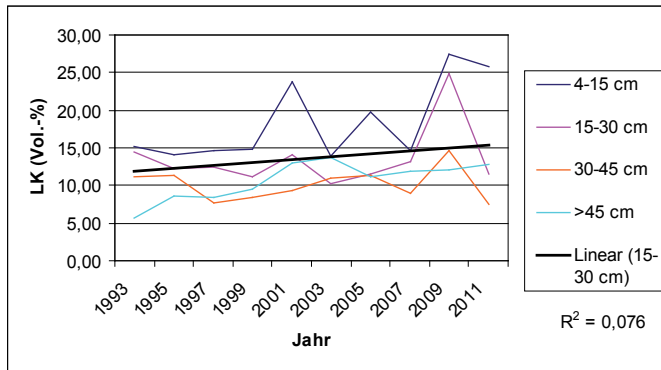


Abb. 4: Beispiel für die Gefügeentwicklung (Luftkapazität) eines gefügestabilen Bodens (Schwarzerde) bei pflugloser Bodenbearbeitung

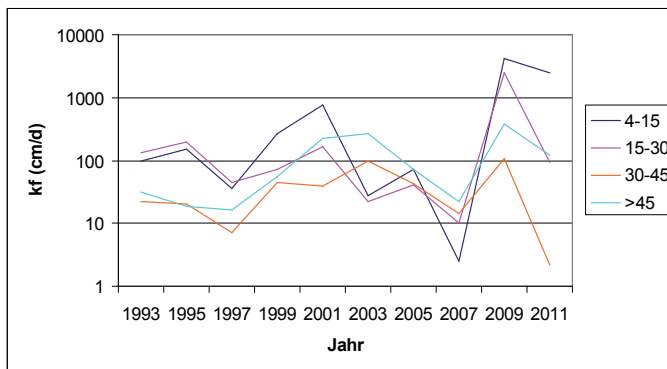


Abb. 5: Beispiel für die Gefügeentwicklung (Durchlässigkeit) eines gefügestabilen Bodens (Schwarzerde) bei pflugloser Bodenbearbeitung

Bei den gefügestabilen kompressionsgefährdeten Böden wurde die untere Krume dauerhaft verdichtet. Sowohl Luftkapazität (Abb. 6) als auch Durchlässigkeit (Abb. 7) verringerten sich bis zur Schadverdichtung des Gefüges. Zeitweise traten zwar Verbesserungen ein, verursacht von Wurzelröhren nach Tiefwurzeln, wahrscheinlich auch durch Frosteinwirkung. Diese blieben aber nicht erhalten.

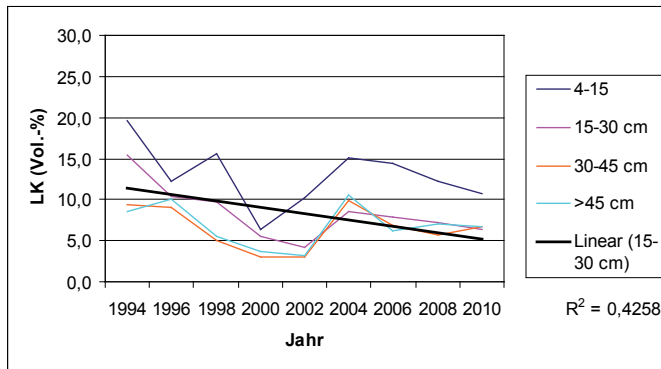


Abb. 6: Beispiel für die Gefügeentwicklung (Durchlässigkeit) eines kompressionsgefährdeten Bodens (Braunerde aus Buntsandstein) bei pflugloser Bodenbearbeitung

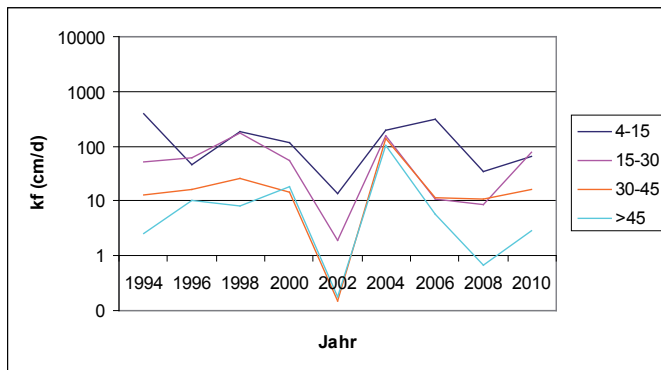


Abb. 7: Beispiel für die Gefügeentwicklung (Durchlässigkeit) eines kompressionsgefährdeten Bodens (Braunerde aus Buntsandstein) bei pflugloser Bodenbearbeitung

3. Schlussfolgerung

Deutliche Gefügeveränderungen sind während der 19 Jahre Dauerbeobachtung in der Krume eingetreten. Bei Verzicht auf die Lockerung wird die nicht mehr bearbeitete Schicht verdichtet mit Rückgang des Grobporenvolumens und der Durchlässigkeit. Bei entsprechender Bindigkeit kommt es schließlich zur Gefügeumbildung, aus dem Krümel/Bröckelgefüge wird zunächst ein plattiges, daraus ein polyedrisches (porenarme glattflächige und scharfkantige Aggregate) Gefüge. Der Verlauf der Verdichtung und die Intensität der Gefügeumbildung

hängen von der Druckfestigkeit des Gefüges und der Druckbelastung ab. In gefügestabilen Böden stellt sich nach drei bis vier Jahren ein Konsolidierungszustand ein. Restschumpfung bewirkt zwar noch eine Weiterverdichtung, jedoch verbleibt das Gefüge dieser Böden meist noch ausreichend durchlüft- und durchwurzelbar.

Gefügestabile Böden unterschreiten diesen Zustand rasch, bei kompressionsgefährdeten Böden reicht der Grobporenanteil nicht mehr aus, bei knetungsgefährdeten sinkt die Durchlässigkeit zu stark ab.

Die Veränderungen der Durchlässigkeit verlaufen sprunghafter. Die Ursachen sind Anlage, aber auch Verlust vertikaler kontinuierlicher Röhren. Diese Poren wirken sehr stark auf die Durchlässigkeit ein, schon einzelne Röhren reichen für eine deutliche Erhöhung aus. Sie sind aber gegenüber Scherspannungen nicht stabil. In gefügestabilen wie den sandigen und tonigen Böden werden sie rasch von Scherspannungen zerstört (in den tonreichen nur bei höherem Bodenwassergehalt) mit ebenso erheblichem Rückgang der Durchlässigkeit.

Die Lockerung mit dem Pflug ist selbst nach langjähriger pflugloser Bodenbearbeitung nicht nachteilig. Die Bearbeitung wendet die verdichtete Unterkrume nach oben und schafft auf bindigen Böden zunächst im ungünstigsten Fall ein Klumpengefüge mit sehr groben Klüften, die ein instabiles Grobporensystem bilden. Bleibt Zeit für das Wirken natürlicher Kräfte (Quellung, Schrumpfung, Frost), zerfallen die Klumpen in ihre polyedrischen, dichten Aggregate. Diese können weiter zerfallen, so dass schließlich aus den Zerfallsprodukten krümelige Aggregate aufgebaut werden können. Das resultierende Krümel-Bröckelgefüge und das natürliche Absetzen des Bodens entwickeln wieder eine ausreichende Stabilität, die auch die Bodenfunktionen ausreichend sichert.

Ist eine tiefe Lockerung ohne Pflug gleichwertig? Bei der Lockerung mit dem Grubber werden die Schichten aufgebrochen, behalten aber ihre Abfolge bei. Der Aufbruch schafft Hohlräume, die jedoch rasch wieder geschlossen werden, weil die dichten Polyeder unverändert an ihren glatten Oberflächen in die alte Position zurückgleiten. Die Vertikalporen werden ebenfalls zerstört, die Durchlässigkeit sinkt rasch unter das vor der Lockerung bestehende Niveau ab. Dieses Verhalten ist aus Tieflockerungsversuchen und Laboruntersuchungen bekannt. Wenn diese (das Prinzip der Konservierung durchbrechende) Lockerung angewandt wird, muss eine besonders schonende Bodenbelastung erfolgen. Stabilisierend wirkt ein tiefgehendes Wurzelsystem.

Veränderungen in den tieferen Schichten (Krumenbasis und krumennaher Unterboden) sind in allen Beispielen und den übrigen untersuchten Böden sichtbar, folgen jedoch keinem gesicherten Trend. (die Trends wurden berechnet, sind jedoch in den Abbildungen zugunsten der Übersichtlichkeit nicht dargestellt). Die Veränderungen führten auch nicht zur Schadverdichtung dieser Schichten. Daraus kann man schließen, dass das gegenwärtige Niveau des Bodendruckes in diesen Tiefen schadfrei abgestützt wird. Eine Zunahme der Belastung kann aber diese Stabilität übersteigen und auch den Unterboden verdichten.

Langzeitbetrachtung der N_{\min} -Gehalte von Thüringer Dauertestflächen nach der Hauptfruchternte - N-Salden und Bedeutung für die N-Düngung nachfolgender Winterungen

V. König, E. Höpfner, S. Wagner

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Einführung und Zielstellung

Im Auftrag des Thüringer Ministeriums für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz (TMLFUN) wird von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) ein N_{\min} -Monitoring durchgeführt (Herold et al., 2010). Es umfasst zwei Teilbereiche:

- N_{\min} -Dauertestflächen (DTF) inklusive betriebliche Testflächen (BTF) und Feldversuche mit Probenahme im Frühjahr
- N_{\min} -Vergleichsflächen in Wasserschutzgebieten (WSG) mit Probenahme im Herbst

Gegenstand dieser Auswertung sind die 331 N_{\min} -Dauertestflächen aus der Probenahme im Sommer nach der Ernte. Dabei bestand folgende Zielstellung:

- Prüfung des Zusammenhangs zwischen den fruchtartbezogenen N_{\min} -Gehalten nach der Ernte der Hauptfrucht und dem jeweiligen N-Saldo anhand 15-jähriger Zeitreihen
- Darstellung der häufig vorkommenden N_{\min} -Gehalte nach der Ernte in Abhängigkeit von der Hauptfrucht und der organischen Düngung
- Quantifizierung häufig vorkommender N_{\min} -Gehalte nach der Ernte als Startpotenzial für Winterungen und Zwischenfrüchte in Abhängigkeit von der Vorfrucht

Tab. 1: N_{min}-Monitoring in Thüringen

Probenahmezeitpunkt	N _{min} -Dauertestflächen (DTF)	Betriebliche N _{min} -Testflächen (BTF)	ausgew. Versuchsglieder von TLL-Feldversuchen	N _{min} -Vergleichsflächen in WSG
Anzahl Flächen				
Frühjahr Vegetationsbeginn bzw. vor der N-Düngung (Februar bis April)	331 (seit 1991)	652 (seit 2008)	61 (seit 2009)	-
Sommer nach der Ernte (August bis September)	331 (bis 2007)	-	-	-
Herbst vor Wintereintritt (November)	331 (seit 1990)	-	-	326 (seit 1990)

2. Methodik

Die Probenahme und Untersuchung der N_{min}-Proben erfolgte nach einheitlichen methodischen Grundsätzen. Die N_{min}-Dauertestflächen wurden im Jahre 1991 auf normal bewirtschafteten Praxisschlägen angelegt, indem eine circa fünf Hektar große repräsentative Teilfläche des Schlages ausgewählt, vermessen und mittels Fixpunkten markiert und später georeferenziert wurde. Die Probenentnahme erfolgt auf der fixen Probenahmefläche immer durch den gleichen Probenehmer und auf der gleichen Beganglinie. 15 bis 20 Einstiche waren auf der Beganglinie gleichmäßig zu verteilen.

Die Standard-Probenahmetiefe beträgt 0 bis 60 cm, unterteilt in die Tiefenbereiche 0 bis 30 cm (Oberboden) und 31 bis 60 cm (Unterboden). Auf flachgründigen Standorten ist in begründeten Fällen eine Reduzierung der Unterbodenprobe in 5-cm- bzw. 10-cm-Schritten vorgenommen worden. Die Einzelproben (Einstiche) wurden getrennt nach Ober- und Unterboden gesammelt und gut durchmischt. Die so gebildeten Sammelproben waren gleichzeitig die Endproben (circa 500 g).

Die Untersuchung aller Proben erfolgte nach einheitlicher Analysenmethode (VDLUFA-Methode). Der N_{min}-Gehalt (Summe aus NO₃-N und NH₄-N aus beiden Tiefen) wurde in der feuchten Probe bestimmt (Extraktion mit 0,0125 mol/L Calciumchloridlösung). Der Steingehalt ist durch Anrechnung des Volumenanteils berücksichtigt. Die Auswertung erfolgte als N_{min} in kg/ha.

Damit stand eine Datenmenge von 4 939 Sätzen zur Verfügung. Auf dieser Grundlage wurden die N-Salden aus N-Zufuhr und N-Entzug berechnet.

3. Ausgewählte Ergebnisse

3.1 Zusammenhang zwischen N_{min}-Gehalten nach der Ernte und N-Salden

Ein Schwerpunkt der Auswertung war die Bewertung der N-Salden. Die Differenzierung nach Fruchtarten ergab erwartungsgemäß deutliche Unterschiede. In Abbildung 1 sind die mittleren N-Salden (Medianwerte) nach Größe sortiert dargestellt. Erwartungsgemäß hat der auf ökologisch bewirtschafteten Flächen erzeugte Dinkel den niedrigsten N-Saldo. Weitgehend ausgeglichen sind die Salden bei Sommerweizen, Hafer und Winterroggen. Hohe N-Überhänge resultierten aus dem Anbau von Rüben, Raps und vor allem Gemüse.

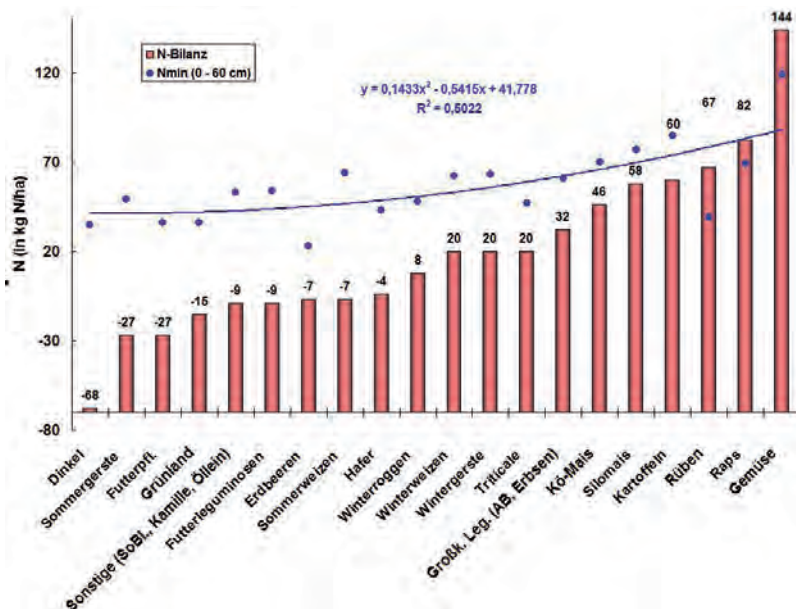


Abb. 1: Differenziertheit der N_{min}-Gehalte nach der Ernte sowie der N_{min}-Salden in Abhängigkeit von den Fruchtarten

Weiterhin enthält Abbildung 1 die mittleren N_{\min} -Gehalte aus der Probenahme nach der Ernte. Es besteht ein schwacher Zusammenhang zu den N-Salden (Abb. 2). Ansteigende N-Salden sind mit dem Trend zunehmender N_{\min} -Gehalte verbunden. Allerdings spiegeln sich die N-Salden nicht in analoger Weise in den N_{\min} -Gehalten wider. Da der unbewachsene Boden nie völlig von N_{\min} entleert ist, haben die Fruchtarten mit negativem Saldo N_{\min} -Gehalte von 20-50 kg/ha.

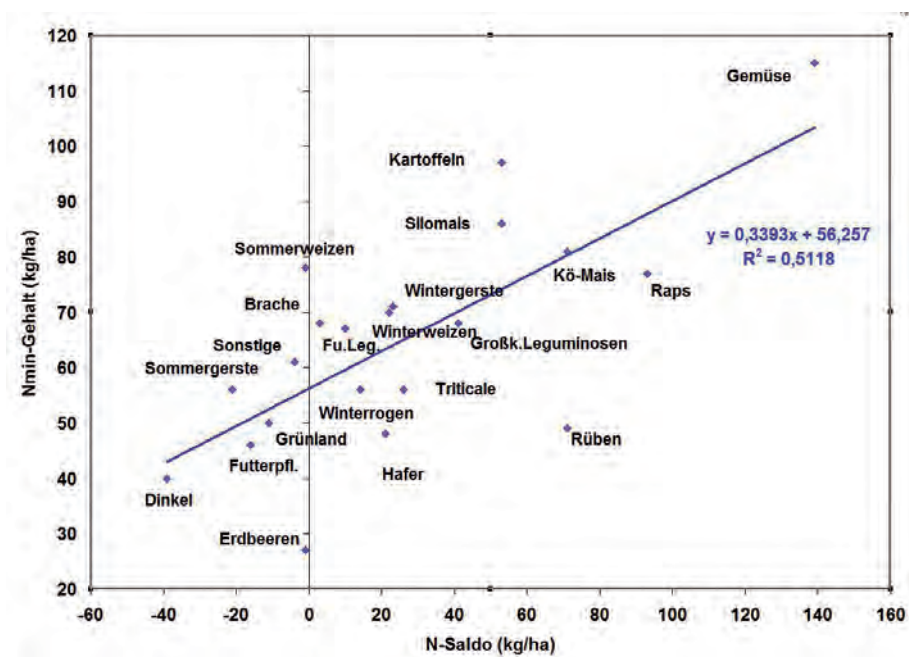


Abb. 2: Zusammenhang zwischen N-Saldo und N_{\min} -Gehalten in Abhängigkeit von den Fruchtarten

N-Salden von mehr als 50 kg/ha hatten N_{\min} -Gehalte von 70-100 kg/ha zur Folge. Die Einzelwerte im positiv korrelierte Zusammenhang zwischen den mittleren N-Salden und den mittleren N_{\min} -Gehalten weisen eine große Streuung auf (Abb. 2). Dennoch kann aus diesem Sachverhalt abgeleitet werden, dass nach den Fruchtarten Gemüse, Mais, Kartoffeln und Raps bewirtschaftungsbedingt erhöhte N_{\min} -Gehalte zu erwarten sind.

3.2 Tiefenverteilung der N_{\min} -Gehalte nach der Ernte

Anhand des umfangreichen Datenfonds von 4 939 Datensätzen ist geprüft worden, wie die Verteilung der N_{\min} -Gehalte auf die Bodenschichten 0-30 cm und 31-60 cm ist. Bei Gegenüberstellung der N_{\min} -Gehalte in 0-60 cm und 0-30 cm Bodentiefe ist anhand der Punktwolke ein Trend erkennbar, wobei die Autokorrelation zu beachten ist (Abb. 3). Dennoch kann aus dem Zusammenhang abgeleitet werden, dass nach der Ernte ca. 60 % der in 0-60 cm Bodentiefe vorhandenen N_{\min} -Menge in der oberen Bodenschicht von 0-30 cm enthalten ist. Dieses N_{\min} -Potenzial steht damit den kurzfristig nach der Ernte gesäten Winterungen (Raps, Winterroggen) und Zwischenfrüchten wurzelnah zur Verfügung.

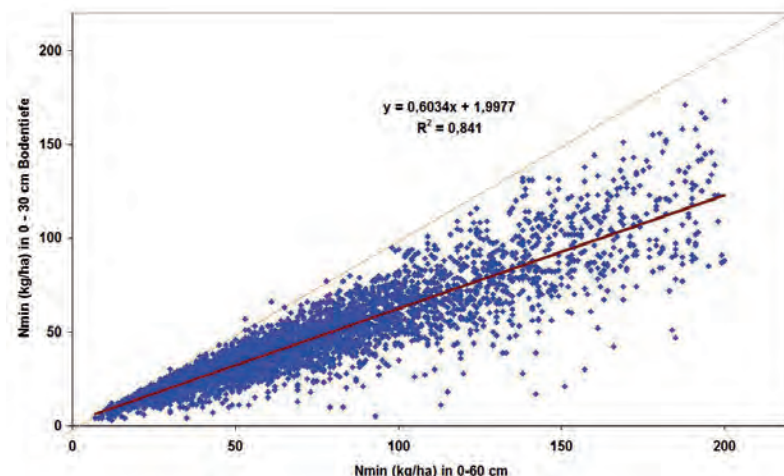


Abb.3: Zusammenhang zwischen N_{\min} -Gehalten in 0-30 cm und 0-60 cm Bodentiefe (n=4 939)

3.3 Fruchtartendifferenziertes N_{\min} -Potenzial nach der Ernte

Die mittleren N_{\min} -Gehalte in Abbildung 1 dokumentieren die differenzierten N_{\min} -Gehaltsniveaus der Fruchtarten nach der Ernte. In diesem Zusammenhang ist jedoch auch von Bedeutung, in welchen Gehaltsbereichen sich die N_{\min} -Gehalte insbesondere in der Bodenschicht 0-30 cm konzentrieren. Diese Bodenschicht wird von den Winterungen und Zwischenfrüchten noch im Herbst durchwurzelt. Der dort enthaltene leichtlösliche Bodenstickstoff steht demzufolge für die N-Bedarfsdeckung zur Verfügung.

In Abbildung 4 ist erkennbar, dass die Spannweite der N_{\min} -Gehalte (10. bis 90. Perzentil) 10-100 kg/ha beträgt. Nach Rüben, Futterpflanzen (Feld- u. Klee-gras), Leguminosen und Getreide wurden im Bereich des 25. bis 75. Perzents auf den Flächen ohne organische Düngung N_{\min} -Gehalte von 15 bis 50 kg/ha analysiert. Mit 30 bis 80 kg/ha waren die N_{\min} -Gehalte der Raps-, Silomais-, Kartoffel- und Gemüseflächen beachtlich höher.

Aus Abbildung 4 geht weiterhin hervor, dass die Nutzflächen mit organischer Düngung zur Hauptfrucht in der Regel höhere N_{\min} -Gehaltsniveaus aufweisen. Das ist insbesondere anhand des 25. bis 75. Perzents der N_{\min} -Gehalte dieser Flächen ersichtlich. Zum Vergleich ist in Abb. 4 der Bereich des N-Bedarfs von Wintergetreide im Herbst (10-50 kg/ha) markiert. Bezugnehmend darauf ist festzustellen, dass alle Fruchtarten bereits in 0-30 cm Bodentiefe genügend N_{\min} nach der Ernte hinterlassen, um den N-Bedarf des Wintergetreides und der Zwischenfrüchte zu decken.

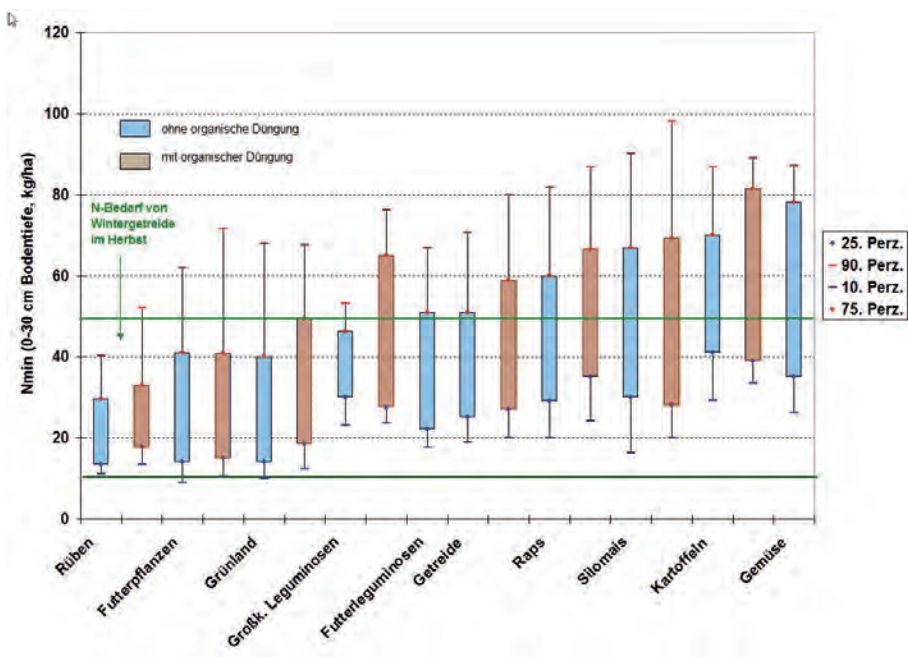


Abb. 4: Streuungsmaße der N_{\min} -Gehalte nach der Ernte in 0-30 cm Bodentiefe

Aus diesen Ergebnissen resultiert, dass in der Bodenschicht 0-60 cm ein höheres N_{\min} -Potenzial vorhanden ist. Die N_{\min} -Gehalte in 0 bis 60 cm Bodentiefe haben nach der Ernte im hauptsächlichen Gehaltsbereich des 10. bis 90. Perzentsils eine Größenordnung von 16 bis 170 kg/ha (Tab. 2). Die höchsten N_{\min} -Gehalte sind nach der Ernte auf Raps-, Silomais-, Kartoffel- und Gemüseschlägen festzustellen. Die Spannweite der Gehalte resultiert aus den unterschiedlichen N-Verwertungsbedingungen der einzelnen Jahre. Eine hohe N-Bereitstellung aus dem Bodenvorrat im Spätsommer ist besonders bei vorangegangener Vorsummer- bzw. Sommertrockenheit zu erwarten, die zu einer schlechten N-Verwertung vor allem von N-Spätgaben durch die Vorfrucht geführt hat. Demzufolge ist nach der Ernte der Hauptfrüchte mit beachtlichen N_{\min} -Restmengen bis in 60 cm Bodentiefe zu rechnen. Davon kann insbesondere der Winterraps profitieren, dessen Wurzeln diesen Tiefenbereich unter günstigen Wachstumsbedingungen im Herbst erreichen können. Der N-Bedarf bei Winterraps ist wesentlich höher als bei Wintergetreide. Für eine normale Entwicklung im Herbst benötigt der Raps 50 bis 80 kg N/ha (TLL, 2007).

Tab. 2: Fruchtartenbezogene Spannweiten der N_{\min} -Gehalte in 0-30 cm bzw. 0-60 cm Bodentiefe

<i>Fruchtarten</i>	Anzahl Werte	N_{\min} 0 bis 30 cm (kg/ha)		N_{\min} 0 bis 60 cm (kg/ha)	
		10. Perz.	90. Perz.	10. Perz.	90. Perz.
Rüben	95	11	52	23	92
Futterpflanzen	269	9	72	16	100
Grünland	253	10	68	17	108
Großk. Legu- minosen	135	23	76	35	146
Futterlegumi- nosen	47	18	67	32	130
Getreide	2943	19	80	30	124
Raps	694	20	87	33	134
Silomais	414	16	98	33	162
Kartoffeln	72	29	89	48	147
Gemüse	17	26	87	56	170

4. Schlussfolgerungen

Nach der Ernte der Hauptfrüchte wurden auf Dauertestflächen in einem 15-jährigen Untersuchungszeitraum in 0 bis 60 cm Bodentiefe N_{\min} -Gehalte von 16 bis 170 kg/ha festgestellt, die fruchtartenabhängig und damit bewirtschaftungsbedingt sind. Die N_{\min} -Menge befindet sich zu etwa 60 % in der obersten 30-cm-Bodenschicht und ist deshalb für die nachfolgenden Winterungen oder Zwischenfrüchte gut verfügbar. Der für die normale Vorwinterentwicklung des Wintergetreides erforderliche Stickstoff (10 bis 50 kg/ha) ist auch bei den Hauptfrüchten mit geringeren N_{\min} -gehalten nach der Ernte (Getreide, Feldgras) in 0 bis 30 cm Bodentiefe vorhanden.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass zusätzliche N_{\min} -Mengen aus der N-Mineralisierung im Herbst zu erwarten sind. Es besteht deshalb in der Regel auch bei Winterraps kein Düngebedarf. Im Zweifelsfall ist eine N_{\min} -Bodenuntersuchung vor der Düngungsentscheidung zweckmäßig.

5. Literatur

Herold et al., 2010: Untersuchung von N_{\min} -Gehalt und N-Bilanz in Fruchtfolgen im Rahmen des N_{\min} -Monitorings auf Dauertestflächen. TLL, Untersuchungsbericht, 74, www.tll.de/ainfo.

TLL, 2007: Düngung in Thüringen nach „Guter fachlicher Praxis“. TLL-Schriftenreihe H. 7, 52-54, www.tll.de/ainfo.

Entwicklung der Nährstoffversorgung von landwirtschaftlich genutzten Böden Baden-Württembergs in den letzten 16 Jahren

H. Hartwig, W. Übelhör

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe

1. Einleitung

In Baden-Württemberg ist das Landwirtschaftliche Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg für die Bodendatenbank „Grundnährstoffe“ zuständig. In dieser Datenbank werden unter anderem die Untersuchungsergebnisse der wichtigsten Bodenparameter (pH-Wert, Phosphor, Kalium und Magnesium) festgehalten. Im Rahmen der Laborzulassung von privaten Untersuchungslabors für Bodengrunduntersuchungen hat das LTZ in den Jahren von 1995 bis 2010 mehr als 1,3 Mio. Datensätze angesammelt. Diese Daten zeigen nicht nur den Nährstoffzustand der Böden auf, sondern lassen in dem Zeitraum von 16 Jahren auch Aussagen über die zeitliche Entwicklung zu.

2. Grundlage

Für die Darstellung von Nährstoffänderungen im Laufe der Zeit kann die relative Häufigkeit des Auftretens der einzelnen Nährstoffklassen in jedem Jahr verwendet werden. Der Einfluss einer Änderung der Klasseneinteilung (z. B. Phosphor 2010) wird dadurch ausgeschaltet, dass diese aufgrund der vorhandenen Messwerte immer nach einem einheitlichen (aktuellen) Schema erfolgt. Die Auswirkung einer Änderung der Untersuchungsmethode bei Phosphor im Jahr 2001, die eine Erhöhung der Messwerte bei carbonatreichen Böden zur Folge hatte, kann auf diese Art leider nicht eliminiert werden. Diese Systemänderung ist bei der Betrachtung der Ergebnisse erkennbar und zu berücksichtigen.

Aufgrund der hohen Probenanzahl (Abb. 1) ist eine Auswertung für die Nutzungen Acker und Grünland über ganz Baden-Württemberg möglich. In den letzten Jahren lag die Anzahl Proben bei der Nutzung Acker im Schnitt bei etwa 45 000 und beim Grünland bei etwa 17 000 pro Jahr. Bei einer stärkeren Regionalisie-

Die Untersuchung muss immer eine Mindeststichprobenanzahl vorhanden sein, um sichere und stabile Ergebnisse zu erhalten. Ziel ist es, möglichst verlässliche Aussagen über die Versorgungssituation der Böden treffen zu können.

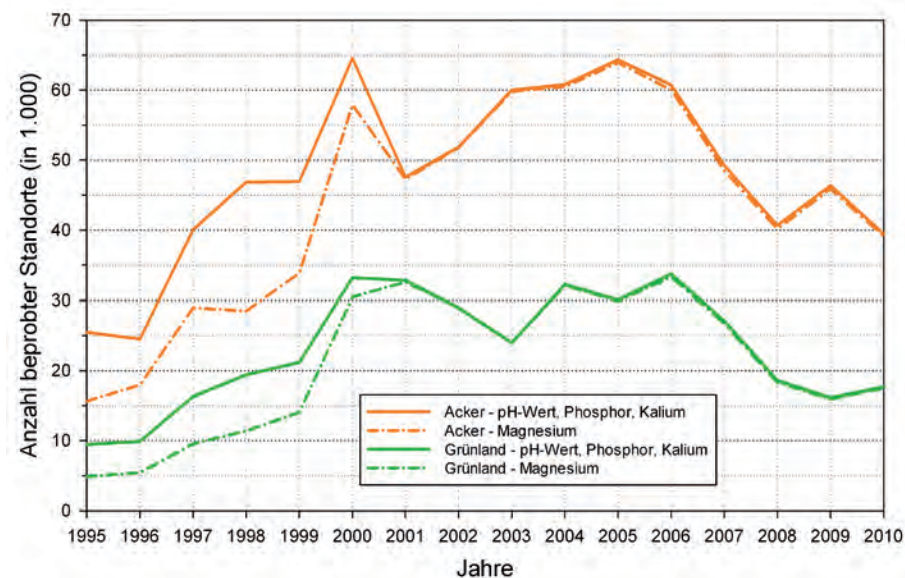


Abb. 1: Anzahl der beprobten Standorte und untersuchten Parameter der Nutzungen Acker und Grünland in den Jahren 1995-2010

3. Ergebnisse

Die Gehaltsklassenverteilung beim pH-Wert zeigt vor allem beim Grünland über die Jahre einen stark schwankenden Verlauf, der keinen klaren Trend erkennen lässt. Die Tendenz der letzten Jahre zu höheren Gehaltsklassen wurde 2010 wieder korrigiert. Beim Acker ist die Verteilung der Klassen über die Jahre hinweg relativ ähnlich und die Klasse C (anzustreben) hat im Jahr 2010 mit 30-40 % den größten Anteil. Beim Grünland ist die Klasse C mit 10-15 % recht selten vorhanden. Allerdings entfallen auf die Klassen D und E um die 50 % der Böden, so dass man nicht von einer Unterversorgung sprechen kann.

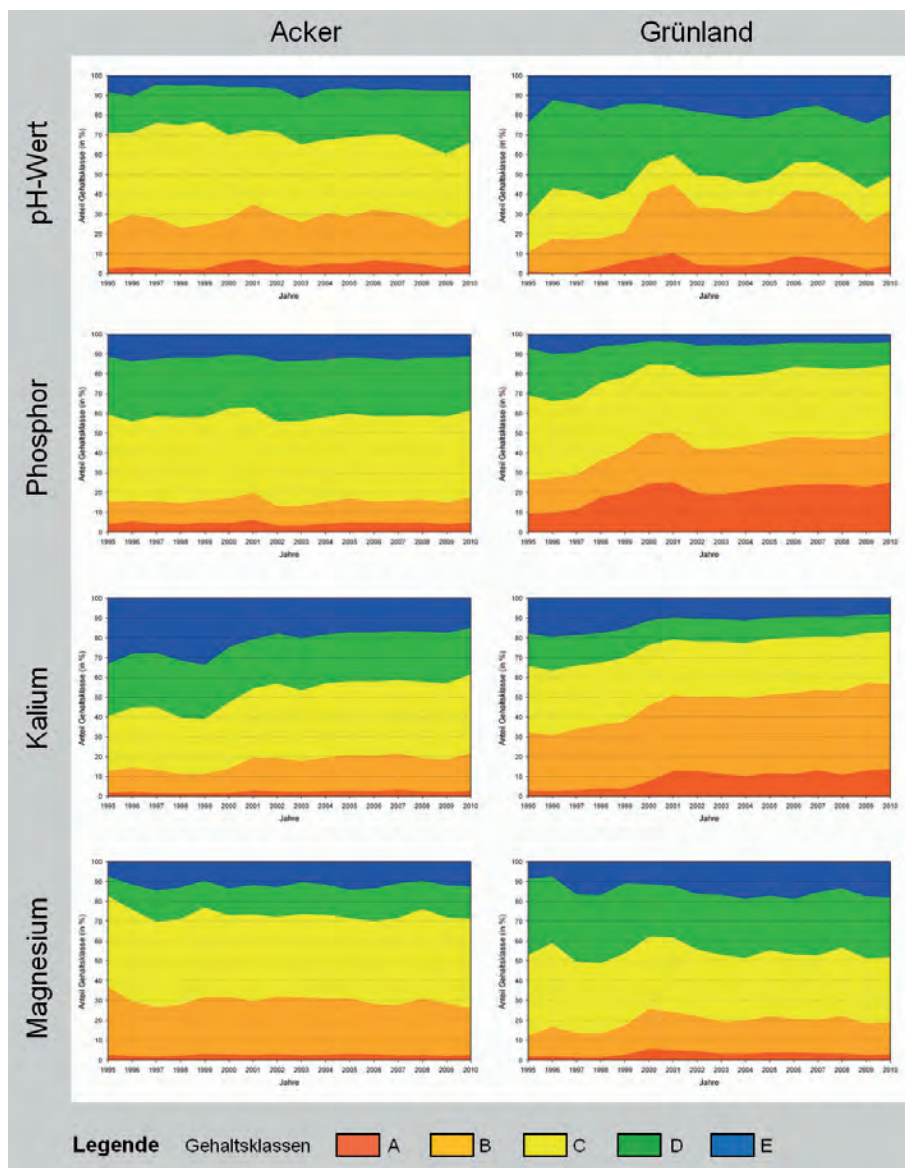


Abb.2: Entwicklung der Gehaltsklassenverteilung für die Nutzungen Acker und Grünland bei den Parametern pH-Wert, Phosphor, Kalium und Magnesium in den Jahren 1995-2010

Bei dem Nährstoff Phosphor zeigt sich bei den Ackerböden ein nahezu unverändertes Bild über die gesamten 16 Jahre. Die Verteilung ist sehr gut mit einem

Anteil von ca. 40 % in Klasse C, während die Klassen A und B zusammen nur ca. 15 % ausmachen. Beim Grünland hingegen ist eine deutliche Verschiebung der Anteile von Klasse E hin zu Klasse A zu verzeichnen. Hier haben die Klassen A und B im Jahr 2010 einen gemeinsamen Anteil von 50 % mit steigender Tendenz, auf Kosten der Anteile von Klasse C und D. Bei Grünland wird die Versorgung mit Phosphor also im Laufe der Jahre deutlich schlechter.

Die Versorgungssituation beim Kalium zeigt einen ähnlichen Verlauf wie beim Phosphor. Auch hier ist sowohl bei den Acker- wie auch bei den Grünlandböden eine starke Tendenz hin zu einem größeren Anteil von unterversorgten Böden zu erkennen. Beim Acker ist der Verlauf nicht ganz so gleichmäßig wie beim Grünland. Zudem waren 1995 die Ackerböden zu 60 % gut bzw. überversorgt. Daher sind die Ackerböden im Jahr 2010 eher ausgeglichen versorgt, während die Grünlandböden zu fast 60 % in Klasse A und B eingeteilt sind. Klasse C hat hier nur noch einen Anteil von etwas über 20 %.

Die Versorgung der Böden mit Magnesium zeigt einen anderen Verlauf als beim Phosphor und beim Kalium. Es ist wie beim pH-Wert über die Jahre keine klare Tendenz zu erkennen. Beim Acker sind nur sehr geringe, beim Grünland stärkere Schwankungen in den 16 Jahren zu verzeichnen. Die Versorgung der Äcker ist relativ gut mit einem konstant hohen Anteil in der Klasse C (über 40 %). Beim Grünland ist dagegen der Anteil der überversorgten Böden mit bis zu 50 % (Klasse D + E) relativ hoch.

3. Zusammenfassung

Die Grafiken zeigen deutlich die Entwicklung der Nährstoffversorgung an Hand der Gehaltsklassenanteile in den letzten 16 Jahren. Bei den Ackerböden sind relativ wenig Veränderungen zu erkennen. Nur beim Kalium ist der Anteil der überversorgten Böden stärker zurückgegangen.

Ein anderes Bild zeigt der Versorgungszustand der Grünlandböden. Hier ist ein kontinuierlich hoher Anteil der Klassen D und E sowohl beim pH-Wert als auch beim Magnesium zu verzeichnen. Bei den Nährstoffen Phosphor und Kalium zeigt die Verteilung der Gehaltsklassen über die Jahre hinweg eine Verschiebung hin zu den niedrigen Klassen (A und B). Besonders stark ist diese Tendenz beim Kalium zu erkennen, wo die Nährstoffversorgung kontinuierlich und deutlich zurückgeht.

Mit welcher Methode der N-Bilanzierung können Auswirkungen einer Spezialisierung von landwirtschaftlichen Betriebssystemen am besten gezeigt werden?

H. Sommer¹, A. Schmid-Eisert³, K. Franz³, G. Leithold²

¹Institut für LifeAgriScience, Frankenberg, ²Professur für organischen Landbau, Universität Gießen, ³Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof, Villmar-Aumeynau

1. Einleitung und Problemstellung

Im Rahmen einer 14jährigen Fallstudie zur Steigerung der Produktionsintensität im ökologischen Landbau am Beispiel des LVB Gladbacherhof (Sommer 2010) wurde untersucht, welche Auswirkungen die Intensivierung der Milchviehherde auf die außenwirtschaftliche Situation hatte. In diesem Beitrag soll aufgezeigt werden, anhand welcher N-Bilanzierungsmethoden (Leithold 1991) diese Auswirkungen am besten analysiert und bewertet werden können.

2. Material und Methoden

Zur Auswertung kam die Mengenbuchhaltung des LVB Gladbacherhof. Zur ganzheitlichen betrieblichen Bilanzierung wurde das Modell REPRO verwendet (Hülsbergen 2000). Details sind Sommer (2010) zu entnehmen.

3. Ergebnisse

Der Stickstoffsaldo auf dem Ackerland, berechnet mit REPRO, ist im Untersuchungszeitraum von 1993-2006 von 25_{Standardmethode} | 44_{erweiterte Methode} kg N ha⁻¹ nach beiden Methoden auf ca. 80 kg N ha⁻¹ kontinuierlich angestiegen. Zurückführen ist dies auf die stetig gestiegene N-Einsatzmenge durch den wirtschaftseigenen Dünger. Insgesamt konnte auf dem Ackerland ein durchschnittlicher Zuwachs des N-Saldos um 4,96 kg pro Jahr nach der Standardmethode und 2,98 kg nach der erweiterten Methode ermittelt werden (Abb. 1 oben). Die N-Systemverwer-

tion des Ackerlandes war tendenziell abnehmend (Abb. 1 unten). Es zeigte sich ein stetiger Abfall der N-Verwertung von 79 % auf 46 % während des Untersuchungszeitraumes.

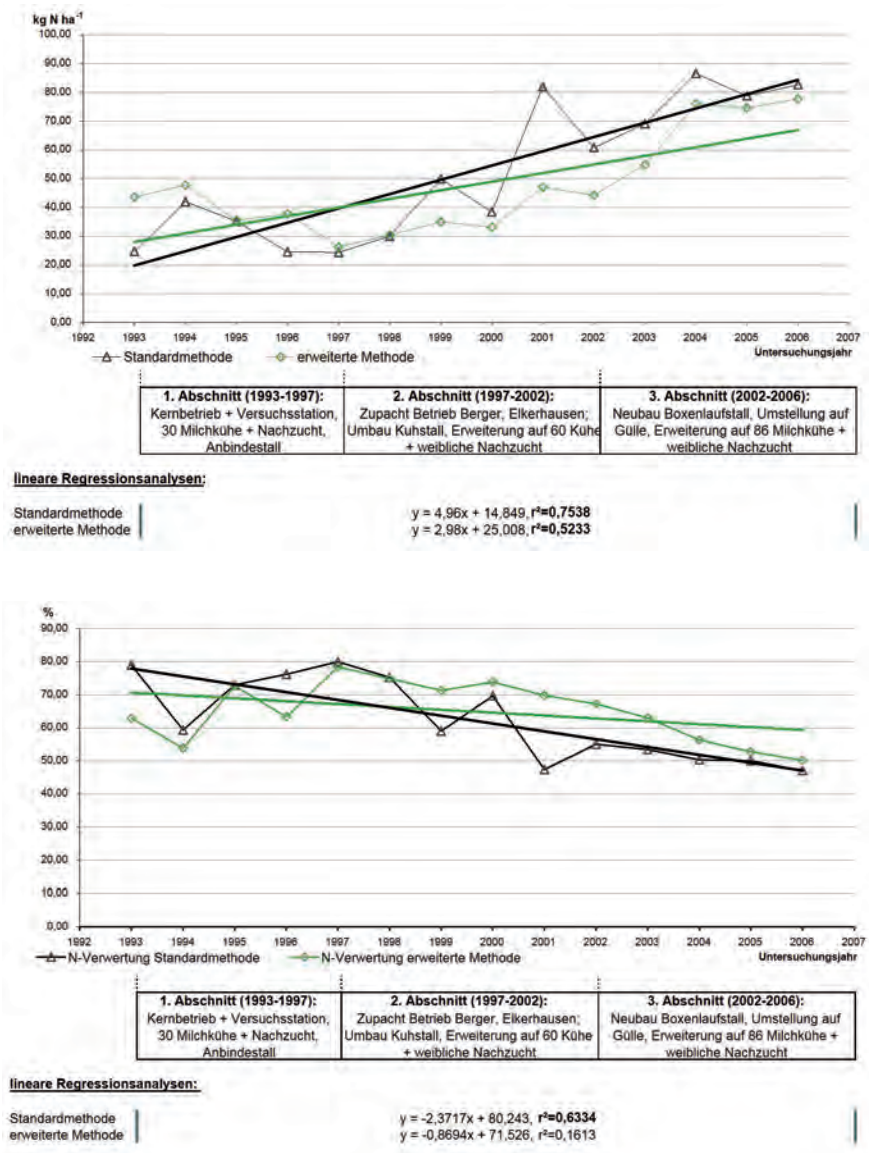


Abb. 1: Entwicklung der N-Salden (oben) und N-Verwertung (unten) auf dem Ackerland

Der Stickstoffsaldo auf den Nicht-Leguminosenflächen ist im Untersuchungszeitraum von 1993-2006 von ca. 80 kg N ha⁻¹ auf ca. 160 kg N ha⁻¹ kontinuierlich angestiegen. Während der ersten Hälfte des Untersuchungszeitraumes lag die Stickstoffverwertung zwischen 40 und 50 %, in der zweiten Hälfte der Untersuchung sank sie auf ein Niveau zwischen 30 und 40 % (Abb. 2). Damit lag die Stickstoffverwertung auf der Nicht-Leguminosenfläche insgesamt auf einem niedrigeren Niveau als die Verwertung auf der Ebene Ackerland.

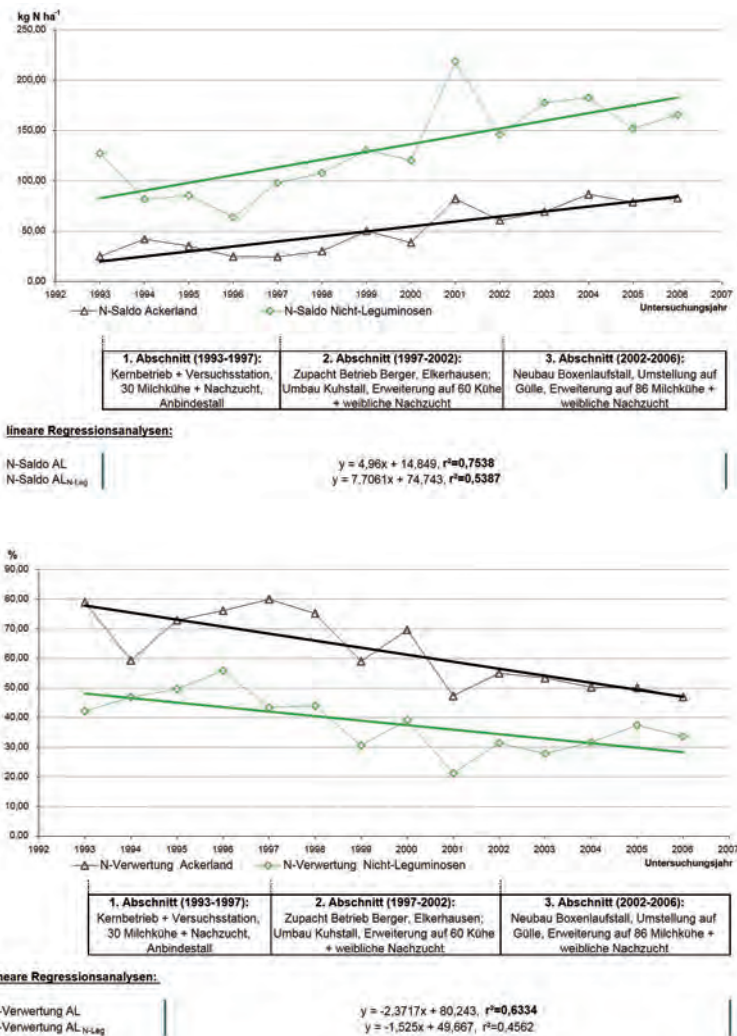


Abb.2: Vergleich der Entwicklung der N-Salden (oben) und N-Verwertung (unten) auf dem Ackerland und den Nicht-Leguminosenflächen

In allen drei Rotationsbereichen konnte ein Anstieg der N-Salden beobachtet werden. Dieser Zuwachs war für den Bereich „Elkerhausen“ mit 6,21 kg N ha⁻¹ a⁻¹ am stärksten zu verzeichnen, gefolgt vom Rotationsbereich „Versuchsstation“ mit 6,1 kg N ha⁻¹ a⁻¹ und schließlich von dem Rotationsbereich „Kernbetrieb“ mit 4,7 kg N ha⁻¹ a⁻¹. Bei der N-Verwertung innerhalb der Rotationsbereiche war von Jahr zu Jahr eine große Schwankung zu beobachten (Abb. 3).

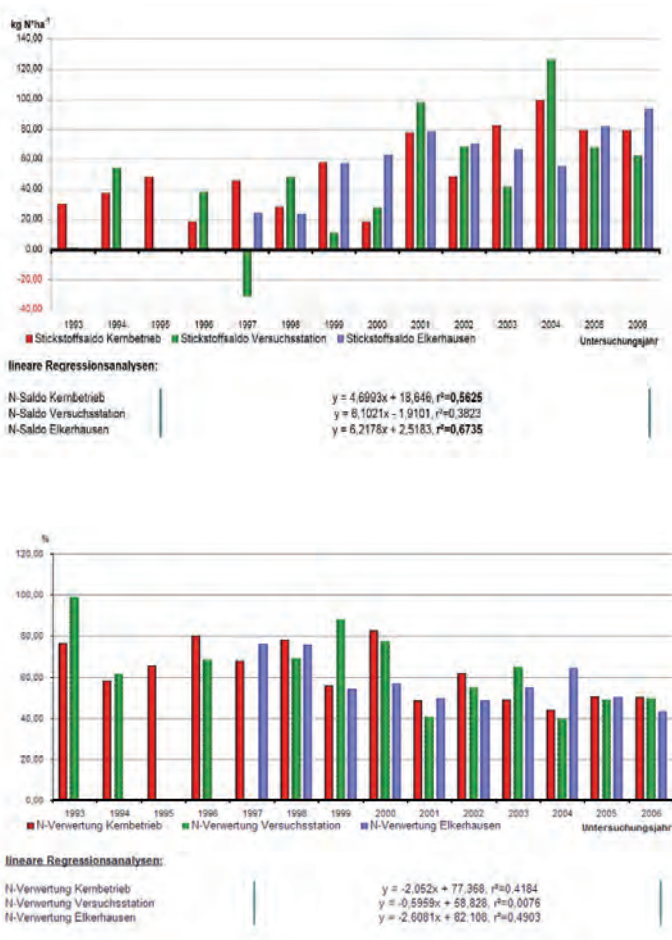


Abb. 3: Entwicklung der N-Salden (oben) und N-Verwertung (unten) innerhalb der Rotationsbereiche

Der Mittelwert der beobachteten N-Verwertung für den Rotationsbereich „Kernbetrieb“ über alle Untersuchungsjahre z. B. lag bei 61 %, das Minimum jedoch bei 44 % und das Maximum bei 82 % ($\sigma = 13,27$). Die mittlere N-Verwertung wurde für den Rotationsbereich „Versuchsstation“ mit 51 % ($\sigma = 27,72$) und für den Rotationsbereich „Elkerhausen“ mit 58 % ($\sigma = 10,74$) berechnet.

4. Diskussion und Schlußfolgerungen

Grundsätzlich zeigen alle verwendeten N-Bilanzierungsmodelle eine ähnliche Entwicklungstendenz der N-Salden auf dem Betrieb an. Die N-Verwertung ist immer von einem hohen (ca. 80%) auf ein niedriges (ca. 40-50 %) Niveau abgesunken. Zur Beurteilung der tendenziellen Entwicklung scheint also die Standard-N-Bilanzierung auf dem Ackerland ausreichend zu sein. Um die innerbetriebliche Differenziertheit aufzuzeigen ist es jedoch notwendig, den N-Saldo sowohl innerhalb einzelner Rotationsbereiche als auch auf den Nicht-Leguminosenflächen zu berechnen.

5. Literaturangaben

- Hülsbergen, K.-J., 2002: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habilitationsschrift. Shaker Verlag, Aachen.
- Leithold, G., 1991: Zur Herleitung der Gleichung der „horizontalen“ Stickstoffbilanz, Wiss. Z. Univ. Halle XXXX`91 M, H. 6, 139–145.
- Sommer, H., 2010: Untersuchungen zur Steigerung der Produktionsintensität im ökologischen Landbau am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.

Anbau der Sojabohne in klimatischen Grenzlagen und die Nutzung von Sojabohnenschrot als vegetables Düngemittel im ökologischen Gemüsebau

Th. Makary, R. Schulz, H. Bucher, T. Müller

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fg. Düngung mit Bodenchemie, Universität Hohenheim

1. Einleitung und Problemstellung

Im ökologischen Gemüsebau werden verbreitet kommerzielle organische Stickstoffdünger verwendet, um den kurzzeitig hohen Stickstoffbedarf der Kulturen zu decken, der insbesondere bei geringen Bodentemperaturen im zeitigen Frühjahr infolge unzureichender Mineralisation auftritt (Braun et al., 2001). Traditionell sind dies Dünger aus tierischen oder pflanzlichen Abfallprodukten wie Hornmehl oder Rizinusschrot, deren Herkunft allerdings in der Regel unklar ist. Durch den Kauf dieser Dünger wird zudem der innerbetriebliche Nährstoffkreislauf geöffnet. Dies kann vermieden werden, wenn auf den eigenen Betriebsflächen Körnerleguminosen angebaut und deren Schrote in den Folgejahren zur Düngung von Gemüsekulturen verwendet werden. Die Körnerschrote von Ackerbohnen und Lupinen wurden in der Vergangenheit bereits bezüglich der Düngeeigenschaften getestet (Müller und von Fragstein, 2006; Sabahi et al., 2009) und auf der Betriebsebene ökonomisch bewertet (Hummel et al., 2010).

Da aktuell auch in der ökologischen Landwirtschaft der Anbau von angepassten Sojabohnensorten auf klimatischen Grenzstandorten diskutiert wird, stellt sich die Frage des Einsatzes von Sojabohnenschrot als vegetables Düngemittel im ökologischen Gemüsebau. Folgende Arbeitshypothesen wurden überprüft:

1. Der ökologische Anbau der Sojabohne in klimatischen Grenzlagen ist möglich.
2. Sojabohnenschrot als vegetables Düngemittel wird auch im zeitigen Frühjahr rasch mineralisiert und zeigt damit eine gute N-Düngewirkung bei Salat.

Ziel der Arbeit war es, die genannten Hypothesen in Feldversuchen zu überprüfen.

2. Material und Methoden

Der Feldversuch zum Sojabohnenanbau wurde 2009 in Kleinhohenheim, dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsbetrieb der Universität Hohenheim, durchgeführt. Die Niederschlagsmenge auf dem Versuchsstandort beträgt im Jahresmittel 730 mm und die Jahresmitteltemperatur 9,9°C (Mittelwerte 1999-2009, Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim 2010). Der Bodentyp ist eine Parabraunerde aus Löss mit der Bodenart schluffiger Lehm bis lehmiger Ton im Oberboden (59-64 Bodenpunkte). Der pH-Wert liegt bei 6,1 und der Humusgehalt bei 2,0 %. Angebaut wurden die Sorten „Cardiff“, „Merlin“ und „Petrina“ (Reifegruppe sehr früh bzw. extrem früh). Der gesamte Versuch bestand aus drei Teilflächen mit jeweils drei Wiederholungen. Gemessen wurden Erträge und N-Gehalte der Sojabohnen. Die N-Gehalte wurden mit dem Faktor 5,7 multipliziert, um den Rohproteingehalt zu errechnen (Morr, 2006). Eine Teilfläche wurde 2010 für den Düngungsversuch zu Salat genutzt. Die Parzellen des vorjährigen Sojaanbaus wurden dazu in der Mitte geteilt, wobei eine Hälfte (grau) mit Sojabohnenschrot der entsprechenden Sorte des Vorjahres gedüngt wurde (130 kg Gesamt-N ha⁻¹), die andere nicht (Abb. 1). Die Düngedarfsprognose von 130 kg N berücksichtigt die N_{min}-Gehalte im Frühjahr (10 kg N ha⁻¹) und die Ertragserwartung. Gemessen wurden zur Zwischen- und Haupternte die Kopfgewichte, Erträge und N-Gehalte sowie die N_{min}-Gehalte im Boden, zur Haupternte zusätzlich die Gewichte der verkaufsfähigen Ware.

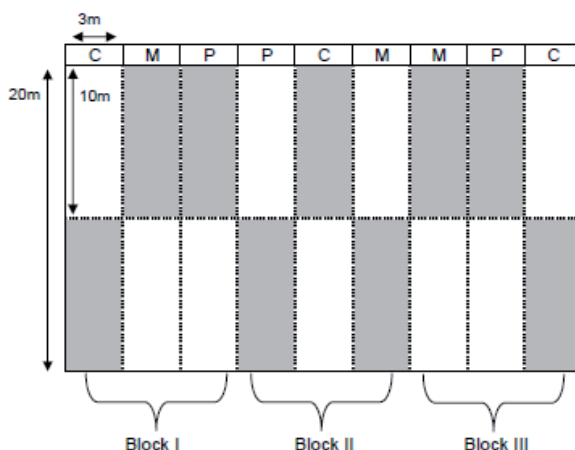


Abb. 1: Versuchsplan des Salatdüngungsversuch 2010 (C= „Cardiff“, M= „Merlin“, P=„Petrina“, graue Felder wurden gedüngt)

3. Ergebnisse Sojabohnenanbau 2009

3.1 Bohnenertrag

Der Durchschnittsertrag der Sojabohnen belief sich 2009 auf 38,3 dt TS ha⁻¹. Signifikante Sortenunterschiede bestanden nicht (Abb. 2).

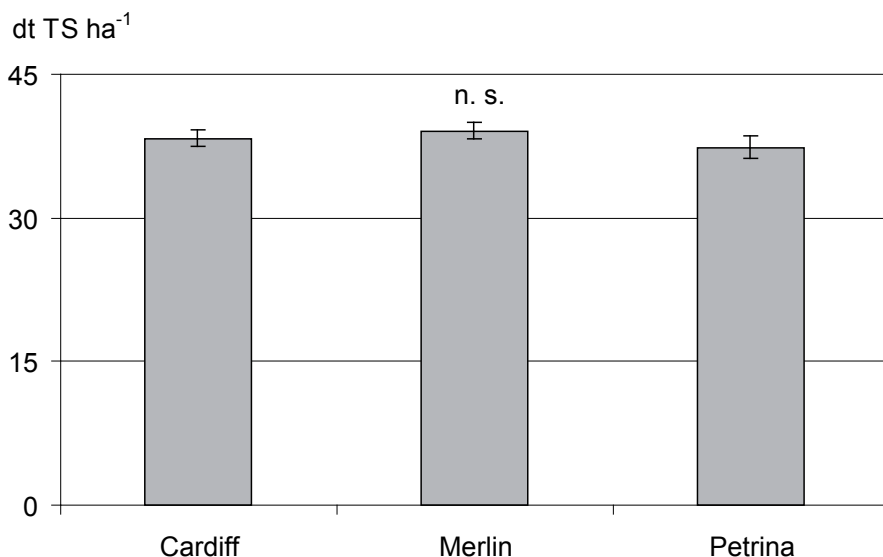


Abb. 2: Sojabohnenerträge der Sorten „Cardiff“, „Merlin“ und „Petrina“ 2009 (Fehlerbalken=Standardfehler, n. s.= nicht signifikant, t-Test, $p < 0,05$)

3.2 Rohproteingehalte und N-Abfuhren

Signifikante Unterschiede zeigten sich zwischen den Rohproteingehalten der Sorten (Tab. 1). Die N-Abfuhren lagen bei 250-260 kg N ha⁻¹.

Tab. 1: Rohproteingehalte und N-Abfuhren der Sojabohnensorten 2009 (unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, t-Test, $p < 0,05$)

	Cardiff	Merlin	Petrina
Rohproteingehalt (%)	39,4a	35,8b	37,5c
N-Abfuhren (kg N ha ⁻¹)	265	246	246

4. Ergebnisse Salatdüngungsversuch 2010

4.1 Kopfgewichte

Zur Zwischenernte zeigten die Kopfgewichte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten. Zur Endernte konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden, jedoch nur zwischen den gedüngten und nicht gedüngten Varianten. Unterschiede in der Düngewirkung zwischen den Schrotten der verschiedenen Sojabohnensorten konnten nicht festgestellt werden.

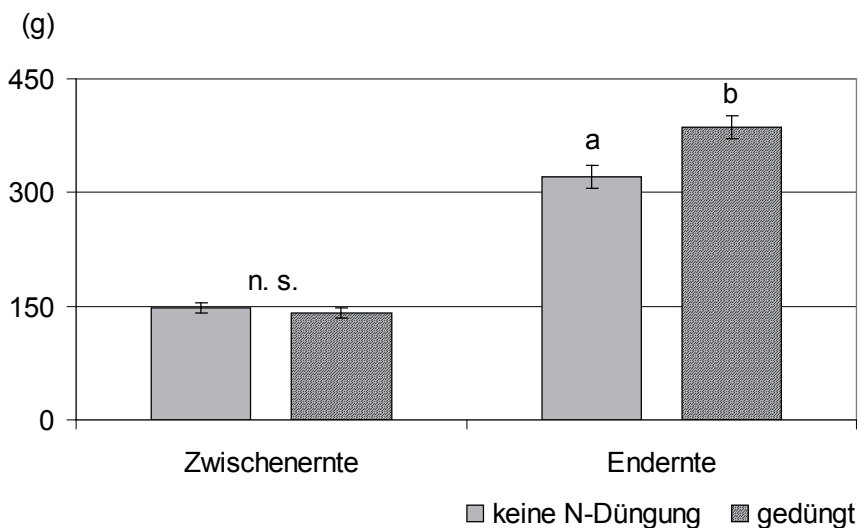


Abb. 3: Kopfgewichte zur Zwischen- und Endernte der mit Sojabohnenschrot gedüngten und der nicht gedüngten Varianten (Fehlerbalken= Standardfehler, unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, n. s. = nicht signifikant, t-Test, $p < 0,05$)

4.2 N-Gehalte und N-Abfuhren

Zur Zwischen- und Endernte zeigten die gedüngten Varianten signifikant höhere N-Gehalte in der Pflanzentrockenmasse im Vergleich zu den nicht gedüngten Varianten. Aus den höheren N-Gehalten resultierten höhere N-Abfuhren (Tab. 2).

Tab. 2: N-Gehalte in der Salattrockenmasse und N-Abfuhren zur Zwischen- und Endernte der mit Sojabohnenschrot gedüngten und nicht gedüngten Varianten (unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, t-Test, $p < 0,05$)

	Zwischenernte	Endernte
	N-Gehalte (% in TS)	
keine N-Düngung	2,8a	2,5a
gedüngt	3,8b	3,3b
	N-Abfuhren kg N ha^{-1}	
keine N-Düngung	39,1	54,7
gedüngt	51,0	80,8

4.3 N_{\min} - Gehalte

Zum Zeitpunkt der Zwischenernte waren die N_{\min} -Gehalte in der Tiefe von 0-30 cm bei den gedüngten Varianten erhöht. Zur Endernte lagen die Gehalte auf einem ähnlich niedrigen Niveau (Abb. 4).

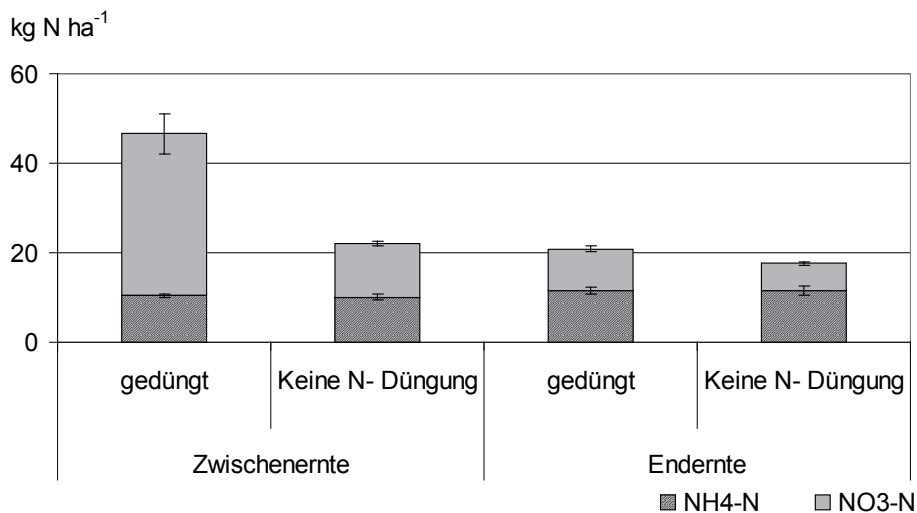


Abb. 4: N_{\min} -Gehalte 0-30 cm der gedüngten und nicht gedüngten Varianten (Fehlerbalken=Standardfehler)

In der Bodenschicht von 30-60 cm konnten zwischen den gedüngten und nicht gedüngten Varianten nur geringfügige Unterschiede in einer Größenordnung von ca. 10 kg N ha⁻¹ festgestellt werden (Abb. 5).

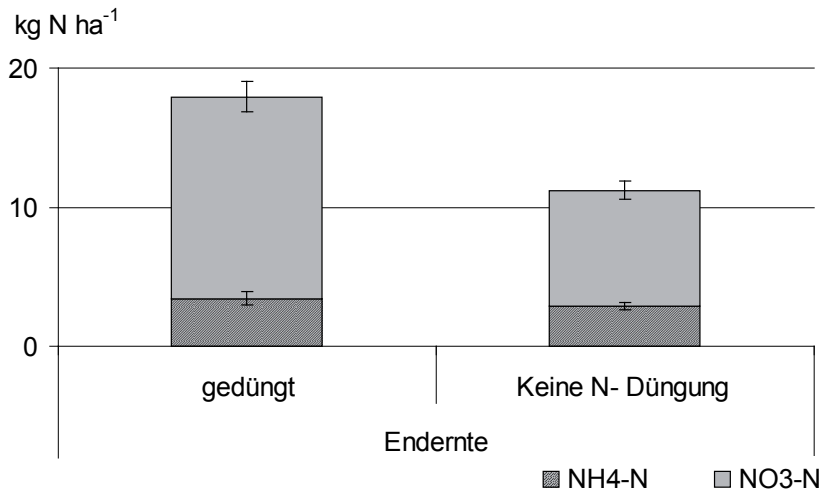


Abb.:5: N_{min} Gehalte 30-60 cm der mit Sojabohnenschrot gedüngten und nicht gedüngten Varianten (Fehlerbalken=Standardfehler)

5. Diskussion

Die Ergebnisse des Sojabohnenanbaus zeigten hohe Erträge, Rohproteingehalte und N-Abfuhr. Die Wetterbedingungen in 2009 begünstigten den Anbau der ausgewählten Sojabohnensorten. Unerlässlich ist jedoch eine Prüfung des Sojabohnenanbaus über mehrere Jahre. Zudem sind weitere Grenzstandorte zu testen. Nach Imgraben und Recknagel (2010) ist auf Standorten mit hoher N-Nachlieferung und nutzbarer Feldkapazität mit einer verzögerten Abreife zu rechnen.

Den Ergebnissen zufolge bietet der Anbau der Sojabohne auf dem Versuchstandort die Möglichkeit, ca. 250 kg N ha⁻¹ in Form von Sojabohnen zu erzeugen. Diese N-Menge ist lagerfähig und zur Düngung von ca. 2 ha Salat ausreichend.

Der Düngeneffekt von Sojabohnenschrot ließ sich nachweisen durch signifikant höhere Salatkopfgewichte zur Endernte und höhere N-Gehalte in der Salattrök-

kenmasse zur Zwischen- und Schlussernte. Unterschiede zwischen den Sojabohnensorten wurden nicht festgestellt. Die Ergebnisse bestätigen die Resultate von Hyung-Kyung et al. (2010), die in Inkubationsversuchen eine ähnliche N-Mineralisation von Sojabohnenschrot verschiedener Sorten („Cardiff“, „Merlin“, „Petrina“) und von Rizinusschrot und Hornmehl ermittelten. Ein weiterer Indikator für eine frühzeitige N-Düngewirkung von Sojabohnenschrot ist der höhere N_{\min} -Gehalt im Boden zum Zeitpunkt der Zwischenernte. Dieser lag ca. 25 kg ha^{-1} über dem der nicht gedüngten Varianten.

Auch in den nicht gedüngten Varianten konnten Salatkopfgewichte erzeugt werden, die deutlich über der Vermarktungsnorm von 150 g/Kopf lagen (Vogel, 1996). Nicht eindeutig kann geklärt werden, in welchem Maße das hohe Ertragsniveau auf die N-Nachlieferung der Vorfrucht Sojabohne oder auf die langjährig ökologische Bewirtschaftung zurückzuführen ist. Nach Kahnt (2008) liegt das N-Nachlieferungsvermögen der Sojabohne bei ca. 30 kg N ha^{-1} , während Schmutz (2002) dieses auf bis zu 100 kg N ha^{-1} quantifiziert. Unter Berücksichtigung der Rhizodeposition soll es nach Hammelehle et al. (2008) sogar bis zu 200 kg N ha^{-1} betragen. Eigene Berechnungen ergaben etwa 25 kg N ha^{-1} , wobei die Rhizodeposition und die Verluste an Feinwurzeln nicht erfasst wurden.

6. Zusammenfassung

2009 war der Sojabohnenanbau auf dem klimatischen Grenzstandort Kleinhohenheim erfolgreich möglich. Die sehr frühen und extrem frühen Sorten bedürfen allerdings einer weiteren züchterischen Bearbeitung. Sojabohnenschrot hat sich als vegetabiler N-Dünger im ökologischen Gemüsebau bewährt. Der signifikant höhere N-Gehalt des Salats und die höheren N_{\min} -Gehalte im Oberboden zur Zwischenernte deuten auf eine rasche N-Mineralisation auch bei geringen Bodentemperaturen hin. Insgesamt stellen der Anbau von Sojabohnen und die Nutzung der Schrote als vegetabile N-Dünger im ökologischen Gemüsebau eine Möglichkeit dar, betriebliche Nährstoffkreisläufe vermehrt zu schließen.

7. Literaturangaben

Braun, A., Mayer, J., Fragstein, P., 2001: Sind Leguminosenschrote für die N-Düngung von Frühgemüse geeignet? – Ergebnisse eines Brutver-

- suchs. Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau, Verlag Dr. Köster Berlin, 273-276.
- Hammelehle, A., Müller, T., Mayer, J., 2008: C-, N- Rhizodeposition und Stickstofffixierung von Sojabohnen (*Glycine max* L.) unter konventioneller sowie ökologischer Bewirtschaftung im DOK Versuch. Masterthesis Universität Hohenheim und Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 48-49.
- Hyung-Kyung, L., Yasir, I., Asim, M., 2010: Turnover of seed meal of soybean compared to purchasable organic fertilizers at different temperatures (laboratory incubation experiment). Organic Food Chain Project. Universität Hohenheim.
- Hummel, A., Lippert, C., Müller, T., Schulz, R., 2011: Rentabilität vegetabiler Düngemittel im ökologischen Gemüsebau am Beispiel eines süddeutschen Gemischtbetriebes. Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau; 252-255, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Imgraben, H., Recknagel, J., 2010: Anbauanleitung für Sojabohnen 2010, http://www.landwirtschaftbw.info/servlet/PB/show/1201149_11/Anbauanleitung%20f%C3%BCr%20Sojabohnen%202010+.pdf (15.10.2010).
- Kahnt, G., 2008: Leguminosen im konventionellen und ökologischen Landbau, DLG Verlag Frankfurt am Main, 84.
- Li, Z., Schulz, R., Müller, T., 2009: Short-term nitrogen availability from lupine seed meal as an organic fertilizer is affected by seed quality at low temperatures. Biol. Agric. Hortic., 26, 337-352.
- Morr, C.V., 2006: Nitrogen conversion factors for several Ssoybean protein products. J. Food Sci. 46, 1362-1363.
- Müller, T., von Fragstein, P., 2006: Organic fertilizers derived from plant materials Part I: Turnover in field trials, J. of Plant Nutr. Soil Sci. 169, 265-273.
- Sabahi, H., Schulz, R., Müller, T., Li, Z., 2009: Nitrogen turnover of legume seed meals as affected by seed meal texture and quality at different temperatures. Archives Agron. Soil Sci. <http://dx.doi.org/10.1080/03650340902748372>.
- Schmutz, R., 2002: Merkblatt Sojabohne, Forschungsinstitut für biologischen Landbau, 5070 Frick, <https://www.fibl-shop.org/shop/pdf/mb-1023-biosoja.pdf> (13.07.2010).
- Vogel, G., 1996: Handbuch des speziellen Gemüsebaues, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.

Lysimeteruntersuchungen zum Einfluss von Leguminosen in Fruchtfolgen auf den N-Austrag

C. Strauß¹, J. Bischoff¹, M. Schrödter¹, J. Seeger², R. Meißner²

¹Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Bernburg, ²Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Department Bodenphysik, Lysimeterstation Falkenberg

1. Einleitung und Zielstellung

Der Klimawandel macht sich durch tendenziell steigende Jahresmitteltemperaturen und erhöhte sowie stark schwankende Jahresniederschläge und der Zunahme von Extremereignissen auch in der Altmark bemerkbar. Des Weiteren steigt die Anwendung der nichtwendenden Bodenbearbeitung in der Altmark stetig. Dies führt auf den dort vorherrschenden strukturinstabilen Böden zu einer deutlichen Zunahme der Bodenlagerungsdichte in Unterkrume, Krumenbasis und Unterboden. Insbesondere aus dem Einsatz schwerer Maschinen und Transportfahrzeugen bei Nässe resultieren Verdichtungsschäden, die mit wesentlichen Einschränkungen der Durchlüftung und der Wasserinfiltration einhergehen.

Schadverdichtete Krumenbasisbereiche können durch Leguminosen mit tief in den Boden eindringenden Pfahlwurzeln saniert werden (Bischoff und Hofman, 2009). Zudem verbessern diese die Bodenfruchtbarkeit und mobilisieren Grundnährstoffe. Fruchtfolgen werden durch den Anbau von Leguminosen aufgelockert, da sie die Artenanzahl innerhalb der Fruchtfolge erhöhen und damit Infektionszyklen bodenbürtiger Krankheitserreger unterbrechen. Sie entziehen dem Boden allerdings weniger Stickstoff (N) als Nichtleguminosen, da sie durch die Symbiose mit Rhizobien N_2 fixieren. Außerdem kann die Mineralisierung der N-reichen Pflanzenreste zu schubhaften Freisetzungen von NO_3 führen. Dies könnte eine verstärkte Auswaschung von NO_3 aus dem Boden zur Folge haben.

In Kooperation zwischen dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ und der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt - LLFG wurde daher 2009 in Falkenberg ein Lysimeterversuch zur Ermittlung des Einflusses von Leguminosen in Fruchtfolgen auf den N-Austrag mit dem

Sickerwasser angelegt. Eine Versuchsfrage besteht darin, ob Fruchtfolgen mit Leguminosen auf lehmigem Sand unter den vorherrschenden Klimabedingungen in Falkenberg (Altmark) zu höheren NO_3 -Konzentrationen im Sickerwasser bzw. N-Frachten des Sickerwassers führen, als Fruchtfolgen ohne Leguminosen. Des Weiteren soll der Einfluss von Direktsaatverfahren im Vergleich zu Pflugverfahren auf den N-Austrag mit dem Sickerwasser sowie auf die NO_3 -Konzentration des Sickerwassers untersucht werden.

2. Methoden

Es werden zehn nicht wägbare Gravitationslysimeter mit einer quadratischen Oberfläche von 1 m² und einer Tiefe 1,25 m verwendet. Diese Lysimeter wurden manuell schichtweise befüllt. Das dazu verwendete Bodenmaterial (lehmiger Sand) wurde am Entnahmestandort nach Ober- und Unterboden getrennt abgetragen und anschließend lagerecht eingebaut. Das anfallende Sickerwasser entwässert über ein Dränrohr in einen Kanister (Godlinski, 2005). Die Kanister der einzelnen Lysimeter werden monatlich entleert und zur Ermittlung der Sickerwassermenge gewogen. Die NO_3 -Konzentrationen der Sammelproben werden mittels Ionenchromatographie nach den entsprechenden DIN-Vorschriften in mg/l ermittelt. Zur Berechnung der N-Bilanzen werden zudem die Erträge in g/m² Frischmasse (FM) und Trockenmasse (TM) sowie die N-Entzüge des Pflanzenbewuchses der einzelnen Lysimeter bestimmt.

Folgende Varianten (mit je zwei Wiederholungen) wurden angelegt:

1. Eingliederung abfrierender Leguminosen als Sommerzwischenfrüchte in die Fruchtfolge mit anschließendem Umbruch durch wendende Bodenbearbeitung (ZF (Umbr.))
2. Eingliederung abfrierender Leguminosen als Sommerzwischenfrüchte in die Fruchtfolge mit anschließender Direktsaat der Folgefrucht (ZF (abfr.))
3. Eingliederung von mehrjährigem Luzernegras in die Fruchtfolge (LG)
4. Fruchtfolge nach gängiger Praxis als Vergleichsvariante (Praxis)
5. Schwarzbrache als Vergleichsvariante (SB)

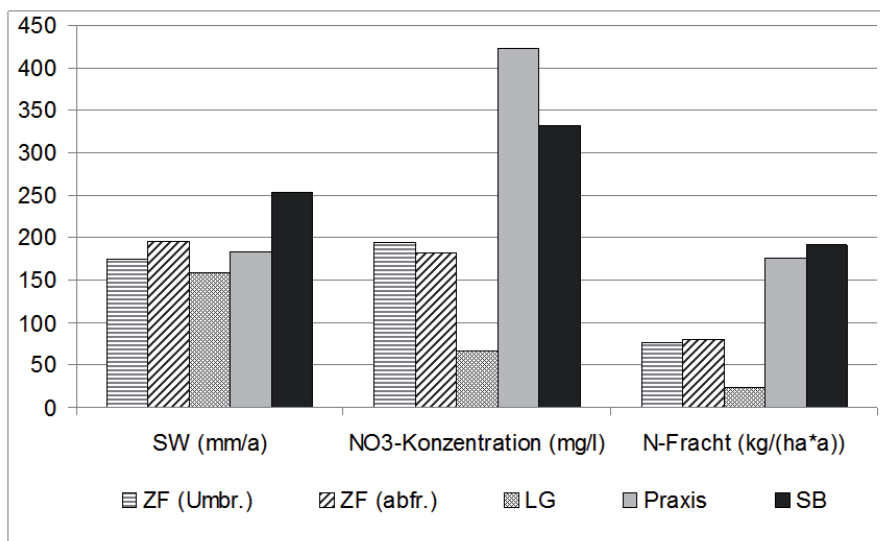
In Tabelle 1 sind die angebauten Kulturarten im bisherigen Versuchszeitraum von 2009 bis 2011 dargestellt.

Tab. 1: Angebauten Kulturarten im bisherigen Versuchszeitraum von 2009 bis 2011

Variante	2009	2010	2011
ZF (Umbr.)	Sommergerste/ Lupine (Umbr.)	Mais	Winterroggen/ Felderbse (Umbr.)
ZF (abfr.)	Sommergerste/ Lupine (abfr.)	Mais	Winterroggen/ Felderbse (abfr.)
LG	Winterweizen/ Luzernegras	Luzernegras	Luzernegras
Praxis	Sommergerste	Winterroggen	Winterraps
SB	Wintergerste/ Schwarzbrache	Schwarzbrache	Schwarzbrache

3. Erste Ergebnisse

3.1 Wasser- und Stoffhaushalt

Abb. 1: Mittlere jährliche Sickerwassermenge (SW), NO₃-Konzentration und N-Fracht der fünf Varianten über den bisherigen Versuchszeitraum

Die mittlere jährliche Sickerwassermenge des bisherigen Versuchszeitraums nimmt in folgender Reihenfolge zu: LG < ZF (Umbr.) < Praxis < ZF (abfr.) < SB. Den höchsten Wert weist dabei SB mit 254 mm, den niedrigsten LG mit 159 mm auf. Die mittlere NO_3 -Konzentration nimmt in folgender Reihenfolge zu: LG < ZF (abfr.) < ZF (Umbr.) < SB < Praxis. Die höchste NO_3 -Konzentration des Sickerwassers wurde mit 422 mg/l bei der Variante Praxis, die niedrigste mit 66 mg/l bei LG nachgewiesen. Die höchste mittlere jährliche N-Fracht wies mit 191 kg/ha die Variante SB und die niedrigste LG mit 24 kg/ha auf. Die mittlere jährliche N-Fracht nimmt in folgender Reihenfolge zu: LG < ZF (Umbr.) < ZF (abfr.) < Praxis < SB (siehe Abb. 1).

3.2 N-Bilanz

In Abbildung 2 sind die N-Zufuhr und N-Abfuhr aller Varianten für das erste Versuchsjahr sowie der N-Saldo für die Varianten ZF (Umbr.), ZF (abfr.), LG und Praxis dargestellt. Für SB konnte kein N-Saldo berechnet werden, da keine Abfuhr durch die Ernte erfolgte und die Deposition als einzige N-Zufuhr bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt wird. Der N-Saldo des ersten Versuchsjahres nimmt unter den Varianten in folgender Reihenfolge zu: LG < ZF (abfr.) < ZF (Umbr.) < Praxis. Dabei weisen alle Varianten mit Leguminosen einen negativen Saldo (-35 bis -72 kg/ha) auf. Einzig der N-Saldo der Variante Praxis liegt mit 46 kg/ha im positiven Bereich.

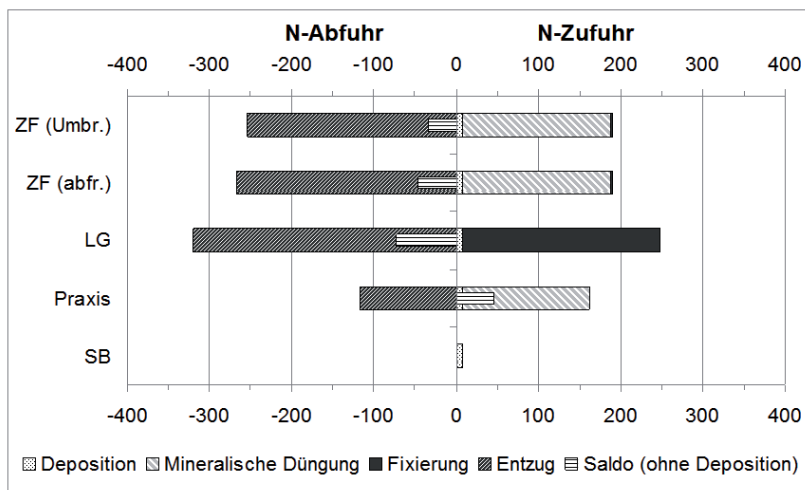


Abb. 2: N-Abfuhr, N-Zufuhr und N-Saldo (berechnet aus Zufuhr minus Abfuhr ohne Berücksichtigung der Deposition) aller Varianten für das erste Versuchsjahr

4. **Fazit**

Bisher sind keine erhöhten, sondern verminderte NO_3 -Konzentrationen und N-Frachten bei den Varianten ZF (Umbr.), ZF (abfr.) und LG im Vergleich zu den Varianten Praxis und SB zu beobachten. Dies ist vermutlich hauptsächlich auf die längere Bodenbedeckung bei ZF (Umbr.), ZF (abfr.) und LG im Vergleich zu den Varianten Praxis und SB zurückzuführen. Durch Direktsaat kann die NO_3 -Konzentration im Sickerwasser im Vergleich zur Pflugvariante vermutlich vermindert werden. Grund dafür ist eine höhere jährliche Sickerwassermenge bei ZF (abfr.). Die Unterschiede der NO_3 -Konzentrationen von ZF (Umbr.) und ZF (abfr.) sind bisher allerdings sehr gering.

5. **Literatur**

- Bischoff, J., Hofman, B., 2009: Sandboden reagiert anders als Löß. Bodenbearbeitung auf Löß- und Sandstandorten. In: Landwirtschaft ohne Pflug. Verlag Emminger & Partner GmbH, Nr. 02/2009, 27-31.
- Godlinski, F., 2005: Abschätzung der Phosphorausträge aus der ungesättigten Bodenzone anhand numerischer Interpretationen von Lysimeterversuchen. Dissertation, Universität Rostock, UFZ.

Welketracht und Nährstoffmangel von Mais bei ausreichender Wasser- und Nährstoffversorgung

F. Herbst¹, B. Apelt², W. Gans¹

¹Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Professur für Pflanzenernährung,

²Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ, Department Bodenphysik, Halle

1. Einleitung

Zu einer Welke von Pflanzen kommt es im Allgemeinen bei einer unzureichenden Wasserversorgung. Aber auch ein Überangebot an Wasser kann ein Welken der Pflanzen bewirken. Die Ursache dafür ist eine eingeschränkte Durchlüftung des Bodens und damit eine Hemmung der stark O₂-bedürftigen Wurzelatmung. Die Folge kann ein vermindertes Wurzelwachstum sein. Eine solche Hemmung des Wurzelwachstums tritt auch bei einem erhöhten Bodenwiderstand auf, wobei ein gleichzeitig abnehmender O₂-Gehalt die Hemmwirkung noch verstärkt. Eine Hemmung der Wurzelentwicklung ist nicht nur mit einer Einschränkung der Wasser-, sondern auch der Nährstoffaufnahme verbunden.

2. Versuchsanstellungen

Nachfolgend wird über einen Gewächshausversuch mit Mais, bei dem es trotz ausreichender Wasser- und Nährstoffversorgung und optimaler Bodenstruktur zu einer Welketracht und zu Nährstoffmangel in den Pflanzen gekommen ist, und über einen Laborversuch, mit dem die Ursachen für die Wirkungen im Gewächshausversuch geklärt werden sollten, berichtet.

Die Untersuchungen fanden im Rahmen eines Forschungsprojektes zur Minderung der Freisetzung von klimarelevanten Gasen bei Einsatz von Gärresten aus Biogasanlagen statt. In beiden Versuchen kam ein schluffiger Lehmboden von der Versuchsstation Dornburg der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft zum Einsatz (Tab. 1). Der Boden wurde im Juli 2008 von einer Schwarzbrache-fläche aus 0-20 cm Bodentiefe entnommen und auf weniger als 2 cm zerkleinert.

Tab. 1: Kenndaten des Versuchsboden

Kenndaten	Maßeinheit	Wert
pH-Wert		7,2
Ammonium-N	mg/100 g tr. Boden	0,07
Nitrat-N	mg/100 g tr. Boden	2,15
Gesamt-N	%	0,085
Kohlenstoff	%	1,57
C/N-Verhältnis		18,5
Humus	%	6,1
Maximale Wasserkapazität	Gew.-%	34,4
Sand	%	5
Schluff	%	68
Ton	%	27

3. Gewächshausversuch

Die Zielstellung des Gewächshausversuches mit Mais bestand in der Prüfung der Nährstoffwirkung eines Gärrestes sowie in der Minderung der Freisetzung von klimarelevanten Gasen aus dem Gärrest. Auf die dabei erzielten Ergebnisse wird aber nachfolgend nicht näher eingegangen. Die dargestellten Ergebnisse stellen ein Nebenergebnis zu der eigentlichen Versuchsanstellung dar.

Beim Versuchsansatz wurden dem Boden ausreichend die Grundnährstoffe P, K, Mg und S als Nährlösungen zugemischt und der Boden auf 40 % der maximalen Wasserkapazität angefeuchtet. Davon wurden 5,7 kg Boden/Gefäß in Mitscherlich-Gefäße gefüllt und 6 Maispflanzen (Sorte Lenz) herangezogen. Die Versuchsdüngung erfolgte zu BBCH 13 des Maises als Gärrest in Höhe von 146 g Gärrest/Gefäß, welche äquivalent 46 t/ha bzw. 100 kg NH₄-N/ha entsprachen. Neben der Variante ohne Gärrestdüngung wurden verschiedene Applikationsmethoden und Zusätze zum Gärrest mit jeweils 3 Wiederholungen/Variante geprüft. Die Versuchsgefäße waren im Gewächshaus/Drahtkäfig aufgestellt und wurden zu 10 Terminen zur Gaserfassung ins Labor gebracht. Die Wasserversorgung erfolgte täglich nach Gewicht bei Rückführung eines gegebenenfalls eingetretenen Wasserdurchlaufes. Der Mais wurde zu BBCH 33 geerntet mit Ermittlung der Masse und N-Aufnahme.

Von Wachstumsbeginn an waren bei allen Prüfvarianten ein spärliches Pflanzenwachstum und Blattverfärbungen zu verzeichnen, welche auf Nährstoffmangel, insbesondere von Phosphor, hindeuteten (Abb. 1). Außerdem konnten zwischen den Gefäßen ohne und mit Gärrestzugabe keine Wachstumsunterschiede festgestellt werden.

Zum Erntezeitpunkt bestanden daher auch keine signifikanten Differenzen zwischen den Prüfgliedern in der Massebildung und N-Aufnahme. Weiterhin trat bei hoher Temperatur und Sonneneinstrahlung ein Welken der Pflanzen bei allen Prüfgliedern trotz ausreichender Wasserversorgung auf (Abb. 2). Aufgrund der Erscheinungsbilder wurde zur Ernte der Pflanzen auch die Wurzelentwicklung nach dem Entleeren der Versuchsgefäße betrachtet. Dabei war zu erkennen, dass sich die Wurzeln vorrangig am Rand der Gefäße entwickelt hatten, kaum in das Innere des Bodenkörpers eingedrungen waren und die Nebenwurzelnbildung damit sehr eingeschränkt war (Abb. 3). Bodenverdichtungen im Inneren des Bodenkörpers, welche ein Wurzelwachstums hätten beeinträchtigen können, lagen nicht vor. Die Ursachen für die Wachstumsstörungen an den Pflanzen konnten zunächst nicht erklärt werden.



Abb. 1: Nährstoffmangelsymptome am Mais trotz ausreichender Nährstoffversorgung



Abb. 2: Welketraucht von Mais auf Dornburger Boden (rechts, schluffiger Lehm) im Vergleich zu Mais auf Boden vom Kühnfeld Halle (links, lehmiger Sand)



Abb.3: Bodenstruktur und eingeschränktes Wachstum der Maiswurzel (BBCH34)

4. Laborversuch

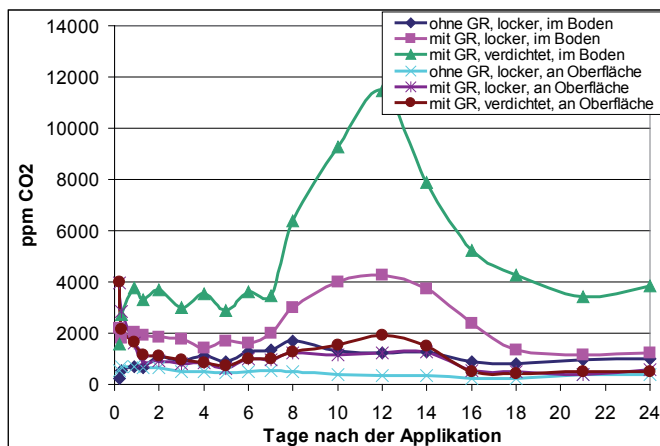
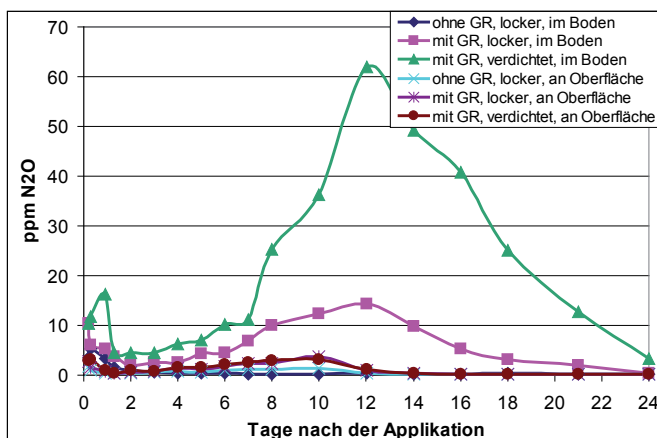
Zur Klärung der Ursachen für das eingeschränkte Pflanzenwachstum im Gewächshausversuch wurde im Anschluss daran ein Laborversuch ohne Pflanzen durchgeführt. Bei diesem Versuch wurde die Bodenoberfläche locker gelassen oder durch Festdrücken und Verschmieren verdichtet (Tab. 2). Während der Versuchsdurchführung erfolgte eine Analyse der Konzentrationen an Kohlendioxid und Lachgas in der Bodenluft bzw. an der Bodenoberfläche an je 3 Gefäßen/Variante.

Tab. 2: Prüfglieder des Laborversuches

Variante	Gärrest	Bodenoberfläche	Gaserfassung
1	ohne	locker	im Boden
2	mit	locker	im Boden
3	mit	verdichtet	im Boden
4	ohne	locker	an der Oberfläche
5	mit	locker	an der Oberfläche
6	mit	verdichtet	an der Oberfläche

Als Versuchsgefäße dienten 1,3 l Saugflaschen, in welche 1 350 g angefeuchteter Boden/Gefäß sowie Gärrest in der gleichen Aufwandmenge wie im Gewächshausversuch (29,9 g Gärrest/Gefäß) in 8-10 cm Bodentiefe gefüllt wurden. In die gleiche Bodentiefe wurden bei den Varianten 1-3 Bodensonden eingesetzt. Durch die Gefäße bzw. Bodensonden wurde während des Messvorganges von ca. 2 Stunden Reinststickstoff geleitet. Das Gasgemisch aus den Versuchsgefäß wurde in Vials erfasst und darin Kohlendioxid und Lachgas gaschromatographisch bestimmt. Die Messungen erfolgten bis 24 Tage nach der Gärrestapplikation zu 18 Terminen, anfangs täglich, später im 2-3 tägigen Abstand.

Die Verläufe der Kohlendioxid- und Lachgaskonzentrationen (Abb. 4 und 5) zeigen, dass die CO₂- und N₂O-Konzentration im Boden immer höher waren als an der Bodenoberfläche, was auf einen eingeschränkten Gasaustausch hinweist. Bei der Gärresteinbringung in den Boden und gleichzeitigen Verdichtung der Bodenoberfläche war es zwischen dem 8. und 16. Tag nach der Gärrestapplikation zu einem starken Anstieg beider Gaskonzentrationen gekommen.

Abb. 4: Verlauf der CO₂-Konzentration im LaborversuchAbb. 5: Verlauf der N₂O-Konzentration im Laborversuch

5. Diskussion

Die im Laborversuch in der Bodenluft gemessene Anreicherung von Kohlendioxid und Lachgas kann auch in der Bodenluft des Gewächshausversuches mit ähnlichem Verlauf und Umfang aufgetreten sein. Dabei kann die im Laborversuch eingestellte Verdichtung der Bodenoberfläche im Gewächshausversuch durch das tägliche Gießen und der damit verbundenen Verschlämmung der Bodenoberfläche bewirkt worden sein. Hinsichtlich der Anreicherung von Koh-

lendioxid bei einer verdichteten oder verschlammten Bodenoberfläche ist im Gewächshausversuch infolge der CO_2 -Abgabe der Maiswurzeln sogar noch ein größeres Ausmaß als im Laborversuch zu erwarten.

Die Anreicherung der Gase in der Bodenluft hat offensichtlich direkt oder indirekt das Wurzelwachstum gehemmt. Auf den negativen Einfluss einer hohen CO_2 -Anreicherung in der Bodenluft weist Schilling (2000) hin und wurden von Augustin (1984) detaillierte Untersuchungen vorgenommen. Eng verbunden mit einer CO_2 - und N_2O -Anreicherung ist die Abnahme des O_2 -Anteiles in der Bodenluft. Die Zunahme des CO_2 - und die Abnahme des O_2 -Anteiles waren vermutlich die Ursache für die Wachstumsstörungen sowie die verringerte Nährstoff- und Wasseraufnahme. Über eine direkte Wirkung von N_2O auf das Wurzelwachstum ist nichts bekannt.

Durch das ständige Gießen der Maispflanzen ist es außerdem zu wiederholten anaeroben Bedingungen im Boden gekommen, die eine erhöhte Denitrifikation bewirken können. Die hohen N_2O -Konzentrationen in der Bodenluft bei Gärrestapplikation können ein Hinweis darauf sein. In dem gegebenenfalls erhöhten N_2 -Verlust könnte auch eine Ursache für die geringe N-Aufnahme aus dem Gärrest durch den Mais liegen.

Die dargestellten Ergebnisse und Zusammenhänge sollten bei dem häufig auch unter Feldbedingungen festgestellten P-Mangel an jungen Maispflanzen, selbst bei ausreichender P-Versorgung des Bodens, Berücksichtigung finden und durch gezielte Untersuchungen überprüft werden. Dabei sollte auch die Sauerstoffkonzentration in der Bodenluft mit erfasst werden. Die Erscheinungen sind dabei vor allem auf ton- und schluffreichen Böden, die zu einer Verschlammung neigen, und weniger auf sandigen Böden zu erwarten.

6. Literatur

- Augustin, J., 1984: Untersuchungen zur Beeinflussung des Wurzelwachstums von Weizenkeimpflanzen durch exogene und endogene Faktoren. Diss. Univ. Halle-Wittenberg
- Schilling, G., 2000: Pflanzenernährung und Düngung. Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., 192 ff.

Die Arbeiten wurden mit Mitteln des BMELV/FNR gefördert (FKZ 22025207)

Methodenvergleich: Bestimmung von pflanzenverfügbarem Bor im Boden

T. Appel¹, K. Schuh¹, D. Horn²

¹Fachhochschule Bingen, ²Bodengesundheit GmbH, Ochsenfurt

1. Einleitung

In Deutschland sind drei Extraktions-Methoden gebräuchlich, um pflanzenverfügbares Bor im Boden zu bestimmen:

1. Elektro-Ultrafiltration (EUF)
2. CaCl_2 und Di-ethylen-triamin-penta-essigsäure (CAT-Methode)
3. Heißwasser-Extraktion (HWE).

Zweifel daran, dass die Methoden die Borverfügbarkeit in carbonathaltigen Böden in gleicherweise richtig anzeigen, entstanden bei der CAT-Methode durch ein in Rheinland-Pfalz durchgeführtes Nährstoffmonitoring auf Praxis-schlägen (Abb. 1). Dabei wurden auf Standorten mit hohen pH-Werten tendenziell höhere Bor-Gehalte im Boden und höhere Bor-Konzentrationen in den Blättern des Rapses gefunden (Fritsch, 2010). Auch mit der EUF-Methode werden im Mittel der Proben aus der Beratungspraxis höhere EUF-Bor-Werte in den carbonathaltigen Böden festgestellt (Abb. 2).

Vor der Einführung der CAT-Methode in den 1990er Jahren war es in Deutschland üblich, pflanzenverfügbares Bor mit heißem Wasser zu extrahieren. Diese Methode löst aus Böden nur wenig Bor, wenn der pH-Wert im Boden alkalisch ist (Hauptka, 2010). Diese Eigenschaft der Heißwasser-Extraktion stimmte gut mit der Beobachtung von Schäfer (2009) überein, dass sich das Kalken eines Bodens negativ auf das Wachstum und auf die Bor-Aufnahme von Rübenkeimlingen auswirkte. Die HWE wäre demnach für Carbonatböden besser geeignet, pflanzenverfügbares Bor im Boden anzuzeigen als die EUF- und die CAT-Methode. Ein Gefäßversuch mit mehreren Böden und mit im Wachstum fortgeschrittenen Rübenpflanzen (BBCH 19) bestätigte zwar, dass mit der HWE nach einer Kalkung weniger Bor extrahiert wird. Dies spiegelte in dem Versuch aber nicht die Bor-Verfügbarkeit für die Rüben wider (Appel et al., 2011). Die

HWE extrahierte, gemessen an der Borkonzentration in den Rübenblättern, aus dem carbonathaltigen Boden zu wenig Bor.

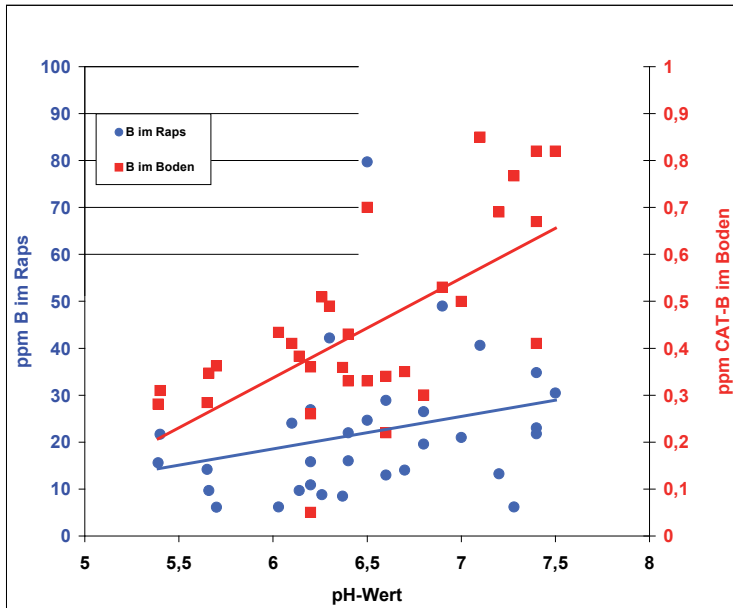


Abb. 1: CAT-extrahierbares Bor in Böden mit unterschiedlichem pH-Wert und Bor-Konzentration in den Raps-Blättern (Fritsch, 2010, verändert)

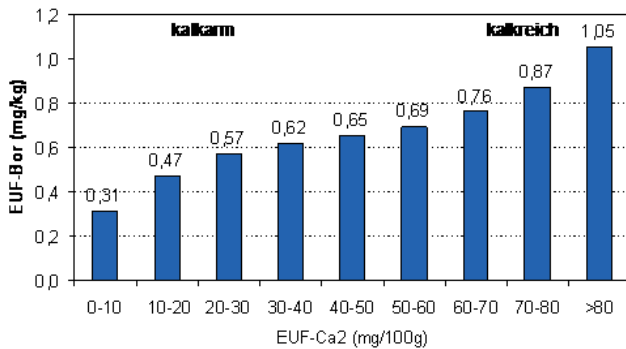


Abb. 2: Mit der EUF-Methode extrahiertes Bor in Böden in Abhängigkeit von den EUF-Ca₂-Gehalt (der EUF-Ca₂-Gehalt ist ein Kennwert für den Kalkgehalt des Bodens) (Horn und Fürstenfeld, 2007)

Die Untersuchungsergebnisse lieferten also kein einheitliches Bild. Möglicherweise ist dafür die Kurzfristigkeit der Düngung in den zitierten Gefäßversuchen verantwortlich. Für die Extrahierbarkeit und die Pflanzenverfügbarkeit des Bors könnte es nämlich auch eine Rolle spielen, ob der pH-Wert zum Beispiel durch Kalkung kurzfristig verändert wurde oder, ob sich nach längerer Aufenthaltsdauer des gedüngten Bors und des Carbonats im Boden bereits ein Gleichgewicht zwischen adsorbiertem, mineralischem und gelöstem sowie leichtlöslichem Bor einstellen konnte.

Um dieser Annahme nachzugehen, wurde im Herbst 2010 mit Hilfe einer im Jahr 1990 auf dem Gelände der FH Bingen angelegten Anlage ein Freiland-Gefäßversuch durchgeführt. Vorhanden waren hierfür zwei Böden, ein carbonathaltiger und ein sehr carbonatarmer, die vor 20 Jahren in insgesamt 24 Gefäßen gefüllt und zuvor unterschiedlich mit Bor gedüngt worden waren.

2. Material und Methoden

Der Versuch wurde im Jahr 1990 im Zuge einer Diplomarbeit (Scheid, 1991) als Freiland-Gefäßversuch auf dem Gelände der Fachhochschule Bingen angelegt.

Hierfür wurden 24 Kunststoff-Fässer in ein Kiesbett eingegraben. Die obersten 22 cm der Fässer wurden mit zwei verschiedenen Böden befüllt, einem carbonatarmen Boden aus der Naheniederung (pH 6,0, <0,1 % CaCO_3) und einem carbonathaltigen Boden aus Rommersheim, Rheinhessen (pH 7,6, 15,8 % CaCO_3). In die oberen 8 cm wurde gefrittetes Bor als Bor-Vorratsdüngung gemischt. Um Staunässe zu verhindern, sind die Gefäße unten offen und im unteren Teil mit Kies gefüllt (Abb. 3).

Der Bor-Dünger bestand aus Borfritten, die in unterschiedlichen Dünge­stufen (0, 15, 30 und 60 mg Bor/kg Oberkrume) in die oberen 8 cm eingearbeitet wurden. Die Borfritten wurden von der Firma Ferro in Kaiserslautern hergestellt. Gefrittete Spurenelemente stellen langsam lösliche Gläser dar, die den Pflanzen entsprechend ihrem Bedarf Spurenelemente freisetzen können. Die eingebauten Spurenelemente, wie hier Borsäure (B_2O_3), werden zur Herstellung von Gläsern als Netzwerkbildner benötigt (Scheid, 1991).

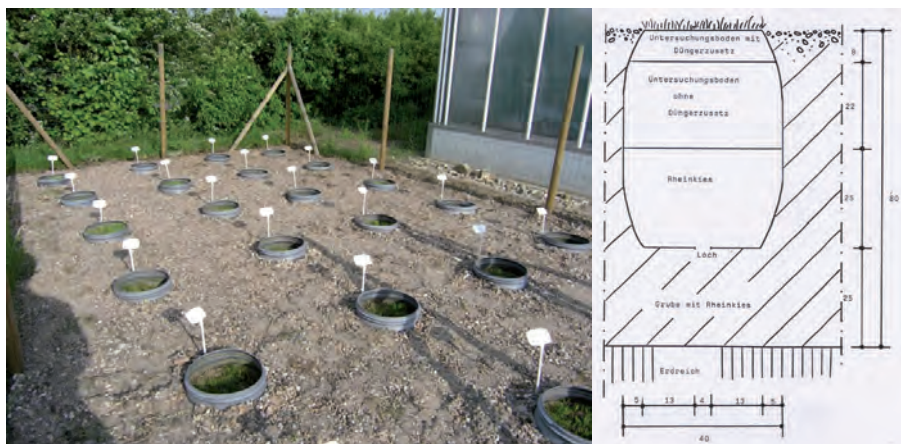


Abb. 3: Gefäße mit Böden im Freiland (links) und Schema der mit Boden und Kies befüllten Gefäße (rechts)

Im Herbst 2010 wurde Winterweizen (Sorte Potential) in die Gefäße ausgesät und circa 6 Wochen kultiviert. Anschließend wurde der Aufwuchs geerntet, getrocknet und pulverisiert. Die Pflanzenproben wurden mittels Mikrowellen-Druckaufschluss im Labor der Fachhochschule Bingen aufgeschlossen und die Bor-Konzentration im Aufschluss später mittels ICP-OES im Justus-Liebig-Labor in Rain am Lech analysiert. Die Bor-Konzentration im Weizenaufwuchs wurde als Maß für die Borverfügbarkeit im Boden interpretiert.

Die Böden in den Gefäßen wurden beprobt und mittels EUF-, CAT- und HWE-Methode auf ihren Bor-Gehalt untersucht.

Die Fehlerbalken in den Grafiken kennzeichnen \pm Standardfehler der Mittelwerte.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Bor-Düngung zeigte nur auf dem Carbonatboden eine Wirkung auf die Bor-Konzentration im Aufwuchs der jungen Weizenpflanzen. Auf dem carbonatarmer Boden war die Bor-Konzentration in den Pflanzen etwa genauso so hoch wie die auf dem ungedüngten carbonathaltigen Boden (Abb. 4).

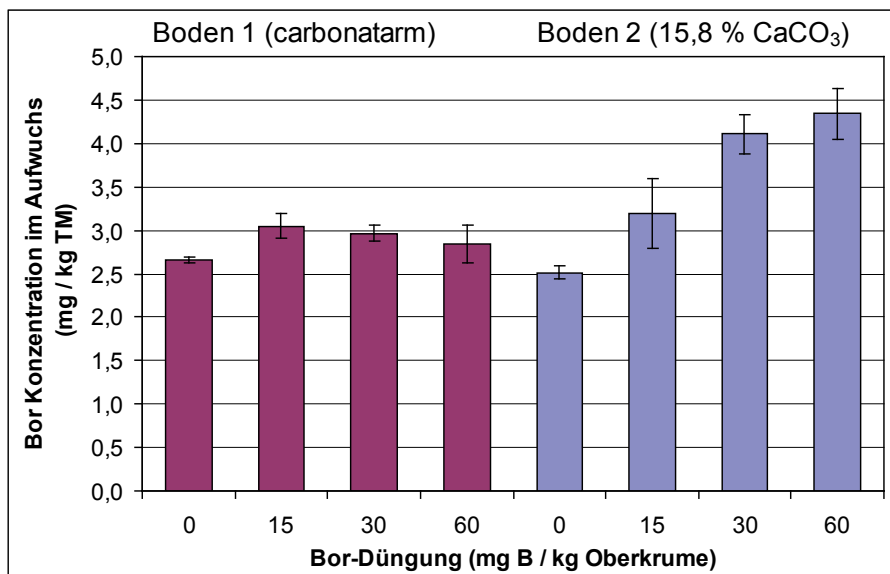


Abb.4: Bor-Konzentration im Aufwuchs junger Winterweizenpflanzen auf zwei Böden in Abhängigkeit von der Bor-Düngung

Die **EUF-Methode** differenzierte die unterschiedliche Bor-Versorgung der Pflanzen auf dem Carbonatboden gut (Abb. 5). Allerdings war das Niveau der EUF-Bor-Gehalte des Carbonatbodens um ein Mehrfaches höher als das der EUF-Bor-Gehalte des carbonatarmlen Bodens. Die Bor-Verfügbarkeit, angezeigt durch die Bor-Konzentration in den Pflanzen, war in dem carbonatarmlen Boden aber ähnlich hoch wie in den beiden niedrigen Düngevarianten des Carbonatbodens. Das bedeutet, dass die EUF-Bor-Werte des Carbonatbodens für die Einschätzung der Pflanzenverfügbarkeit geringer zu bewerten sind, als die EUF-Bor-Werte des carbonatarmlen Bodens.

Das Gegenteil war bei der **HWE-Methode** der Fall. Sie unterschätzte die Bor-Verfügbarkeit auf dem Carbonatboden (Abb. 6). Am besten traf die **CAT-Methode** das Niveau (Abb. 7). Diese Methode überschätzte die Verfügbarkeit des Bors auf den Carbonatböden zwar ebenfalls, aber weniger ausgeprägt als die EUF-Methode.

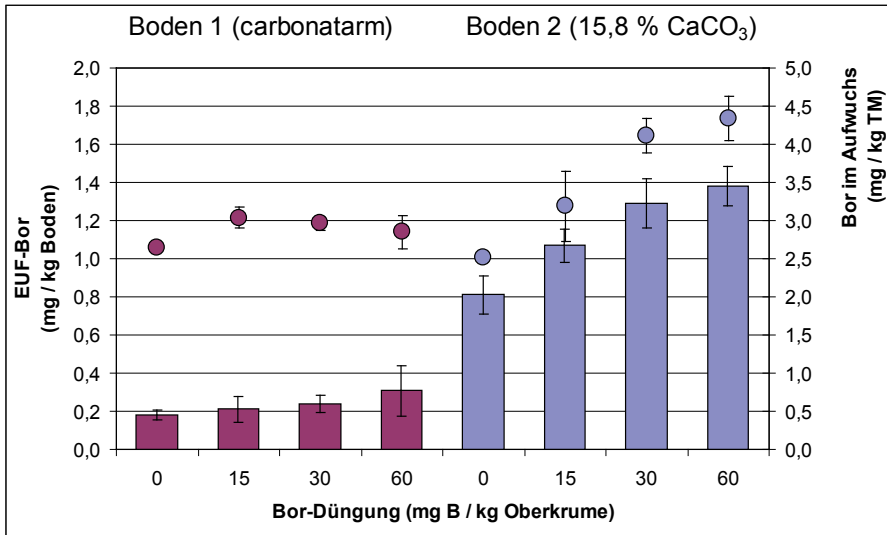


Abb. 5: EUF-Bor (Säulen) und Bor im Aufwuchs junger Winterweizenpflanzen (Marker) auf Böden mit unterschiedlichem Carbonatgehalt in Abhängigkeit von der Bor-Düngung

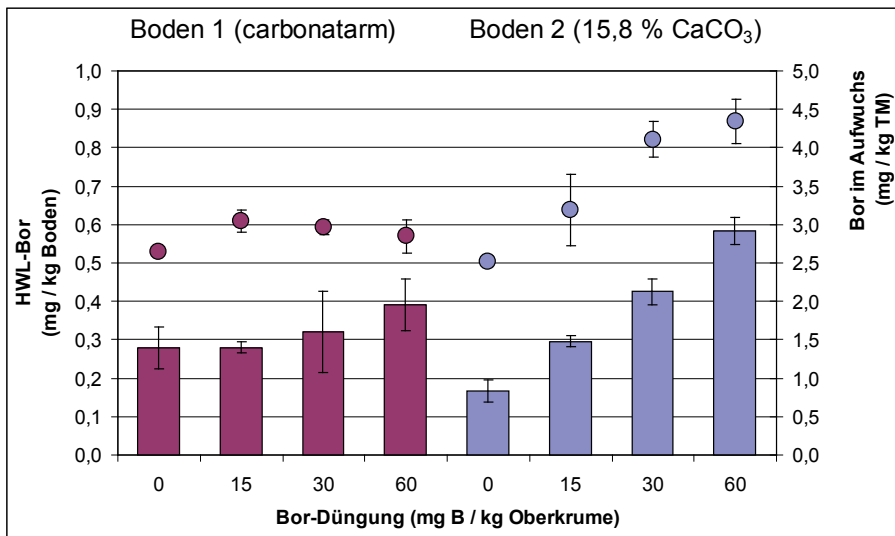


Abb. 6: HWE-Bor (Säulen) und Bor im Aufwuchs junger Winterweizenpflanzen (Marker) auf Böden mit unterschiedlichem Carbonatgehalt in Abhängigkeit von der Bor-Düngung

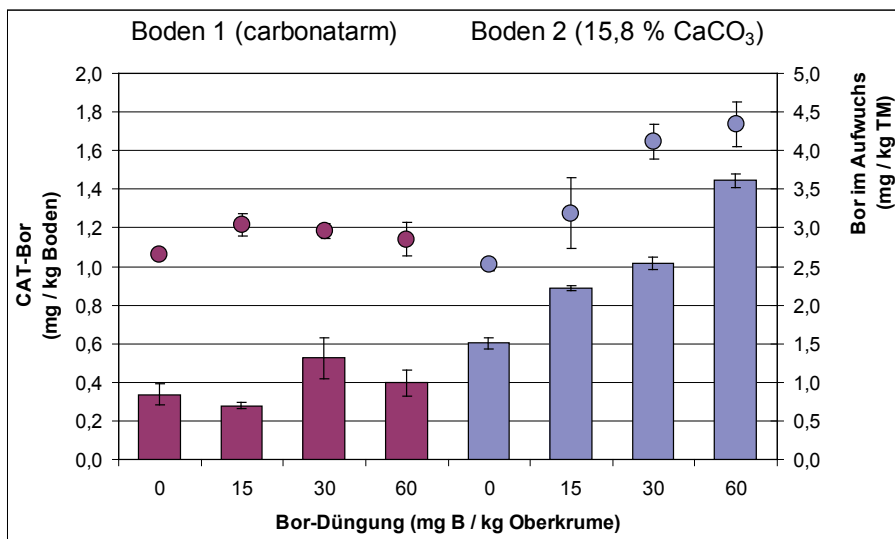


Abb. 7: CAT-Bor (Säulen) und Bor im Aufwuchs junger Winterweizenpflanzen (Marker) auf Böden mit unterschiedlichem Carbonatgehalt in Abhängigkeit von der Bor-Düngung

4. Zusammenfassung und Fazit

Die Borverfügbarkeit ist 20 Jahre nach der Bor-Düngung auf dem carbonathaltigen Boden besser als auf dem carbonatfreien Boden.

Mit der **EUF-Methode** wurde aus dem carbonathaltigen Boden wesentlich mehr Bor extrahiert als aus dem carbonatarmen Boden. Die Bor-Düngung spiegelte sich in den EUF-Werten wider. Die Bor-Verfügbarkeit auf dem Carbonatboden wird mit der EUF-Methode im Vergleich zum carbonatarmen Boden überschätzt.

Die **CAT-Methode** extrahiert aus dem carbonathaltigen Boden ebenfalls mehr Bor als aus dem carbonatarmen. Sie überschätzte die Bor-Verfügbarkeit nicht so stark wie die EUF-Methode.

Die **HWE-Methode** spiegelte die Bor-Düngung auf dem carbonathaltigen Boden zwar ebenfalls gut wider. Sie extrahierte aber aus dem carbonathaltigen Boden zu wenig Bor im Vergleich zum carbonatarmen und gemessen an der Bor-Konzentration im Weizenaufwuchs.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei allen drei Methoden das extrahierbare Bor jeweils in Abhängigkeit vom Carbonatgehalt des Bodens unterschiedlich bewertet werden muss.

5. Literatur

- Appel, T.; Seelig, J. und D. Horn, 2011: Bor-Verfügbarkeit für die Zuckerrübe in Abhängigkeit von der Bor-Düngung, der Kalkung und dem Carbonatgehalt der Böden. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 67. 195-201, Kongressband 2011 Speyer, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Fritsch, F. 2010: Ist eine Düngung mit Spurennährstoffen notwendig? Vortrag vor dem Ackerbau-Beratungsring in Münchweiler am 26.2.2010.
- Hauptka, K., 2010: Vergleichende Untersuchung zum EUF-, heißwasserlöslichen- und CAT-extrahierbarem Bor in Abhängigkeit vom Boden pH-Wert, eingestellt mit NaOH und Ca(OH)₂. Bachelorarbeit am Fachbereich 09 der Justus-Liebig-Universität, Gießen.
- Horn, D., Fürstenfeld, F., 2007: Nährstoffwechselwirkungen in Böden, Vortrag am 20.9.2007 auf dem 119. VDLUFA-Kongress in Göttingen.
- Schäfer, H., 2009: Borverfügbarkeit für die Zuckerrübe (*Beta vulgaris var. Altissima*) in Abhängigkeit von Kalkung und Bordüngung. Bachelorarbeit am Fachbereich 09 der Justus-Liebig-Universität, Gießen.
- Scheid, I. 1991: Bordüngung mit gefritteten Spurenelementen als meliorative Maßnahme in Böden mit Bormangel. Diplomarbeit am Fachbereich Agrarwirtschaft der Fachhochschule Bingen.

Modelle zur Bewertung von Stoffgehalten im Boden auf Basis der fraktionierten Analyse

I. Diethart¹, H. Unterfrauner², W. Wenzl³, R. Peticzka⁴

¹Bio Forschung Austria, Wien, ²BoWaSan, Graz, ³Lehr- und Forschungszentrum Raumberg-Gumpenstein, Irdning, ⁴Institut für Geographie, Wien

1. Einleitung

Die Bewertung komplexer Zusammenhänge in Böden ist eine Voraussetzung für eine nachhaltige Wirtschaftsweise, welche jedoch umfangreiche Bodenanalysen erforderlich macht. Die fraktionierte Analyse nach Husz (1981) stellt hierfür eine geeignete Methode dar, da für jede Probe zahlreiche Parameter getrennt nach den unterschiedlichen Verfügbarkeitsstufen -wasserlöslich, austauschbar und nachlieferbar- bestimmt werden.

Ein angestrebtes Ziel ist, die Datengenerierung zu beschleunigen und kostengünstiger zu gestalten. Der Einsatz von mathematischen Modellen zur Bewertung von Stoffgehalten soll hier die nasschemische Analyse teilweise ersetzen. In dieser Arbeit wird die Beziehung der wasserlöslichen und austauschbaren Stoffe zueinander betrachtet. Gezeigt wird, dass Prognosen von Stoffgehalten am Sorptionskomplex gemacht werden können und eine Abschätzung des Nachlieferungsvermögens von Böden möglich ist.

2. Methoden

Die in die Berechnungen eingegangenen Datensätze stammen von 550 Bodenproben, die nach dem Verfahren der fraktionierten Analyse nach Husz analysiert wurden. Die wasserlöslichen Stoffe wurden aus dem KH Extrakt ermittelt (=Bodenwassersättigungsextrakt, nach ÖNORM S2122-1, 2004), die austauschbaren Stoffe aus dem LiCl Extrakt (nach ÖNORM S2122-1, 2004 bzw. nach Husz, 2001).

Die allgemeine Bindungsintensität zur Abschätzung des Nachlieferungsvermögens wurde als Funktion der Kationensumme von Ca, Mg, K und Na in mmolc/l Bodenlösung angegeben.

Die Prognose der Prozentanteile von Ca, Mg und K am Sorptionskomplex erfolgte durch Anwendung linearer Regressionsgleichungen. Die Kationensumme wurde aus der Analyse der Kationenaustauschkapazität (KAK) ermittelt.

Die Stoffgehalte von Ca, Mg und K in mmolc/kg Boden wurden durch Partial Least Square Regression Modelle vorhergesagt. Die in die Modelle eingegangenen X-Variablen sind die Gehalte des KH-Extraktes von Ca, Mg und K in mmolc/kg Boden, KH-Wert, pH-H₂O, pH-KCl und elektrische Leitfähigkeit. Aufgrund der nicht homogenen Verteilung wurden die Daten log-transformiert. Die Prüfung der Modelle erfolgte mittels Kreuzvalidierung, wobei jede einzelne Probe des Modells mit den jeweils verbleibenden Proben prognostiziert wird.

3. Ergebnisse

Das Nachlieferungsvermögen von Böden kann über die allgemeine Bindungsintensität erfasst werden. Abbildung 1 zeigt die quantitative Beziehung der freien Kationen (SI) und dem Verhältnis der Summe der austauschbaren zu wasserlöslichen Kationen (QS). Je größer QS ist, desto stärker sind die Stoffe gebunden, d. h. das Nachlieferungsvermögen ist beschränkt. Bei einer Kationensumme von mehr als 5 mmolc/l Bodenlösung und einem QS unter 25 ist ein hohes Nachlieferungsvermögen zu erwarten. Aus der Bodenlösung durch z. B. Pflanzenentzug entnommene Stoffe werden dann rasch aus festeren Bindungsformen ersetzt.

Die Beziehung der Stoffkonzentrationen der Bodenlösung und der austauschbaren Stoffe ist für die Beurteilung der dynamischen Prozesse im Boden relevant. Um ein ausgeglichenes Nährstoffangebot und eine günstige Bodenstruktur zu gewährleisten, sollte der Sorptionskomplex wie folgt belegt sein:

Ca : Mg : K : Na = (60-90) : (5-15) : (2-5) : (< 1) (Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit, 2004; Kinsey, 2006). Die Beziehungen der prozentuellen Anteile von Ca, Mg und K an der Kationenaustauschkapazität zu den prozentuellen Anteilen in der Bodenlösung sind in Abbildung 2-4 dargestellt. Bei Ca und Mg zeigt sich ein hohes Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,71$ und $R^2=0,87$, bei K eines von $R^2=0,67$. Die Kreuzvalidierung ergab gute Korrelationen von Prognose- und Referenzwerten der austauschbaren Stoffe mit Ca $r=0,84$, Mg $r=0,89$ und K $r=0,80$.

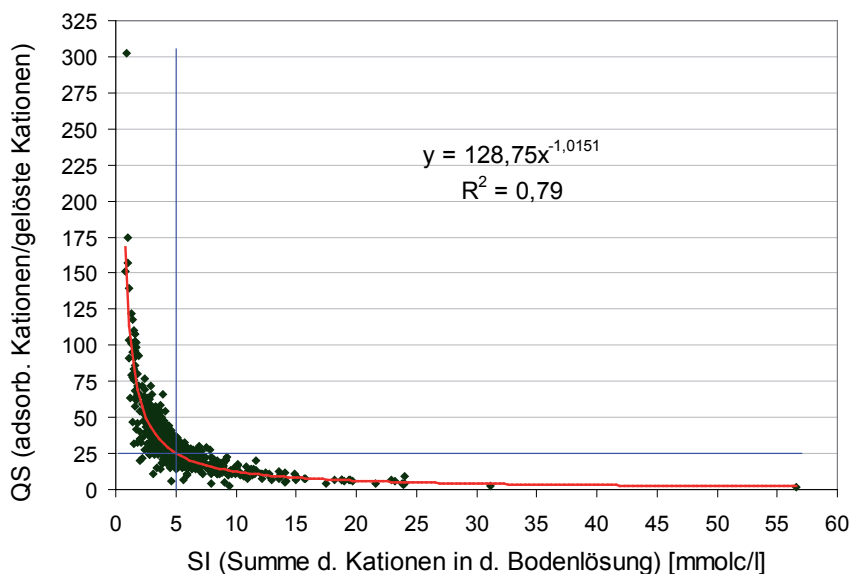


Abb. 1: Angabe der Bindungsintensität als Funktion der Kationensumme in der Bodenlösung; die geraden Linien zeigen die angenommenen Bereiche hoher und niedriger Kationenbindungen

Eine Prognose der Absolutgehalte von Ca, Mg und K am Sorptionskomplex in mmolc/kg Boden wurde mit PLS-R Modellen durchgeführt. In den Abbildungen 5-7 werden die prognostizierten Werte mit den Referenzwerten der nasschemischen Analyse verglichen, wobei die Proben nach ansteigenden Referenzwerten gereiht sind. Angegeben sind der Korrelationskoeffizient r der Validierung und die durchschnittliche absolute Abweichung des Prognosewertes vom Referenzwert. Ca und Mg zeigen sehr gute Korrelationen mit $r = 0,91$. Bei K treten bei Werten ab 3 mmolc/kg Boden höhere Abweichungen in der Prognose auf, der Korrelationskoeffizient beträgt $r = 0,88$.

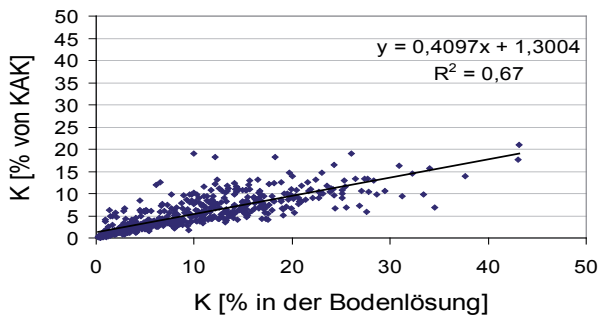
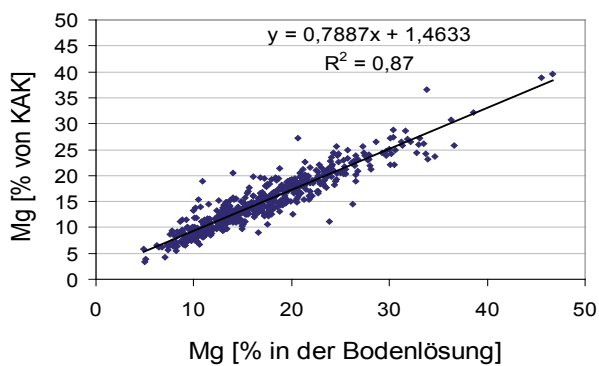
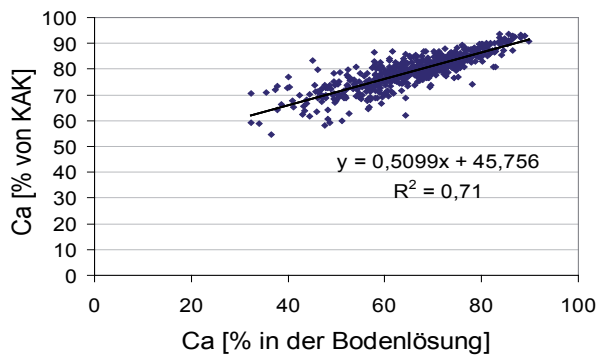


Abb.2-4: Verhältnis der wasserlöslichen (%in der Bodenlösung) zur austauschbaren (% von KAK) Fraktion bei Ca, Mg und K

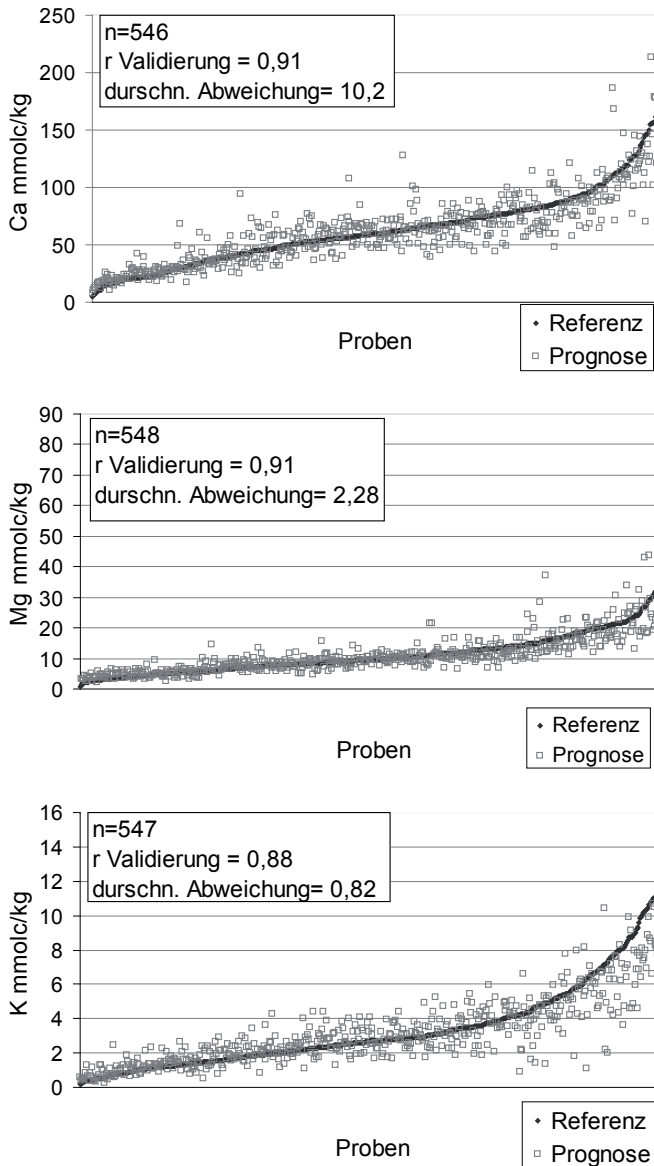


Abb.5-7: Prognose- und Referenzwert der Stoffgehalte am Sorptionskomplex von Ca, Mg und K in mmolc/kg Boden. Angabe der Probenanzahl n , Korrelationskoeffizient r der Validierung und die durchschnittliche absolute Abweichung des Prognosewertes vom Referenzwert

4. **Conclusio**

Aufgrund der engen Beziehung von wasserlöslichen und austauschbaren Stoffen können mathematische Modelle zur Bewertung von Stoffgehalten im Boden herangezogen werden.

Die aus dem KH-Extrakt ermittelten Stoffgehalte erweisen sich zur Bestimmung der austauschbaren Stoffe von Ca, Mg und K als sehr gut geeignet, wobei sowohl die prozentuellen Anteile als auch die Absolutgehalte prognostiziert werden können. Die allgemeine Bindungsintensität, die eine Abschätzung des Nachlieferungsvermögens des Bodens ermöglicht, kann über die Kationensumme im KH-Extrakt berechnet werden.

Somit lassen sich erste Bewertungen von Böden anhand der generierten Daten der Modelle und der nasschemischen Analysedaten aus dem KH-Extrakt vornehmen.

5. **Literatur**

Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz des BMLFUW, 2006: Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 6. Auflage.

Husz, G., 1981: Bodenuntersuchungssystem nach Husz. Erläuterung und Darstellung der wissenschaftlichen Grundlagen des Bodenuntersuchungssystems Nach G. Husz unter Hervorhebung der Unterschiede und Vorteile gegenüber der wichtigsten üblichen in- und ausländischen Verfahren. Forschungsauftrag Nr: ZI.24.000/56-II13/81.

Husz, G., 2001: Lithium Chlorid solution as an extraction agent for soils. J. Plant Nutrition, Soil Science, 164. 57/4B.

Kinsey, N., Walters, C., 2006: Hands on Agronomy, Understanding Soil Fertility & Fertilizer Use. Revised and expanded edition. Acres USA. ISBN: 0-911311-95-5.

ÖNORM S2122-1, 2004: Erden aus Abfällen, Teil 1: Fraktionierte Analyse-Untersuchungsmethoden. Österreichisches Normungsinstitut, 1020 Wien.

Güllemonitoring mit nasschemischen, spektroskopischen und elektroanalytischen Methoden

W. Wenzl¹, B. Steiner¹, L. Haberl¹, W. Somitsch², A. Gilhofer³

¹HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, ²Technisches Büro, Wien, ³BIOLAB, Haslach-Mühl

1. Einleitung

Gülle ist ein intermediäres Produkt im landwirtschaftlichen Rückstrom der Nährstoffe und ein wichtiger Dünger, andererseits ein Gefahrenstoff für die Gesundheit von Mensch und Tier, die Umwelt, den Boden und den Pflanzenbestand. Im Interesse einer guten landwirtschaftlichen Praxis (GLP) sollten dem Landwirt die wertbestimmenden Inhaltsstoffe - allen voran Stickstoff und dessen Fraktionen - bekannt sein, sodass aus der Sicht der Nährstofffrachten eine bestmögliche Rückführung erreicht werden kann. Darüber hinaus ist es naheliegend, dass in der Zusammensetzung von Gülle auch bestimmte Kriterien für Fütterung und Verdauung analytisch erkannt werden könnten. Um diese Ziele zu erreichen sowie schließlich auch die Qualität von Gülle mit einem geringstmöglichen Aufwand und zu vertretbaren Kosten zu verbessern, scheint es notwendig, die Nährstoffgehalte und die Dynamik der Nährstoffe zu verfolgen.

2. Ausgangslage und Zielsetzung

Die Analyse von Gülle ist im Zusammenhang mit gesetzlichen Vorgaben in der Praxis in erster Linie auf die Komponenten Stickstoff und Phosphor ausgerichtet. Dazu werden herkömmliche nasschemische aber auch spektroskopische Methoden herangezogen. Aufwändiger Versand, Analysenkosten und eine geringe Motivation zur Nährstoffbilanzierung auf der Basis von realen Hofdaten anstelle von Tabellen haben bisher verhindert, dass die Gülleanalytik eine weite Verbreitung gefunden hätte. Im Zuge der Entwicklung eines spektroskopischen Schnelltests zur Bewertung der düngungswirksamen Inhaltsstoffe (NIRS-NANOBAG®-METHODE) wurden Hinweise auf die große Heterogenität von Gülle in der Zusammensetzung und den relativen Verhältnissen der Gehaltswerte zueinander sowie auf die Unterschiedlichkeit der pH-Werte erhal-

ten. Könnte der pH-Wert von Gülle gezielt und dauerhaft unter der Marke von 7 gehalten werden, würde man die Nährstoffverluste in Form von Ammoniak und Geruchsemissionen weitgehend vermeiden können. (Bussink, 1998). Daher sollten bei einer größeren Anzahl von Gülleproben die Gehaltsdaten in einen Zusammenhang zum jeweiligen pH-Wert gebracht werden. Ein Monitoring des pH-Werts von Gülle sollte auch eine Abbildung des zeitlichen Verlaufs dieses Schlüsselparameters in Abhängigkeit von Temperatur und Rahmenbedingungen ermöglichen. Auf diese Weise sollte eine Datengrundlage geschaffen werden, mit der Maßnahmen nicht nur im Hinblick auf die Düngung sondern auch auf eine Minderung von Emissionen durch optimierte Fütterung und Güllebehandlung abgeleitet werden können. Neue Messmethoden für die Einzelanalyse wie das NANO BAG®-Verfahren aber auch die Monitoring-Methode mit Hilfe der GÜKON®-Lanze sollen dazu eingesetzt werden.

3. Material und Methoden

Die im Zuge der Entwicklung der NIRS-NANO BAG® - Methode für eine Gülle-Schnellanalyse nasschemisch und spektroskopisch erhaltenen Ergebnisse von 253 Rinder- und Schweinegülle wurden herangezogen und die Daten weiter ausgewertet. In den NANO BAG®, der eine genau abgewogene Menge des mineralischen Trägermaterials enthält, werden ca. 25 g einer homogenisierten Gülleprobe eingefüllt und mit dem Trägermaterial homogen vermischt. Nach Rückwaage wird bei 45-50°C für 16 bis 24 Stunden getrocknet und mit einem Mörser zerstoßen, sodass eine rieselfähige Körnung (0-2 mm) entsteht. Ein Teil der so vorbehandelten Probe wird in eine Messküvette eingefüllt und das NIR-Reflexionsspektrum mit einem NIRS-Spektroskop im Wellenlängenbereich von 1 100 bis 2 500 nm gemessen und mit geeigneten Kalibrierfunktionen nach dem statistischen Algorithmus der PLS 1 (partial least square, 1 Parameter) ausgewertet. In den Datensätzen wurden die pH-Werte mit den C/N-Quotienten, den Stickstoff-, Asche- und Trockensubstanzgehalten in Zusammenhang gebracht. Für ein Monitoring des pH-Werts wurde die GÜKON®-Messlanze aus Edelstahl mit einer METTLER-pH-Sonde eingesetzt. Die Werte wurden mit Hilfe einer Elektronik-Box ausgelesen und im Internet unter BETA-MY-DATA-NET permanent bereitgestellt, um auch einen zeitlichen Verlauf des Schlüsselparameters „pH-Wert“ in Abhängigkeit von Temperatur und anderen Rahmenbedingungen zu erhalten.

4. Ergebnisse und Diskussion

Es zeigte sich bei etwa einem Viertel aller Proben ein pH-Wert von unter 7,0, wobei der niederste Wert bei Rindergülle 6,2 betrug.

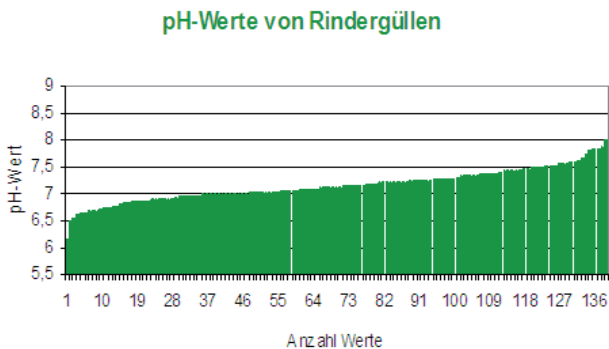


Abb. 1: Histogramm der pH-Werte von Rindergüllen

Tab. 1: pH-Wert-Bereiche und Prozentanteile in Rindergüllen

Bereich	5,5-6,99	7,0-7,49	7,5-8,0
Anteil von 139	39	81	19
%	28	58,3	13,7

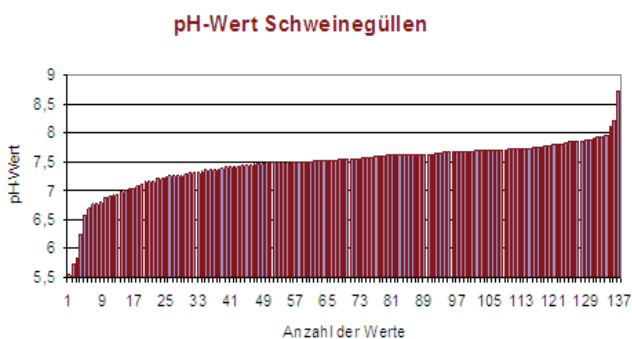


Abb. 2: Histogramm der pH-Werte von Schweinegülle

Tab.2. pH-Wert-Bereiche und Prozentanteile in Schweinegülle

Bereich	5,5-6,99	7,0-7,49	7,5-9,0
Anzahl von 137	14	44	79
%	10,2	32,1	57,7

In der Abbildung 3 ist der Zusammenhang der pH-Werte und der mittleren Stickstoffgesamtgehalte entsprechend den Ordinalskalen von Rindergülle dargestellt. Hohe N-Werte führen zu einer zunehmenden Alkalisierung, wogegen weite Kohlenstoff-Stickstoffverhältnisse (C/N-Werte) niedrigere pH-Werte bewirken, wie Abbildung 4 zeigt:

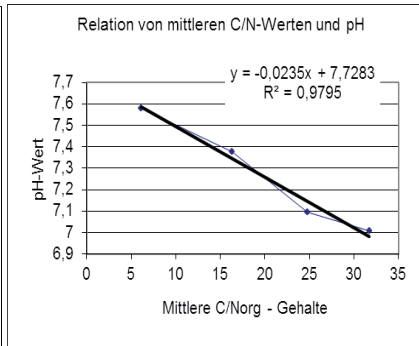
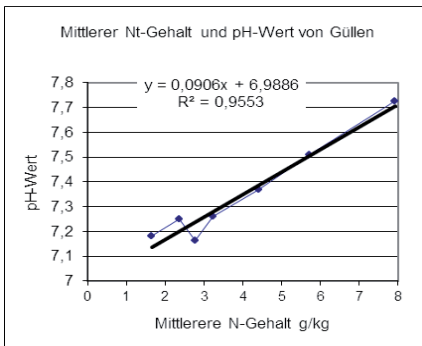


Abb.3: Relation pH-Wert zu N-Gehalt

Abb.4: Relation pH-Wert und C/N

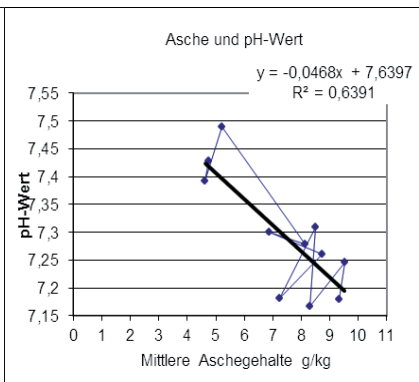
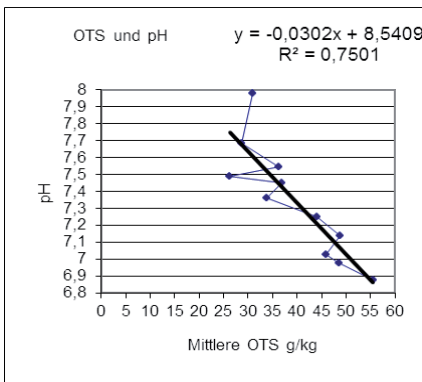


Abb.5: Relation pH-Wert zu OTS

Abb.6: Relation pH-Wert zu Asche

Wie die Abbildungen 5 und 6 zeigen, wurden aus den Ordinalskalen die Zusammenhänge von Organischer Trockensubstanz sowie Asche und pH-Werte in Rindergüllen ermittelt. In der Abbildung 7 wird der Zusammenhang der C/N-Verhältnisse zum pH-Wert im Überblick dargestellt. Ein Richtwert von 10:1 (unterbrochene Linie in Abbildung 7) wird z. B. in einem niederländischen Projekt (Stuiver, 2008) als erstrebenswert beschrieben. Fütterungsbilanzen geben darüber Auskunft, wie dieser Wert im Hinblick auf eine optimale Futternutzung und gesetzte Umweltziele erreicht werden kann. Die Histogramme (Abb. 1 und 2) zeigen, dass unter der Annahme eines entscheidenden Einflusses der Ration auf den pH-Wert der Gülle, in der Rinderhaltung etwa die Hälfte, in der Schweinezucht ein Drittel aller Betriebe eine gezielte Fütterung bzw. Eiweiß-Energiezufuhr erreichen.

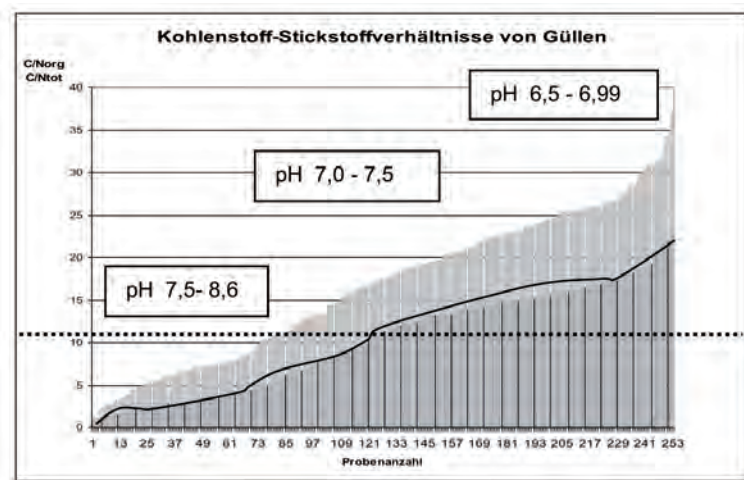


Abb. 7: pH-Wert-Bereiche in Abhängigkeit von C/N_{org} und C/N_{tot}

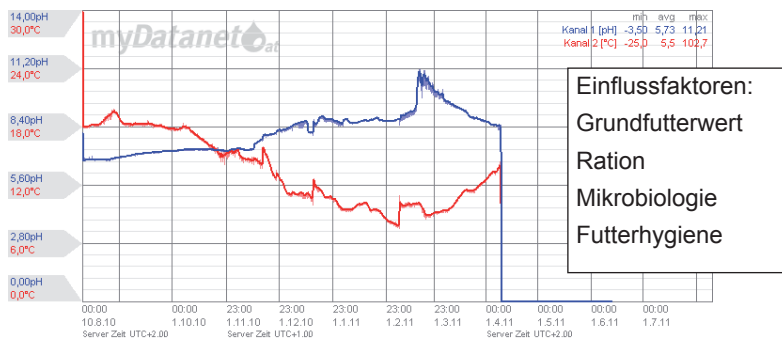


Abb.8: Zeitverlauf des pH-Werts in Abhängigkeit von der Ration

Die Abbildung 8 zeigt den Verlauf von Temperatur und pH-Wert im Zeitraum von 248 Tagen. Zu Beginn des Versuchs lag der Wert bei 6,8 und erreichte durch Umstellung der Fütterung einen Spitzenwert von 11,2 und ging nach der Reduktion des Proteinangebots auf 8,4 zu Ende des Versuchs zurück.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit Schnellanalysen nach dem NANOBAG®-Verfahren und durch eine kontinuierliche Messung mit Hilfe der GÜKON®-Lanze wurden Gülle analysiert. Es konnte die pH-Abhängigkeit zum Stickstoffgehalt, zur Organischen Trockensubstanz, zu C/N_{org} - C/N_{tot} -Verhältnissen sowie zum Rohaschegehalt gezeigt werden. Ein zunehmender Stickstoffgehalt erschien tendenziell als pH-Wert erhöhend, wogegen mehr Trockensubstanz, weite C/N-Verhältnisse und ein höherer Mineraliengehalt pH-erniedrigend wirkten. Im Sinne einer Prozessanalyse konnte ein mehrmonatiger Verlauf des pH-Werts und damit auch ein fütterungsbedingter Einfluss auf die Emission von Ammoniak verfolgt und die Qualität von Gülle gezielt durch die Rationsgestaltung gesteuert werden. Möglicherweise weitere ausschlaggebende Einflussfaktoren auf den pH-Wert der Gülle wie hygienische Gegebenheiten im Stall werden neben Additiven und mikrobiologischen Verhältnissen des Futters im FFG-MINAMMON-Projekt (2011-2013) im Rahmen der „Guten Landwirtschaftspraxis“ weiter untersucht.

6. Literaturangaben

- Bussink, D.W., Oenema O., 1998: Ammonia volatilization from dairy farming systems in temperate areas: A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51, 19-33.
- FFG-Projekt MINAMMON, 2011: Integriertes Verfahren zur Optimierung des Stickstoffflusses in der Tierhaltung, BMVIT.
- Stuiver, M., 2008: Regime change and storylines, a sociological analysis of manure practices in contemporary Dutch dairy farming, PhD-thesis Wageningen University.
- Wenzl W., Haberl L., Steiner B. und Gruber L., 2008: ALVA FRÜHJAHRSTAGUNG 2008: Möglichkeiten und Grenzen der Gülleanalytik mittels Nanobag® und NIRS.

Langzeituntersuchungen zur N-Auswaschung aus landwirtschaftlich genutzten Böden im Thüringer Becken unter der Bedingung empfehlungskonformer und praxisüblicher Bewirtschaftung

S. Knoblauch

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Einleitung

Die EU-WRRL verfolgt das Ziel 50 mg/l NO_3 in Grund- und Oberflächengewässer zu unterschreiten. Eine an nachhaltiger Entwicklung orientierte Landwirtschaft hat Sorge zu tragen, die Biotop- und Regelungsfunktion der Ökosphäre nicht schwerwiegend zu beeinträchtigen, ohne dabei die Ertragsfähigkeit der Böden zu schmälern (Eckert, 2005). Das anzustrebende Optimum des N-Saldos, von dem die N-Befruchtung der Gewässer wesentlich abhängt, liegt deshalb bei Null zzgl. unvermeidbarer N-Auswaschungsverluste. Zzgl. eines Toleranzbereiches, der nicht kontrollierbare Ertragsschwankungen berücksichtigt, ergeben sich daraus Schwellenwerte für N-Salden, mit denen der Landwirt seine Bewirtschaftung überprüfen kann. Da die Höhe der unvermeidbaren N-Auswaschung stark von Boden und Klima abhängt, müssen diese Werte standortabhängig vorgegeben werden. Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft hat im Jahr 2005 die Modellanlage Buttstedt um zwölf Lysimeter zur Bestimmung des unvermeidbaren N-Austrages für zwei für das Thüringer Becken typische Böden erweitert. Inzwischen liegt eine 7-jährige Messreihe vor, die gemeinsam mit einer 17-jährigen Messreihe über den Einfluss praxisüblicher Bewirtschaftung auf die N-Auswaschung dargestellt wird. Im Jahr 2009 haben Wissenschaftler landwirtschaftlicher Landesanstalten aus fünf Bundesländern eine „Kooperation Lysimeter“ gegründet, um solche langjährigen Messreihen vergleichend für eine breite Anwendung in der landwirtschaftlichen Praxis auszuwerten. Ziele der Kooperation werden in dieser Schrift kurz vorgestellt.

2. Material und Methoden

Die Lysimeter Buttstedt weisen eine Oberfläche von 2 m² und eine Tiefe von 2 bzw. 2,5 m auf. Sie sind monolithisch befüllt, inmitten eines Feldschlages installiert (Abb. 1) und kontinuierlich wägbar mit einer Genauigkeit von 0,05 mm. Das

Sickerwasser wird teils gravitativ über eine Filterstrecke aus Quarzschluff und -sand (Para-Rendzina), teils unter Einwirkung eines Unterdruckes über Saugkerzen (Braunerde-Tschernosem) gewonnen.



Abb. 1: Ansicht der Lysimeteranlage Buttelsstedt

Die Bodenwassermessstelle auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche besteht aus mehreren, in 1,8 m Tiefe nebeneinander angeordneten Trichterlysimetern ($6 \times 0,5 \text{ m}^2$), die das Sickerwasser in Sammelbehälter ableiten. Die Sickerwassermenge wird mittels eines Verdunstungsmodells berechnet.

Versuchsböden sind im Lysimeterversuch ein tiefgründiger Braunerde-Tschernosem aus Löß und eine Para-Rendzina aus unterem Keuper (Tab. 1). Beim Braunerde-Tschernosem handelt es sich um einen durchgängig schluffigen Lehm. Die nFKwe bemisst sich auf etwa 200 mm. Die Para-Rendzina ist aus carbonathaltigen Mergelgesteinen hervorgegangen und der Ap/Ah-Horizont der Bodenart Ton zuzuordnen. Darunter folgen tonige, schluffige und lehmige Verwitterungsprodukte des unteren Keupers mit im Tiefenverlauf wechselnden Korngrößenanteilen und Skelettgehalten. Die nFKwe beläuft sich auf etwa 145 mm. Der Boden der landwirtschaftlichen Nutzfläche ist eine Schwarzerde aus Decksediment über periglaziale Schutt und Tonmergeln des unteren Keupers (Tab. 1). Unter einem lehmigen Ap/Ah-Horizont lagert stark wasserdurchlässiger Schutt über Tonmergeln. Die nFKwe beträgt etwa 93 mm.

Klimatisch gehört der Versuchsstandort (Lysimeter, Praxisfläche) zum mitteldeutschen Binnenlandklima (544 mm vieljähriger Niederschlag, $8,3^\circ\text{C}$ vieljährige Temperatur).

In den Versuchsjahren 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 und 2011 war es durchweg

zu warm, im Jahr 2010 etwas zu kühl. In den Jahren 2005 und 2006 herrschten sehr trockene Verhältnisse vor, im Jahr 2006 vor allem während der Vegetationszeit. Das Jahr 2007 war ab Mai überdurchschnittlich feucht. Im Jahr 2008 folgte einem feuchten Winter ab Mai ein trockener Sommer. Im niederschlagsnormalen Jahr 2009 fiel der Sommer etwas zu trocken aus. Das Jahr 2010 war deutlich zu feucht, vom trockenen Juni abgesehen. Das Jahr 2011 zeigte sich deutlich zu trocken, vor allem von Februar bis Mai.

Tab. 1: Ausgewählte Eigenschaften der Versuchsböden

Horizont	Tiefe cm	ρ_t g cm ⁻³	Ske- lett G.-%	Ton %	Boden- art	nFK pF 2,5 Vol.-%	C _{org} %	pH CaCl ₂
Braunerde-Tschernosem aus Löß								
Ap/Ah	..43	1,39	0,08	26,6	Lu	11,2	1,5	6,6
Ah-Bv	..65	1,49	0,08	29,4	Lu	7,2	0,8	6,7
Ckc	..195	1,58	5,3	20,7	Lu	10,3	0,2	7,6
Para-Rendzina aus unterem Keuper								
Ap/Ah	..22	1,46	29,3	42,4	Lt3	13,2	1,23	7,6
II-VI eIcV	..154	1,84	44,0	27,2	Ls2, Lu	13,1	0,26	7,3
VII-IX Cn	..200	n. b.	54,3	30,4	Lu, Tu3	12,2	0,4	7,1
Schwarzerde aus Decksediment ü. periglaziale Schutt u. Keuperton								
Ap/Ah	..45	1,48	3,2	28,2	Lt2	11,8	1,72	7,0
Ah-Cv	..48	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	1,3	6,8
II Cv	..100	0,8	78,6	16,7	Ls3	4,4	0,2	7,4
III Cv	..190	1,7	16,9	30,1	Lt2	12,3	0,1	7,4

n. b. = nicht bestimmt

Die N-Düngung bemisst sich im Lysimeterversuch nach dem Stickstoff-Bedarfs-Analyse-System der TLL (fruchtartenabhängige N-Sollwerte plus/minus Zu- und Abschläge minus pflanzenverfügbare Boden-N_{min}-Gehalte) und der Pflanzenanalyse zur Präzisierung der 2. und 3. N-Gabe. Es werden eine mineralische (Var. 1) und eine mineralisch-organische Düngungsvariante mit 50 kg/ha Gülle-N im Mittel der Fruchtfolge (Var. 4) geprüft. Der Gülle-N wird zu 100 % angerechnet. Zwei begleitende Feldversuche untersuchen die gleichen Varianten für die Bestimmung der Bodennährstoffgehalte sowie zwei zusätzliche Varianten

mit höherer N-Düngermenge, um zu prüfen, ob im Lysimeterversuch der Optimalertrag erreicht wird. Die Fruchtfolge ist Silomais/ Sorghum bic., Braugerste, Winterraps und Eliteweizen. Das Stroh bleibt auf dem Feld. Die N-Düngung der landwirtschaftlichen Nutzfläche erfolgt praxisüblich unter Beachtung der Regeln der „Guten fachlichen Praxis“. In der Fruchtfolge finden sich Winterweizen, Sommergerste, Winterraps, Silomais und Körnererbsen.

3. Ergebnisse

3.1 Para-Rendzina aus Keuper und Braunerde-Tschernosem aus Löß unter empfehlungskonformer N-Düngung

Die NO_3 -Konzentration des Sickerwassers der Para-Rendzina aus unterem Keuper zeigte im Verlauf der sieben Jahre eine abnehmende Tendenz von 81 bis 210 mg/l (Jahresmittelwerte der Lysimeter) im Jahr 2005 auf 20 bis 58 mg/l im Jahr 2011 (Abb. 2).

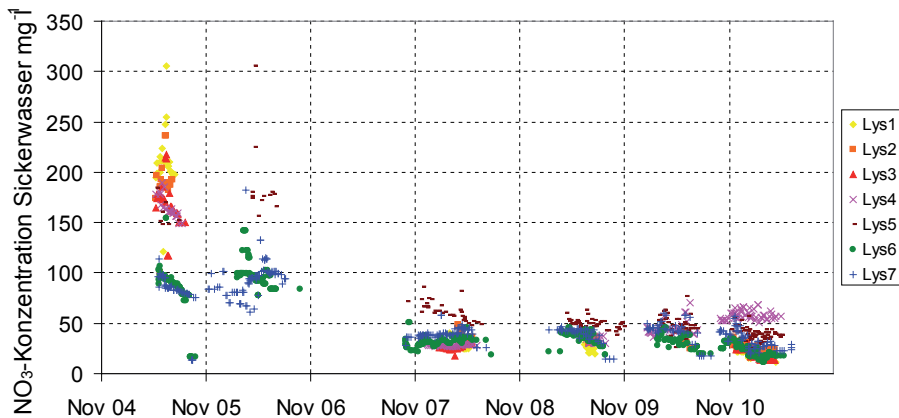


Abb. 2: Verlauf der NO_3 -Konzentration des Sickerwassers der Para-Rendzina aus unterem Keuper in den Jahren 2005 bis 2011 (Lys 1,2,6,7...min, Lys 3,4,5...min-org)

Trotz zunehmender Sickerwassermenge war auch bei den N-Austrägen eine rückläufige Tendenz zu verzeichnen (Abb. 3). Im Mittel der Jahre betrug die NO_3 -Konzentration des Sickerwassers unter dem Einfluss mineralischer N-Düngung 49 mg/l und der N-Austrag 5 kg/ha. Unter mineralisch-organischer Düngung

beliefsich die NO_3 -Konzentration auf 56 mg/l und der N-Austrag auf 4,2 kg/ha und unterschied sich nicht signifikant von der mineralischen Variante. Für die Ableitung der Größe der unvermeidbaren N-Auswaschung ist der 7-jährige Untersuchungszeitraum aber noch zu kurz.

Die Sickerwassermenge betrug im Mittel der Jahre 40 mm/a mit einer beträchtlichen Schwankungsbreite zwischen den Jahren und Lysimetern (Abb. 3).

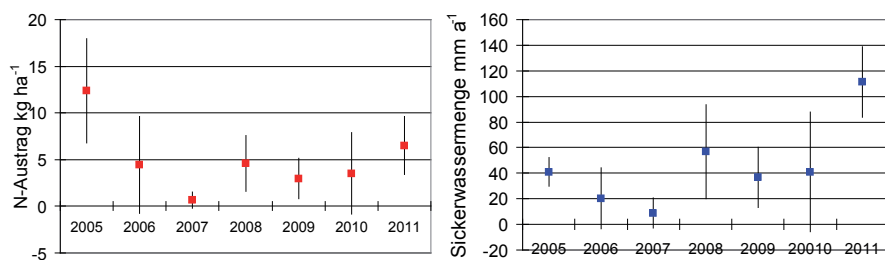


Abb. 3: Verlauf des N-Austrages und der Sickerwassermenge der Para-Rendzina aus unterem Keuper unter mineralischer Düngung in den Jahren 2005 bis 2011

Unter Annahme eines Verweilzeitvolumens von 70 % und einer Feldkapazität von 30 Vol. % ergibt sich eine theoretische Verlagerungsstrecke des Bodenwassers im Zeitraum von 2005 bis 2011 von 83 (Lys 1,2,3) bis 230 cm (Lys 6,7). Das bedeutet, im Verlauf der sieben Jahre hat es einen etwa ein- bis zweimaligen Austausch des Bodenwassers gegeben und die N-Auswaschung kann mit der Bewirtschaftung in Verbindung gebracht werden.

Auf dem Braunerde-Tschernosem aus Löß gab es von 2005 bis 2010 kein Sickerwasser. Im Jahr 2011 wurden 42 mm/a Sickerwasser gebildet mit einer NO_3 -Konzentration von 9 mg/l und einem N-Austrag von 0,85 kg/ha. Bei einer Austauschrate von 2 % ist die Gegenüberstellung zur Bewirtschaftung nach 7 Jahren noch nicht sinnvoll.

Unter der Bedingung empfehlungskonformer N-Düngung mit N-Sollwerten von 190, 90, 210 und 170 kg/ha N und pflanzenverfügbaren Boden- N_{\min} -Gehalten von 60, 48, 28, 60, 57, 45 und 24 kg/ha wurden auf der Para-Rendzina im Mittel der Jahre 131 kg/ha N zur wachsenden Frucht gedüngt (Tab. 2) und N-Zufuhr-Abfuhr-Salden von -3 und -5 kg/ha in den beiden Düngungsvarianten erzielt.

Die standortabhängigen Zielerträge wurden bei Silomais (179 bis 189 dt/ha), Eliteweizen (81 bis 91 dt/ha) und Winterraps im Jahr 2011 (51 und 52 dt/ha) erreicht, in den Jahren 2006, 2007 mit Anbau von Braugerste und 2010 mit Winterraps witterungsbedingt nicht. Eine um 30 % erhöhte N-Düngung führte nur in einem Jahr zu einem signifikanten Mehrertrag und zeigt, dass empfehlungskonforme N-Düngung i. d. R. keinen unteroptimalen Ertrag zur Folge hatte.

Tab.2: N-Düngung und N-Zufuhr-Abfuhrsaldo der Ackerkulturen auf der Para-Rendzina aus unterem Keuper in den Jahren 2005 bis 2011

	N-Düngung		N-Zufuhr-Abfuhr-Saldo ²⁾	
	min	min-org	min	min-org
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
Silomais	110	10+100G	-94	-100
Braugerste	40+25 ¹⁾	35+50G	-20	-12
Winterraps	180	130+50G ¹⁾	+62	+69
Eliteweizen	170	180	-11	-32
Sorghum bic.	153	54+100G	-36	-29
Braugerste	55+25 ¹⁾	53+50G ¹⁾	+10	+11
Winterraps	211	152+50G	+66	+57
			-3	-5

¹⁾ 25 kg/ha Min-N bzw. 50 kg/ha Gülle-N zur Rotte von Braugerste-Stroh ²⁾ N-Zufuhr durch Düngung minus N-Abfuhr über Erntegut

3.2 Schwarzerde aus Decksediment über periglaziale Schutt und Tonmergeln unter praxisüblicher Bewirtschaftung

Die sehr hohen NO₃-Konzentrationen zu Beginn der Untersuchungen (427 mg/l im Mittel der Jahre 1994 und 1995) sind als Folge eines hohen N-Überschuss-Saldos im Jahr 1988 und darauffolgender trockener Jahre mit Austauschraten des Bodenwassers von 6 bis 40 % zu sehen. Überdurchschnittliche Sickerwassermengen in den Jahren 1994 und 1995 führten zu N-Austrägen von 160 und 60 kg/ha. In Verbindung mit mehrjährig empfehlungskonformer Düngung und negativem N-Saldo von -48 kg/ha von 1989 bis 1994 sinkt die NO₃-Konzentration bis auf 42 mg/l im Jahr 2003, obwohl die Bewirtschaftung in diesem Zeitraum (1995 bis 2003) einen N-Überschuss-Saldo von +55 kg/ha hervorbringt. Der NO₃-Peak in den Jahren 2005 und 2006 und die hohen N-Austräge in den nie-

derschlagsreichen Jahren 2007 und 2009 können allerdings mit diesem N-Überschuss in Zusammenhang gebracht werden. Austauschraten des Bodenwassers von 0 bis 59 % bei einer Sickerwasserspende von durchschnittlich 90 mm/a erklären diese zeitlich verzögerte Reaktion der N-Auswaschung auf die Bewirtschaftung. Wenngleich dadurch Jahres-N-Überschüsse im Folgejahr noch von der Pflanze aufgenommen werden können, ist es gerade dieses Verhalten des Standortes, das seine Verlagerungsdisposition mit bestimmt. In mehreren aufeinanderfolgenden Trockenjahren infolge von Ertragseinbrüchen aufsummierte N-Überschüsse werden in darauffolgenden niederschlagsreichen Jahren über die wasserdurchlässigen Schuttdecken zu einem großen Anteil ausgewaschen und begründen die Annahme, dass die unvermeidbare, vom Landwirt nicht beeinflussbare N-Auswaschung auf diesem Standort überdurchschnittlich ist.

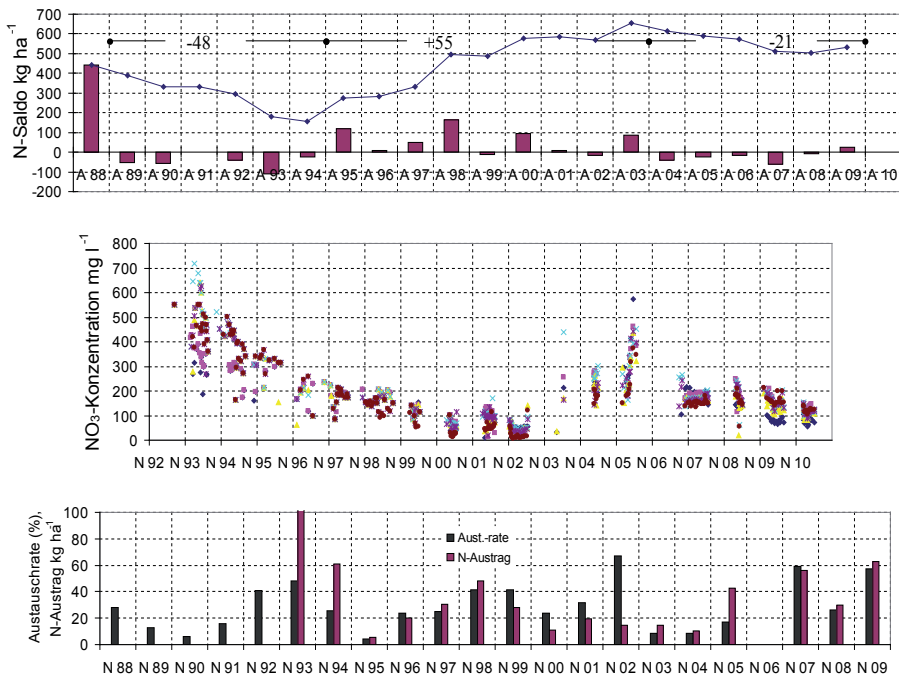


Abb. 4: Verlauf der NO₃-Konzentration des Sickerwassers, der N-Zufuhr-Abfuhr-Salden (Jahreswert, kumulativ), der Austauschrate des Bodenwassers und des N-Austrags in den Jahren 1994 bis 2010

Die ersten beide Jahre unbeachtet gelassen, steht gemittelt über einen Zeitraum von 15 Jahren (1996 bis 2010) einem N-Saldo von +25 kg/ha ein N-Austrag von

26 kg/ha gegenüber und beträgt die NO_3 -Konzentration 128 mg/l. Selbst im Zeitraum von 1995 bis 2003 mit einem N-Überschuss von +55 kg/ha war zumindest die N-Düngung zur wachsenden Frucht mit 124 kg/ha Mineral-N weitgehend empfehlungskonform. In zwei der neun Jahre wurde im Herbst Stallmist ausgebracht (zu Silomais in den Jahren 1989 und 1999), in einem Jahr zur Strohrotte Gülle. Im Mittel der Jahre ergab das 61 kg/ha organischen N. Allerdings blieben die Erträge in den trockenen Jahren hinter den Erwartungen zurück (1997 und 2000 47 und 43 dt/ha Eliteweizen, 2002 38 dt/ha Braugerste, 2003 36 dt/ha Winterraps). Der langjährige N-Überschuss-Saldo von 25 kg/ha kann als Ergebnis „guter fachlicher Praxis“ gewertet werden. Eine NO_3 -Konzentration von 50 mg/l mit diesem aus Sicht der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit akzeptablen N-Überschuss-Saldo ist auf diesem auswaschungsgefährdeten Standort allerdings kaum erreichbar.

4. Kooperation Lysimeter/Bodenwassermessstellen

Ziel der Kooperation ist es, standort-, pflanzenart-, bewirtschaftungssystem-abhängiges Wissen in Standpunkten, Richtwerten, Publikationen zusammenzutragen und in Management- und Informationssystemen umzusetzen für die Anwendung in der landwirtschaftlichen Praxis. Die Partner der Kooperation bringen langjährige Messreihen unter dem Einfluss sehr differenzierter Bewirtschaftungsvarianten und Standortverhältnisse ein (Abb. 5). Der Schwerpunkt der Zusammenarbeit liegt derzeit in der Erarbeitung der gemeinsamen Schrift „Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf N-Auswaschung anhand langjähriger Lysimetermessungen in Mitteldeutschland und Schlussfolgerungen für die Minimierung der N-Befrachtung der Gewässer“ mit der Ableitung von Positionen zu:

- Verlagerungsdisposition der untersuchten Böden
- Gewässerverträgliche Managementstrategien, standortabhängig
- Abschätzung der Größe der standortabhängigen unvermeidbaren N-Auswaschung, insofern die Versuchsanstellung es zulässt
- Grenzen und Möglichkeiten landwirtschaftlicher Nutzung für die Minimierung der N-Auswaschung in die Gewässer

5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Unter der Bedingung optimierter N-Düngung sinkt die NO_3 -Konzentration auf der Para-Rendzina auf etwa 50 mg/l, allerdings mit leicht negativem N-Saldo. Langfristig sind negative N-Salden aus Gründen der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit ebenso wenig tolerierbar wie deutlich zu positive. Unter praxisüblicher Bewirtschaftung mit einem akzeptablen N-Überschuss von +25 kg/ha auf einem allerdings stärker auswaschungsgefährdeten Standort werden 50 mg/l nicht erreicht. Durch Zusammenarbeit in der „Kooperation Lysimeter“ ergeben sich eine Fülle von Erkenntnissen über Grenzen und Möglichkeiten landwirtschaftlicher Nutzung für den Schutz der Gewässer.

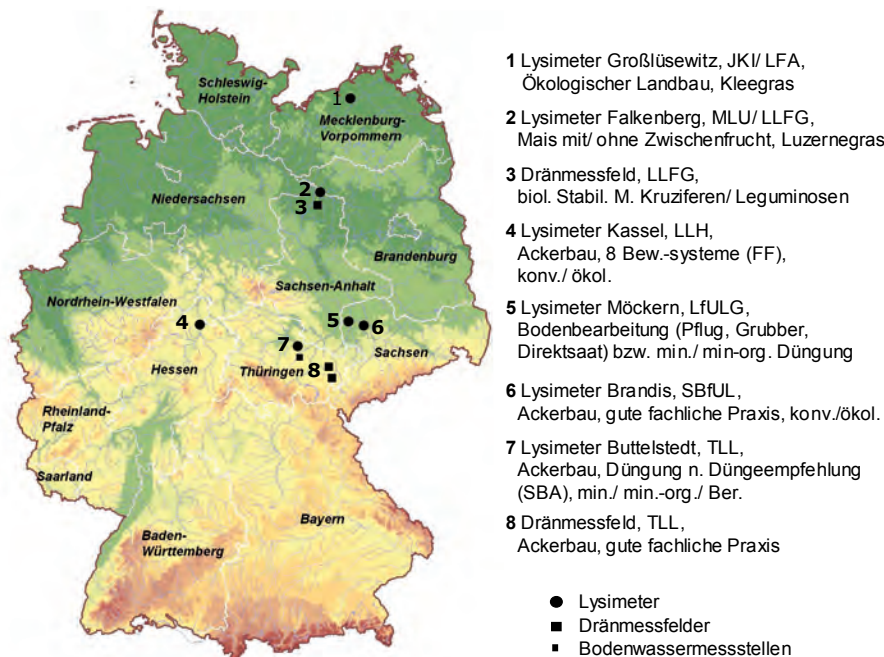


Abb. 5: Partner der Kooperation Lysimeter/Bodenwassermessstellen, Stand 2011 (Versuchsstation, Kurzzeichen der Einrichtung, Bewirtschaftungsvarianten)

Langjährige Lysimeteruntersuchungen zum N-Austrag mit dem Sickerwasser unter einem lehmigen Sand

C. Strauß¹, M. Schrödter¹, J. Seeger², R. Meißner²

¹Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Bernburg, ²Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH- UFZ, Department Bodenphysik, Lysimeterstation Falkenberg

1. Zielstellung

Auf der Lysimeterstation Falkenberg des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) wurden von 1991 bis 2009 Lysimeterversuche zum Vergleich des N-Austrags mit dem Sickerwasser unter einem lehmigen Sand durchgeführt. Ziel war die Ermittlung des N-Austrags von Fruchtfolgen des integrierten und ökologischen Landbaus sowie einer Dauerbrache.

2. Methoden

Die Lysimeterstation befindet sich im nördlichen Teil des Landkreises Stendal in Sachsen-Anhalt und liegt 21 m über NN. Für diese Studie wurden acht nicht wägbare Lysimeter herangezogen. Es handelt sich um Gravitationslysimeter mit einer quadratischen Oberfläche von 1 m² und einer Tiefe von 1,25 m. Die Lysimeter wurden manuell schichtweise befüllt. Das dazu verwendete Bodenmaterial (lehmiger Sand) wurde am Entnahmestandort nach Ober- und Unterboden getrennt abgetragen und anschließend lagegerecht eingebaut. Das angefallene Sickerwasser entwässerte über ein Dränrohr in einen Kanister (Godlinski, 2005). Die Kanister der einzelnen Lysimeter wurden monatlich entleert und zur Ermittlung der Sickerwassermenge gewogen. Die NO₃-Konzentrationen der Sammelproben wurden mittels Ionenchromatographie nach den entsprechenden DIN-Vorschriften in mg/l ermittelt. Zur Berechnung der N-Bilanzen wurden zudem die Erträge in g/m² Frischmasse (FM) und Trockenmasse (TM) sowie die N-Entzüge des Pflanzenbewuchses der einzelnen Lysimeter bestimmt.

3. Bewirtschaftung

Zwei Lysimeterpaare wurden nach den Prinzipien des integrierten Landbaus (IL_1 und IL_2), ein weiteres Paar nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus bewirtschaftet (ÖL). Auf den beiden Lysimetern des vierten Lysimeterpaares wurde eine Dauerbrache (DB) angelegt. In Tabelle 1 sind die Fruchtfolgen der Lysimeterpaare der Varianten dargestellt. Auf IL_1 und IL_2 erfolgte der Anbau derselben Fruchtfolge, allerdings zeitlich versetzt.

Tab. 1: Fruchtfolgen auf den Lysimeterpaaren der Varianten

IL_1	IL_2	ÖL	DB
Winterweizen + ZF ^(a)	Mais	Kartoffeln	Gras- gemisch
Kartoffeln	Zuckerrüben	Winterweizen + ZF ^(b)	
Wintergerste + ZF ^(a)	Winterweizen + ZF ^(a)	Körnererbsen + ZF ^(b)	
Mais	Kartoffeln	Winterweizen + ZF ^(b)	
Zuckerrüben	Wintergerste + ZF ^(a)	Hafer + US ^(c)	
		Klee gras	

^(a)Zwischenfrucht (Ölrettich)

^(b)Zwischenfrucht (Mais/Sonnenblumen)

^(c)Untersaat (Klee gras)

Die Höhe der N-Düngung der einzelnen Fruchtfolgeglieder wird aus Tabelle 2 ersichtlich. Die Düngung erfolgte nach dem damaligen, regionalen, praxisüblichen Düngesystem. Bei DB fand keine Düngung statt. Auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln wurde bei allen Lysimetern verzichtet.

Tab. 2: N-Düngung der einzelnen Fruchtfolgeglieder

Fruchtfolgeglieder	Min. N-Düngung (kg/ha)	Org. N-Düngung (kg/ha)	
		Stallmist	Gülle
Integrierter Landbau			
Winterweizen + ZF ^(a)	145 (60-40-45)		
Kartoffeln	120	183	
Wintergerste + ZF ^(a)	145 (60-40-45)		
Mais	180 (80-100)		
Zuckerrüben	120 (40-80)	152,5	
Ökologischer Landbau			
Kartoffeln		150	
Winterweizen + ZF ^(b)			80 (40-40)
Körnererbsen + ZF ^(b)			
Winterweizen + ZF ^(b)			80 (40-40)
Hafer + US ^(c)			40

^{a)}Zwischenfrucht (Ölrettich)

^(b)Zwischenfrucht (Mais/Sonnenblumen)

^(c)Untersaat (Kleegrass)

4. Standortbeschreibung

4.1 Klima

Die Altmark liegt in der gemäßigt-humiden Zone Zentraleuropas und unterliegt sowohl ozeanischen Einflüssen aus meist südwestlicher bis nordwestlicher Richtung als auch kontinentalen Einflüssen aus östlicher Richtung. Die langjährige Jahresmitteltemperatur von Seehausen (Altmark) liegt bei 8,5°C und der mittlere Jahresniederschlag bei 539 mm (DWD, 2007).

4.2 Boden

Nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 5) ist der verwendete Boden den lehmigen Sanden (SI) zuzuordnen.

Tab. 3: Ausgewählte Kennwerte des verwendeten Lysimeterfüllbodens (verändert nach Godlinski, 2005 und Meissner et al., 2010)

		Bodentiefe (cm)	
		0-30	31-100
Bodenart (nach KA 5)		SI4	SI2
Trockenrohdichte	(g/cm)	1,48	1,84
Bodentyp		Pseudogley-Parabraunerde	
FK	(Vol. %)	28	22
nFK	(Vol. %)	15	11
k_r (nach KA 5)	(cm/d)	21	43
Effektive Durchwurzelungstiefe (KA 5)	(dm)	10	

In Tabelle 3 sind ausgewählte Kennwerte des untersuchten Bodens dargestellt. Diese wurden teilweise am Ausgangsmaterial vor dem Bodeneinbau bzw. direkt durch Entnahme von Bodenproben aus den Lysimetern ermittelt.

5. Ergebnisse

5.1 Wasser- und Stoffhaushalt

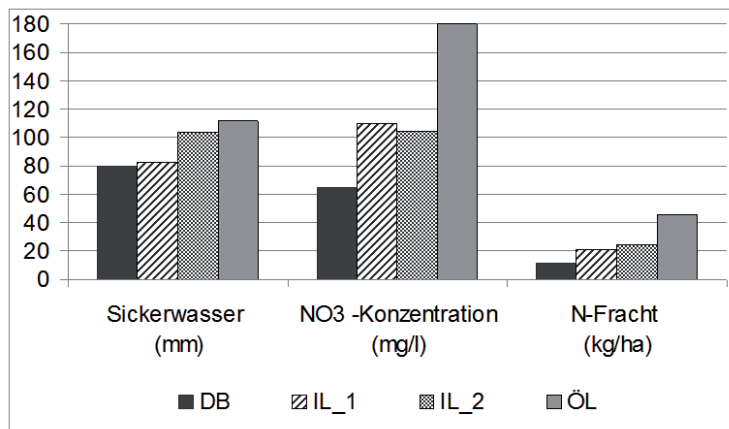


Abb. 1: Langjährige Mittel der jährlichen Sickerwassermenge, der NO₃-Konzentration und der jährlichen N-Fracht der vier Varianten für den Versuchszeitraum 1991 bis 2009

Die mittleren jährlichen Sickerwassermengen der vier Varianten liegen zwischen 80 und 112 mm und nehmen in folgender Reihenfolge zu: DB < IL_1 < IL_2 < ÖL. Die Werte der mittleren NO₃-Konzentration nehmen in folgender Reihenfolge zu: DB < IL_2 < IL_1 < ÖL. Dabei weist DB mit 64 mg/l den niedrigsten Wert auf und ÖL mit einem fast drei Mal so hohen Wert von 180 mg/l den höchsten. Die Werte von IL_1 und IL_2 liegen mit Werten von 110 mg/l bzw. 104 mg/l zwischen denen von DB und ÖL. Bei der mittleren jährlichen N-Fracht nehmen die Werte in derselben Reihenfolge wie bei der Sickerwassermenge zu. Dabei sind die mittleren N-Frachten von IL_1 und IL_2 mit 20,5 bzw. 24,4 kg/ha in etwa doppelt so hoch wie die von DB (11,6 kg/ha). Die Werte von ÖL liegen mit 45,4 kg/ha in etwa doppelt so hoch wie die von IL_1 und IL_2 und damit vier Mal höher als die von DB (Abb. 1).

Das 18-jährige Mittel der Evapotranspiration der vier Varianten nimmt in umgekehrter Reihenfolge zur Sickerwassermenge zu. Die Verlagerungstiefe im Ober- und Unterboden sowie die Austauschhäufigkeit unter den vier Varianten nimmt jeweils in folgender Reihenfolge zu: DB < IL_1 < IL_2 < ÖL (Tab. 4).

Tab. 4: 18-jähriges Mittel der Evapotranspiration (Eta), der Verlagerungstiefe im Oberboden (VT (OB)) und Unterboden (VT (UB)) und der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers (AH) der vier Varianten

	ETa* (mm/a)	VT (OB) (dm/a)	VT (UB) (dm/a)	AH (%)
IL_1	538	2,94	3,74	34,6
IL_2	517	3,70	4,71	43,5
ÖL	509	3,98	5,07	46,9
DB	541	2,85	3,63	33,5

*berechnet über 18-jähriges Mittel der Sickerwassermenge und des Niederschlags

5.2 Erträge und N-Bilanzen

In Abbildung 2 sind die mittleren Erträge für die einzelnen Fruchtfolgeglieder für IL_1 und IL_2 dargestellt. Es ist zu beachten, dass der Anbau der einzelnen Fruchtarten nicht in denselben Jahren, sondern zeitlich versetzt stattfand. Somit

ist ein direkter Vergleich nicht möglich. Es fällt auf, dass die mittleren Erträge von Winterweizen, Mais und Zuckerrüben bei IL_2 etwas höher liegen als die bei IL_1. Die mittleren Erträge von Kartoffeln und Wintergerste liegen dagegen bei IL_1 höher verglichen mit IL_2. Dies könnte auf die unterschiedlichen Witterungsbedingungen der einzelnen Jahre zurückzuführen sein. In Abbildung 2 sind die mittleren Erträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder von ÖL dargestellt. Winterweizen kommt in der 6-gliedrigen Fruchtfolge zweimal vor, die Erträge werden aber nur zu einem Mittelwert zusammengefasst.

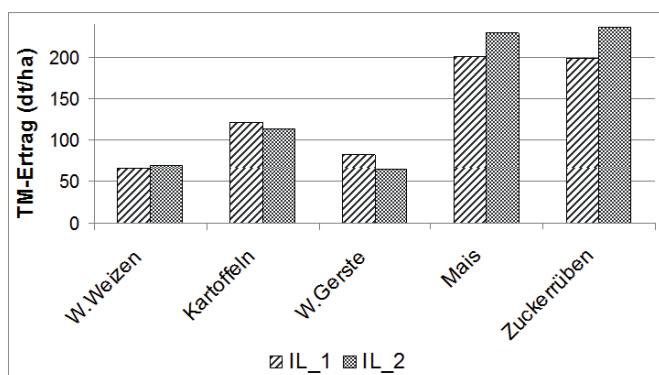


Abb. 2: Mittlere TM-Erträge für Winterweizen (Korn), Kartoffeln (Knolle), Mais (Ganzpflanze) und Zuckerrüben (Rübe) der Varianten IL_1 und IL_2 über den gesamten Versuchszeitraum

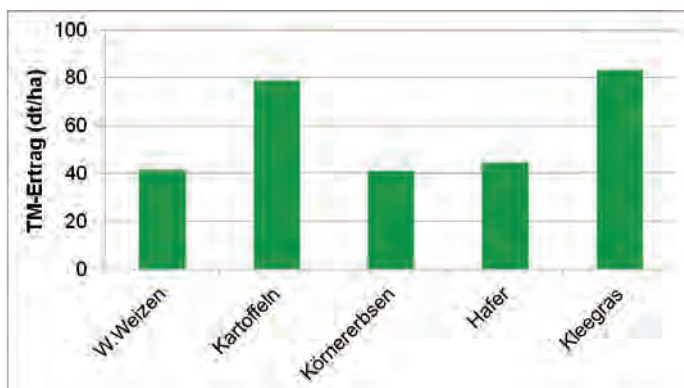


Abb. 3: Mittlere TM-Erträge von Kartoffeln (Knolle), Winterweizen (Korn), Körnererbsen (Korn) Hafer (Korn) und Klee gras (Ganzpflanze) der Variante ÖL über den gesamten Versuchszeitraum

Die mittleren Erträge für Winterweizen sowie auch für Kartoffeln von ÖL liegen deutlich unter denen von IL_1 und IL_2 (Abb. 2 und Abb. 3). Auch hier ist aber zu beachten, dass der Anbau nicht in denselben Jahren erfolgte.

In Abb. 4 sind die mittlere jährliche N-Zufuhr und N-Abfuhr für DB IL_1, IL_2, und ÖL sowie der N-Saldo für IL_1, IL_2 und ÖL dargestellt. Für DB konnte kein N-Saldo berechnet werden, da keine Abfuhr durch die Ernte erfolgte und die Deposition als einzige N-Zufuhr bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt wird. Die N-Zufuhr bei IL_1 und IL_2 unterscheidet sich aufgrund der gleichen Bewirtschaftung beider Varianten kaum. Verglichen mit IL_1 und IL_2 ist die N-Zufuhr bei ÖL nur etwa halb so hoch. Bei DB findet außer der Deposition keine N-Zufuhr statt. Betrachtet man den N-Entzug, so weist IL_2 einen höheren mittleren N-Entzug mit der Ernte auf als IL_1. Der N-Entzug mit der Ernte von ÖL ist nur geringfügig niedriger als bei IL_1. Bei DB findet kein N-Entzug durch Ernte statt. Die mittlere N-Auswaschung liegt bei IL_2 etwas höher als bei IL_1. Die N-Auswaschung von ÖL weist einen ungefähr doppelt so hohen Wert auf als die von IL_1 und IL_2. Bei DB ist die N-Auswaschung etwa halb so hoch wie die von IL_1 und IL_2 (vergleiche Abb. 1).

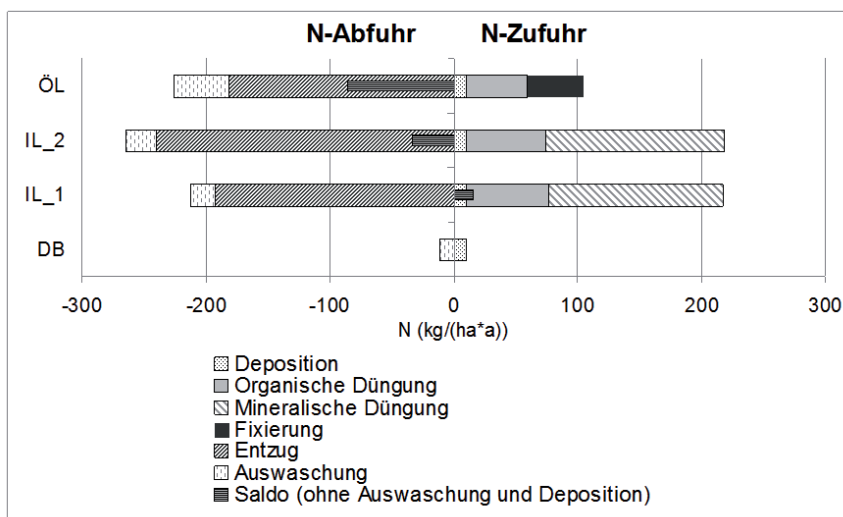


Abb. 4: Mittlere jährliche N-Zufuhr und N-Abfuhr sowie mittlerer jährlicher N-Saldo (berechnet aus Zufuhr minus Abfuhr ohne Berücksichtigung der Auswaschung und der Deposition) der Varianten über den Versuchszeitraum von 1991 bis 2009

Der N-Saldo liegt bei IL_1 mit 15,4 kg/ha im schwach positiven und bei IL_2 mit -33,0 kg/ha im negativen Bereich. Dies ist auf die höheren N-Entzüge mit der Ernte bei IL_2 verglichen mit IL_1 zurückzuführen. Der N-Saldo von ÖL ist mit -85,9 kg/ha stark negativ. Grund dafür ist der, verglichen mit der relativ geringen N-Zufuhr, hohe N-Entzug mit der Ernte.

6. Fazit

Aufgrund der kurzen Verweildauer im Boden wird Stickstoff relativ schnell, in für die Pflanze nicht mehr erreichbare Bodenschichten, verlagert. Da die Austauschhäufigkeit unter 100% liegt, findet kein Verdünnungseffekt statt. Dies führt zu relativ hohen NO_3 -Konzentrationen im Sickerwasser bei vergleichsweise niedrigen N-Frachten. Die NO_3 -Konzentration im Sickerwasser liegt bei allen Varianten über dem Grenzwert von 50 mg/l (auch bei der Dauerbrache), was die Problematik der Erreichung des Zielwertes im Grundwasser nach EU-WRRL verdeutlicht. Bei der Ableitung von Umweltzielen sollte dies berücksichtigt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass niedrige oder sogar negative N-Salden nicht zwangsläufig zu einer geringeren N-Auswaschung führen.

7. Literatur

- Deutscher Wetterdienst (DWD), 2007: Klimadiagramm Seehausen (Altmark). <http://www.klimadiagramme.de/Deutschland/seehausen.html> online am 29.08.2011.
- Godlinski, F., 2005: Abschätzung der Phosphorausträge aus der ungesättigten Bodenzone anhand numerischer Interpretationen von Lysimeterversuchen. Dissertation, Universität Rostock, UFZ.
- Meissner, R., Rupp, H., Seeger, J.; Ollesch, G.; Gee, G.W., 2010: A comparison of water flux measurements: passive wick-samplers versus drainage lysimeters. British Society of Soil Science: European Journal of Soil Science, Nr. 61/2010, 609-621.

Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf die N-Auswaschung (Ergebnisse der Lysimeterstation Brandis)

U. Haferkorn

Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Brandis

1. Einleitung

Im Ergebnis der Bewertung der Grundwasserkörper gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie mussten 17 sächsische Grundwasserkörper im Hinblick auf den Parameter Nitrat in einen schlechten chemischen Zustand eingestuft werden, obwohl nach der Wende beginnend, von den Landesbehörden u. a. auch mittels Düngeberatung die Ziele der Düngeverordnung im Hinblick auf eine bedarfsgerechte Nährstoffzufuhr und eine Verminderung der Nitratauswaschung gefördert werden.

Ursachen für den örtlich sehr unterschiedlichen, teils fehlenden Zusammenhang zwischen aktueller Bewirtschaftung (Belastung durch Wirtschafts- und Mineraldünger) und dem Zustand des untersuchten Grundwassers sind u. a. teils mächtige Dränwasserzonen, klimatisch bedingt sehr geringe Sickerwassermengen und daraus resultierend, lange Transportwege und Verweilzeiten des mit Nitrat befrachteten Sickerwassers.

Zur Abschätzung des langfristigen Gefährdungspotentials von Bewirtschaftungssystemen werden die 1980 beginnenden Messreihen der Station Brandis mit 3 m tiefen Lysimetern genutzt. An Hand von vier repräsentativen sächsischen Ackerböden mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften wird die Wirkung von drei aufeinander folgenden, regionaltypischen Bewirtschaftungsformen (1980-92 konventionell, 1993-98 ökologisch mit Grünlandumbruch und 1999-2010 standortdifferenzierte Düngung und Beratung) auf den sickerwassergebundenen N-Austrag bewertet.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an monolithischen Lysimetern mit einer Oberfläche von 1 m² in der Anlage Brandis bei Leipzig (Haferkorn, 2000) durchgeführt. Untersucht wurden Bodenformen aus der Partheniederung und des sächsischen Lößhügellandes, die durch zunehmende Tiefgründigkeit, Wasserspeicherkapazität und Sorptionskapazität gekennzeichnet sind (Tab. 1 und 2). Dabei handelt es sich um Standorte mit Sandlöß über Schmelzwassersanden (Gr.5/D3), Sandlöß über Geschiebelehm (Gr.8/D3 und Gr.1/D6) und um einen Standort mit tiefgründigem Löß (Gr.9/Lö3).

Tab. 1: Bodenform und Profilaufbau der untersuchten Lysimetergruppen

Lys.-Gr. <i>Standort- Einheit</i> [dv-Kurzz.] Ackerzahl	Bodenform	Profilaufbau	
		Bodentiefe	Bodenart [cm]
5 D3 35	Erodierte Braunerde geringer	0-35	Su3/SI3
	Entwicklungstiefe aus Sandlöß	35-70	mSgs
	über kiesführendem Fluvisand	170-300	mSfs
8 D3	Parabraunerde-Braunerde	0-70	Su4
	mittlerer Entwicklungsstufe	0-150	SI3/SI4
	aus Sandlöß über tiefem, kiesführendem Moränenlehm	150-300	mSfs
1 D6 55	lessivierter Braunerde- Pseudogley	0-50	Uls
	mittlerer Entwicklungstiefe	50-120	Ls4
	über fossilem Gley im nahen Untergrund aus Sandlöß über kiesführendem Moränenlehm	120-300	mSgs
9 Lö3 80	Parabraunerde mittlerer	0-205	Ut3/Ut4
	Entwicklungstiefe aus Löß	205-225	Uls
		225-300	mS

Aufgrund der vorherrschenden Witterungsbedingungen gilt das „mittlere“ hydraulische Verhalten der Böden in Bezug auf die Verweilzeiten der Bodenlö-

sung in der Wurzelzone und in der Dränwasserzone (Tab. 2) nicht für Einzeljahre. Die Herkunftsflächen der Lysimeterböden liegen in Nordwestsachsen, im Übergangsbereich zwischen maritimem und kontinentalem Klima.

Tab. 2: Hydrologische Parameter, Austauschrate des Bodenwassers in der Wurzelzone und Verlagerungsgeschwindigkeit in der Dränwasserzone (Mittelwerte der Reihe 1981-2010)

Lys.-Gr./ Standort- einheit	nFK _{We} [mm]	Austausch- rate BW [%]	Dränzone Länge [dm]	FK [mm/dm]	Verlage- rung [dm/Jahr]	Verlage- rungs- risiko
5/D3	50	345 s. groß	27	13	14	mittel
8/D3	92	170 groß	26	22	7	gering
1/D6	105	120 mittel	25	10	12	mittel
9/Lö3	170	36 s. gering	19	25	2,5	s. gering

Charakteristisch für das Untersuchungsgebiet sind vergleichsweise geringe Jahresniederschläge (korrigierter Wert: 673 mm) und hohe Wasserdefizite in den Sommerhalbjahren, wobei die klimatologischen Werte der Einzeljahre stark von den langjährigen Mittelwerten abweichen (Abbildung 1, Beispiel klimatische Wasserbilanz). Die Jahresmitteltemperatur am Standort Brandis beträgt 9,3°C.

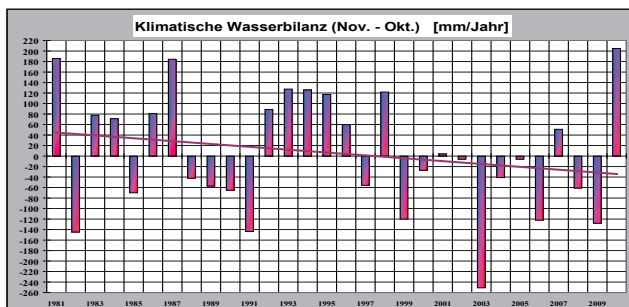


Abb. 1: Jahreswerte der klimatischen Wasserbilanz (kWB) der Reihe 1981-2010 am Standort Brandis

Bei folgenden Monaten zeigte sich über alle drei Dekaden ein Anstieg der Lufttemperatur: Februar, April, Juni, Juli und August. Bezüglich der Niederschläge war für die Monate November, Mai, Juli und September über alle drei Dekaden eine Zunahme, in den Monaten April und Juni eine Niederschlagsabnahme zu verzeichnen. So war vor allem der für die Ertragsbildung wichtige Monat April durch zunehmende Trockenheit gekennzeichnet. In der 3. Dekade lagen die Niederschlagssummen an 8 von 10 Beobachtungsjahren unter dem Mittelwert der Reihe 1981-2010.

Die Lysimeterböden und der umliegende Schlag wurden hinsichtlich Fruchtfolge, Düngung und Einsatz von Pflanzenschutzmittel seit Beginn der Messungen im November 1980 einheitlich, in ortsüblicher Weise landwirtschaftlich bewirtschaftet (Tab. 3). Es kamendrei Bewirtschaftungsformen zur Anwendung:

Tab.3: Bewirtschaftungsform und Fruchtfolge der Lysimeter Brandis von 1981 bis 2010

1. Periode: konventionelle Bewirtschaftung nach guter fachlicher Praxis	2. Periode: Flächenstilllegung und ökologischer Landbau	3. Periode: konventionell, optimierte Bewirtschaftung
gleiche Düngemenge, mineralische/organisch Düngung (u. a. in Form von Sediment, Torfmull, Humustat)	Stallmistgabe zur Kartoffel, keine mineralische Düngung	standortdifferenzierte Düngung, ertragsorientiert auf Basis von N_{min} -Bestimmung und Pflanzenanalysen, Strohdüngung
1981 Zuckerrüben	1993 Grünbrache	1999 Wintergerste/Senf
1982 Winterweizen	1994 Grünbrache	2000 Erbsen
1983 Wintergerste	1995 Rotklee	2001 Winterweizen
1984 Wel.Weidelgras	1996 Kartoffeln	2002 Wintergerste
1985 Kartoffeln	1997 Sommerweizen	2003 Winterraps
1986 Winterweizen	1998 Winterroggen	2004 Winterweizen
1987 Kartoffeln		2005 Sommergerste
1988 Winterweizen		2006 Winterraps
1989 Wintergerste		2007 Winterweizen
1990 Zuckerrüben		2008 Wintergerste
1991 Winterweizen		2009 Winterraps
1992 Wintergerste		2010 Winterweizen

3. Ergebnisse

3.1 Boden, Witterung und Erträge

Am Beispiel der 8 Anbaujahre mit Winterweizen wird gezeigt, je geringer das Wasserspeichervermögen der Böden und je höher das Verlagerungsrisiko, umso mehr weichen Zilerträge und tatsächliche Erträge voneinander ab (Tab. 4). Die gleiche Abstufung gilt für die absolute Höhe der Erträge und die entsprechenden N-Entzüge, wobei die höchsten Erträge auf den Lößböden (Gr.9/Lö3) bei vergleichsweise geringer N-Düngung erzielt wurden.

Tab. 4: Wachstumszeitraum, Klimaparameter und Erträge (TM Körner) der Anbaujahre mit Winterweizen

Jahr	Zeitraum Aufgang bis Ernte	P _{korrr} [mm]	ETP _{Gras} [mm]	kWB [mm]	P _{korrr} / ETP _{Gras}	Lys.5 [dt/ha]	Lys.8 [dt/ha]	Lys.1 [dt/ha]	Lys.9 [dt/ha]
1982	25.03.-04.08.	225	400	-175	0,56	8	30	36	79
1986	30.03.-04.08.	262	348	-86	0,75	27	41	43	69
1988	31.03.-02.08.	180	362	-182	0,50	15	27	26	62
1991	10.03.-14.08.	282	408	-126	0,69	18	29	45	61
2001	10.03.-16.08.	408	474	-66	0,86	33	54	65	91
2004	05.03.-06.08.	354	452	-98	0,78	54	62	78	87
2007	12.02.-24.07.	412	498	-86	0,83	22	47	48	80
2010	21.03.-12.08.	369	499	-130	0,74	26	38	36	78
Mittel Anbaujahre		312	430	-119	0,71	25	41	47	76
Zilerträge						60	75	85	95

Das Verhältnis von Niederschlag (P_{korrr}) zur potenziellen Verdunstung (ETP_{Gras}) liefert einen Hinweis auf ungünstige Witterungsbedingungen im Vegetationszeitraum. Diese führten vor allem bei den leichten Böden oft zu trockenheitsbedingten Ertragsausfällen und letztlich zu geringen N-Entzügen.

3.2 N-Düngung, N-Entzug und N-Saldo

Der N-Saldo wird aus Eintrag (Düngungorgan.+mineral. ohne Deposition) minus N-Pflanzenentzug berechnet.

Im Verlauf der 1. **Bewirtschaftungsperiode** wurden auf allen Böden durchschnittlich 133 kg N/ha/Jahr mineralischer plus 77 kg N/ha/Jahr organischer Dünger aufgebracht, der von den Pflanzen sehr unterschiedlich verwertet wurde (Tab. 5). Bei hohen Erträgen und N-Entzügen verblieb bei den Lößböden (Lys.-

Gr.9/Lö3) im Mittel der Jahre ein N-Saldo von 25 kg/ha, das ausschließlich aus der hohen organischen Düngung in Einzeljahren resultierte. Bei Sandböden (Lys.-Gr.5/D3) mit deutlich geringeren Erträgen und N-Entzügen, waren es dagegen mehr als 100 kg/ha. Tatsächlich sollte für diesen Zeitraum auch die sehr hohe Deposition von rd. 50 kg N/ha/Jahr nicht unberücksichtigt bleiben.

Im Verlauf der **2. Periode** ergeben sich, bis auf das Jahr 1995 mit Rotklee (170 kg/ha N-Fixierung durch Leguminosen), auf allen Standorten negative N-Salden. Diese verweisen auf einen pflanzenverfügbaren N-Pool aus den Bilanzüberschüssen der Vorjahre und mineralisiertem Stickstoff.

Tab. 5: Mittelwerte von N-Düngung, N-Entzug, N-Saldo und N-Fracht [kg/ha/Jahr], Sickerwassermenge (SW) und Nitrat-Konzentration im Sickerwasser in 3 m Tiefe im Vergleich von 3 Bewirtschaftungsperioden

Lys.-Gruppe		5	8	1	9
NStE		D3	D5	D6	Lö3
1. Periode: 1981-1992	N-Düngung	210	210	210	210
	N-Entzug	102	123	143	185
	N-Saldo	107	87	67	25
	N-Fracht	46	32	33	8
	Fracht/Saldo[%]	43	38	49	32
	SW [mm/Jahr]	166	140	107	57
	NO ₃ -Konz. [mg/l]	104	90	95	22
2. Periode: 1993-1998	N-Düngung	38	38	38	38
	N-Entzug	47	53	75	99
	N-Saldo	-9	-15	-37	-60
	N-Fracht	33	6	12	1
	SW [mm/Jahr]	200	161	121	47
	NO ₃ -Konz. [mg/l]	83	60	36	4
3. Periode: 1999-2010	N-Düngung	153	146	133	138
	N-Entzug	60	81	85	126
	N-Saldo	92	65	48	12
	N-Fracht	74	41	41	2
	Fracht/Saldo[%]	80	68	73	17
	SW [mm/Jahr]	199	158	139	75
	NO ₃ -Konz. [mg/l]	142	116	108	8

Im Ergebnis der **3. Bewirtschaftungsperiode** ist es gelungen, die N-Salden im Vergleich zur 1. Periode auf allen Böden zu senken. Zwar waren die N-Entzüge geringer, u. a. da seit 1996 Erntereste wieder auf die Böden zurückgeführt wurden. Aber auch die N-Zufuhr (keine organische Düngung) war im Vergleich beider Bewirtschaftungsperioden deutlich niedriger, wobei die Abstufung der N-Düngegaben zwischen den Böden nicht sehr hoch war. Auf Grund der undifferenzierten, oft sehr geringen N_{\min} -Werte im Frühjahr wurden im Mittel der Jahre auf dem leichten Sandboden (Lys.-Gr.5/D3) vergleichsweise hohe N-Mengen appliziert. Dies führte auf Grund der in der Regel nicht erfüllten Ertragserwartung im Mittel der Jahre 1999-2010 zu einem N-Saldo von rd. 90 kg/ha, weit über dem Optimalbereich von 0-50 kg/ha. Beim Geschiebelehmstandort (Lys.-Gr.1/D6) wird mit rd. 48 kg/ha ein fast optimales Saldo erzielt, wobei in Einzeljahren auch deutlich höhere N-Salden zu verzeichnen waren. Bei der Parabraunerde (Lys.-Gr.9/Lö3) mit hohem Ertragspotential wurden in 6 der 12 Beobachtungsjahre negative N-Salden ermittelt, aber auch hohe N-Salden in den anderen Jahren. Da bei diesem Boden in der Regel gut entwickelte Wurzelsysteme den bereits in tiefere Bodenschichten verlagerten Stickstoff wieder aufnehmen können, führen auch positive N-Salden nicht zu relevanten N-Austrägen.

3.3 N-Auswaschung in 3 m Tiefe

Für die Jahre der **1. Periode** ergaben sich mittlere jährliche N-Austräge, die zwischen 8 kg/ha auf den ertragreichen, sorptionsstarken Löß-Parabraunerden und 46 kg/ha auf den wenig ertragreichen sandigen Braunerden (Lys.-Gr.5/D3) lagen (Tab. 5). Während der Jahre 1993-98 mit ökologischem Landbau, Stilllegungs- und Brachemaßnahmen (**2. Periode**) waren die Auswaschungsverluste erwartungsgemäß geringer, lagen dann aber im Mittel der Jahre der **3. Periode** (außer bei Lys.-Gr.9/Lö3) über dem Niveau der 1. Periode. Die 3. Periode war insgesamt, niederschlagsbedingt, durch höhere Sickerwassermengen gekennzeichnet. Es ist davon auszugehen, dass ein erheblicher Anteil der Austräge aus der verstärkten Auswaschung des im Unterboden akkumulierten mineralischen N-Pools resultiert. Einen Hinweis darauf liefern die gleichfalls gestiegenen Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser. Damit wird verständlich, warum im Ergebnis der 3. Bewirtschaftungsperiode nicht nur die absoluten N-Austräge gestiegen sind, sondern auch der prozentuale Anteil am N-Saldo. Charakteristisch für alle Standorte war, dass hohe Sickerwassermengen, in Abhängigkeit von Austauschhäufigkeit der Bodenlösung im Wurzelraum und Verlagerungsrisiko in der Dränwasserzone, nicht zu einer Verdünnung der Bodenlösung, sondern zum

Anstieg der Nitratkonzentrationen führten. Dadurch kam es in Feuchttjahren zum verstärkten Austrag der in Trockenjahren akkumulierten N-Mengen.

4. Zusammenfassung

Bei gleichen klimatischen Randbedingungen am Untersuchungsstandort Brandis sind Wasserhaushalt, Ertragsniveau und N-Auswaschung der untersuchten Böden sehr unterschiedlich. Der fruchtbare Lößboden (Lys.-Gr.9/Lö3) weist die geringsten N-Austräge auf und scheint auch intensive landwirtschaftliche Bewirtschaftung relativ gut zu puffern (Knappe et al., 1997). Bei den leichten und mittleren Böden (Gr.5/D3, Gr.8/D3 und Gr.1/D6) zeigten sich im Ergebnis der 3. Bewirtschaftungsperiode noch immer Nitrat-Konzentrationen weit über dem Zielwert von 50 mg NO₃/l. Prinzipiell gilt, je geringer das Wasserspeichervermögen der Ackerböden, umso schwieriger ist es, Zielerträge und standortoptimierte N-Düngung in Übereinstimmung zu bringen. Da die niedrigen Erträge auf den leichten und mittleren Böden vorwiegend der für Mitteldeutschland typischen Frühjahrs- und Sommertrockenheit geschuldet sind, könnten u. a. mit einer bedarfsgerechten Beregnung höhere und stabilere Erträge erzielt und so letztlich die N-Auswaschung reduziert werden.

5. Literatur

- Knappe, S., Keese, U., Kalbitz, K., 1997: Lysimeteruntersuchungen zur Wirkung von Flächenstilligungsmaßnahmen auf den Stickstoffaustrag und den Nitratgehalt von Sickerwasser von vier Bodenformen. BAL Gumpenstein, 105-109.
- Haferkorn, U., 2000: Größen des Wasserhaushaltes verschiedener Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung im klimatischen Grenzraum des Mitteldeutschen Trockengebietes. Dissertation, Universität Göttingen.

Bewirtschaftungsmodelle im Vergleich

Ergebnisse aus 15 Versuchsjahren in der

Lysimeteranlage Kassel

Teilaspekte: Produktivität, Wasser- und

Stickstoffhaushalt

J. Heyn

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kassel

1. Versuchsfragestellung

Der Versuch wurde in der Vegetationsperiode 93/94 begonnen. Er greift die ökologisch besonders bedeutsame Problematik der Nitrat- und Pflanzenschutzmittel-Auswaschung unter differenzierter Bewirtschaftungsweise auf. Hierbei wurden 5 konventionelle und 3 ökologische Betriebsmodelle unterschiedlicher Intensitätsstufen jeweils in vierfacher Wiederholung verglichen.

In den einzelnen Bewirtschaftungsvarianten kamen 6- bzw. 3-jährige Fruchtfolgen mit unterschiedlichen Früchten zur Anwendung. Dadurch konnten in einem Jahr unterschiedliche Fruchtarten in den einzelnen Varianten nebeneinander stehen. Dies lässt nur einen mittel- bis langfristigen Vergleich zu. Der vorliegende Bericht umfasst den Zeitraum von 1995/96 bis 2009/10, also 15 Jahre. Die ersten beiden Vegetationsjahre 1994 und 1995 wurden als Umstellungsjahre für die ökologischen Varianten nicht in die Auswertung einbezogen. Zeiteinheit im Berichtszeitraum ist das Vegetationsjahr von Anfang Oktober bis Ende September.

2. Versuchsdurchführung

2.1 Technische Beschreibung der Anlage

Die Anlage besteht aus 32 Lysimeterbehältern aus Edelstahl mit jeweils einer quadratischen Oberfläche von je 1 m² und 1,50 m Bauhöhe. Die Lysimeter enthalten monolithische Bodensäulen vom Typ Parabraunerde aus Löß. Zusätzlich sind 2 mit Quarzkies befüllte Kontrolllysimeter vorhanden. Zum Schutz vor Vogelfraß ist die Anlage mit einem engmaschigen Maschendraht überspannt.

Innerhalb dieses Drahtkäfigs ist eine automatisch arbeitende Wetterstation installiert.

2.2 Bodendaten vor Versuchsbeginn

Bei dem Versuchsboden handelt es sich um einen mittel bis stark tonigen Schluffboden, im Unterboden mit etwas höherem Tongehalt und insgesamt hoher nutzbarer Feldkapazität. Die Nährstoffversorgung lag vor Versuchsbeginn in den Gehaltsklassen „C“ oder höher, der Oberboden wurde als „mäßig humos“ eingestuft.

2.3 Vegetationsversuch

Die in den Varianten angebauten Früchte sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tab.1: Fruchtfolgen

Veg.-per.	V1 A ex	V2 A in	V3 V n	V4 V h	V5 Ö vl	V6 Ö n	V7 Ö h	V8 R
95/96	G	G ZF	G	G ZF	G Z-Leg.	WW Z-Leg.	WW Z-Leg.	RW
96/97	KG Still.	ZR	KG Still.	SM	Möhre	Möhre	SM	RAW
97/98	WW	WW	WW	WW	EF	EF	EF	WW
98/99	G	G ZF	G ZF	G ZF	RW	RW	RW	G
99/00	RAS	ZR	SM	SM	KG Still.	KG	KG	RAS
00/01	WW	WW	WW	WW	WW Z-Leg.	KG	KG	WW

danach Wiederholung der Rotationen;

WW = Winterweizen, G = Winter- o. Sommergerste, RW = Winterroggen, AW = Winterraps, RAS = Sommerraps, ZR = Zuckerrübe, SM = Silomais, EF = Futtererbse, KG = Kleegras, Ölr. = Ölrettich, Z-Legu. = Zwischenfruchtleguminosen (Ackerbohnen-Erbсен-Gemenge), ZF = Zwischenfrucht zur Gründüngung (So-Raps, Senf oder Ölrettich), Still. = Stilllegung, gemulcht

Hier weitere Stichworte zu den Varianten:

- Var. 1 Ackerbaubetrieb, extensiv (**A ex**): N-Düngung und PSM reduziert gegenüber Var. 2;
- Var. 2 Ackerbaubetrieb, intensiv (**A in**): N-Düngung optimal, PSM nach Schadschwellen;
- Var. 3 Gemischtbetrieb mit 0,8 GV/ha AF (**V n**): 15 m³/ha Gülle jährlich, ergänzende N-Düngung u. PSM reduziert gegenüber Var. 4;
- Var. 4 Gemischtbetrieb mit 1,6 GV/ha AF (**V h**): 30 m³/ha Gülle jährlich, ergänzende N-Düngung optimal, PSM nach Schadschwellen;
- Var. 5 Öko-Betrieb ohne Vieh (**Ö vl**): keine Mineral-N-Düngung, kein chem.-synth. PS, min. P-, K-, Mg-Düngung nur bei Ergänzungsbedarf (GK „B“), Unkrautbeseitigung per Hand;
- Var. 6 Öko-Betrieb mit 0,5 GV/ha AF (**Ö n**): je 20 m³/ha Gülle zu 2. Jahr Klee-gras, WW und RW, sonst wie Var. 5;
- Var. 7 Öko-Betrieb mit 1,0 GV/ha AF (**Ö h**): Gülle in m³/ha: 20 zu 2. Jahr Klee-gras, 25 zu WW, 50 zu SM, 25 zu RW, sonst wie Var. 5;
- Var. 8 Ackerbaubetrieb „nachwachsende Rohstoffe“ (**R**): Zu RAW Klärschlamm im Wechsel mit Kompost, Getreide- u. Rapsstroh abgefahren, min. N-Düngung, Massensorten, PSM n. Schadschwellen.

In Nordhessen waren im Jahr 2007 zahlreiche PVC-belastete Ackerflächen gefunden worden. Landwirte hatten einen Recyclingdünger ausgebracht, bei dem im Nachhinein eine erhebliche PFC-Kontamination festgestellt wurde. Im Zuge der Aufklärungsarbeit der damit verbundenen Problematik wurde in Zusammenarbeit zwischen LLH und LHL die Var. 8 mit PFC beaufschlagt und zwar mit PFOA (Perfluoroctanat) und PFOS (Perfluoroctansulfonat) in einer Dotierung von jeweils 25 mg/kg Boden.

3 Ergebnisse aus dem Zeitraum 1995 bis 2010

3.1 Pflanzliche Produktion

In Abbildung 1 zeigen die jeweils linken Säulen den aus den Haupt- und Neben-ernteerzeugnissen der Hauptfrüchte berechneten mittleren jährlichen Trockenmasseertrag, ohne Einbeziehung der auf dem Feld verbliebenen Gründüngungs-Zwischenfrüchte. Die jeweils rechten Säulen geben die abgefahrenere Trockenmasse wieder. In Var. 8 = R. wurde der gesamte Aufwuchs abgefahren (fiktiv: Bioenergiegewinnung), beide Säulen zeigen ein einheitlich hohes Ertragsniveau. Es wäre mit Sicherheit ohne die PFC-Bbeaufschlagung im Jahr 2007 noch höher ausgefallen.

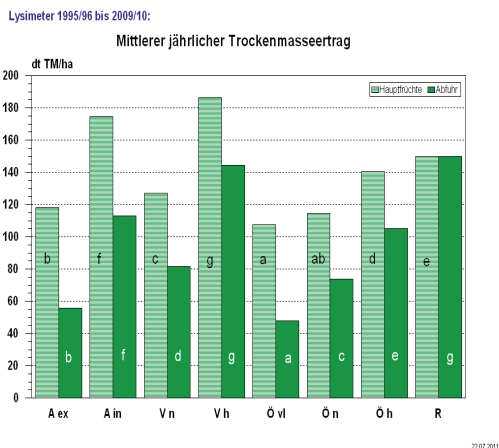


Abb. 1: Trockenmasseertrag und abfuhr im Jahresmittel (innerhalb eines Parameters unterscheiden sich Varianten mit unterschiedlicher Buchstabenkennzeichnung signifikant mit $> GD 5\%$)

Beim Vergleich des Trockenmasseertrages innerhalb der ersten vier Varianten schneidet die jeweils höhere Intensitätsstufe deutlich besser ab, wobei die viehhaltenden Verfahren den beiden Ackerbaumodellen um annähernd gleiche Mengen überlegen sind.

Die Ökovarianten 5 = Ö vl und 6 = Ö n liegen im TM-Ertrag ähnlich niedrig wie Var. 1 = A ex. Die beste Ökovariante Var. 7 = Ö h erreicht im TM-Ertrag nicht ganz die Höhe von Var. 2, Var. 4 oder Var. 8.

Die deutlichste Abweichung zwischen TM-Produktion und TM-Abfuhr weisen die Var. 1 und 5 auf, in denen durch Stilllegungsmaßnahmen ein erheblicher Teil der Massenproduktion auf dem Feld verblieb.

3.2 Wasser- und Stickstoffausnutzung und -auswaschung

Abbildung 2 zeigt zunächst die mittlere jährliche Niederschlagsmenge. Sie lag mit ca. 630 L/m² knapp unterhalb des im Kasseler Freilandraum gemessenen langjährigen Wertes. In den mit gewaschenem Kies gefüllten Kontrollvarianten wurden mit ca. 520 L/m² ca. 83 % des Niederschlagswassers ausgewaschen, die Differenz zum Niederschlag ist der Evaporation geschuldet. In den Boden enthaltenden Varianten wurden je nach Verbrauch des Bewuchses größenordnungsmäßig ca. 20 % des Niederschlagswassers ausgewaschen.

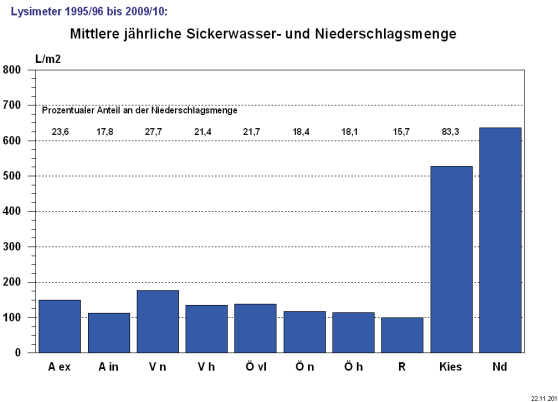


Abb. 2: Mittlere jährliche Niederschlags- und Sickerwassermenge

Einen genaueren Blick auf den absoluten und spezifischen Wasserverbrauch erlaubt Abbildung 3. Hier ist zunächst der Wasserverbrauch jeder Variante als Differenz zwischen der bei ihr ermittelten Sickerwassermenge und der Sickerwassermenge der Kies-Kontroll-Lysimeter dargestellt.

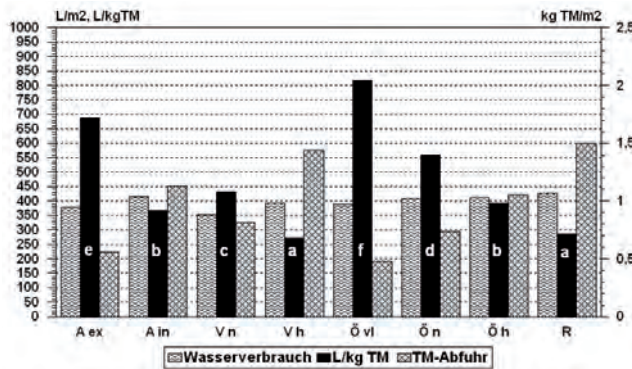


Abb. 3: Jahresmittelwerte für Wasserverbrauch, Trockenmasseabfuhr und spezifischen Wasserverbrauch je kg abgefahrener Trockenmasse (Varianten mit unterschiedlicher Buchstabenkennzeichnung unterscheiden sich signifikant mit >GD 5%)

Danach war der Wasserverbrauch in der Variante 8 = R am höchsten, gefolgt vom Verbrauch der Varianten 2 = A in, 6 = Ö n und 7 = Ö h. Der niedrigste Wasserverbrauch wurde in Var. 3 = V n festgestellt. Zur Demonstration der Abhängigkeit der

Sickerwassermenge von der Produktionsleistung ist die bereits in Abbildung 1 gezeigte Trockenmasseabfuhr auch hier noch einmal eingetragen. Der Quotient aus beiden Merkmalen ist der spezifische Wasserverbrauch je erzeugter Trockenmasseeinheit, häufig auch als „Wassernutzungseffektivität“ bezeichnet. Dieser Wert wird mit steigender Bewirtschaftungsintensität günstiger. Das gilt für den Vergleich der beiden Ackerbauvarianten, der beiden integrierten Viehhaltungsvarianten und der beiden ökologischen Viehhaltungsvarianten. Die Varianten 1 = A in und 5 = Ö vl schneiden aufgrund ihrer Stilllegungs- und Mulchjahre signifikant am ungünstigsten ab.

In den monatlich aus den einzelnen Wiederholungen entnommenen Sickerwasserproben wurde der Nitrat- und Ammoniumgehalt bestimmt. Die Berechnung der mittleren Nitratkonzentration der Sickerwässer im gesamten Berichtszeitraum erfolgte unter Gewichtung über die Wassermenge der Einzelproben der Wiederholungen.

Das durch feuchte und trockene Deposition befrachtete Sickerwasser der Kieskontrollen weist bereits eine Nitratkonzentration von ca. 9 mg/L auf. Die integriert bewirtschafteten Varianten 1 bis 4 liegen recht einheitlich auf einem Niveau von ca. 40 mg NO₃/L. In den drei ökologisch bewirtschafteten Varianten 5 bis 7 wurden mit ca. 70 mg/L die höchsten Nitratkonzentrationen gemessen, die Var. 8 nimmt mit ca. 55 mg/L eine Zwischenstellung ein (Abb. 4).

Auch die als Nitrat ausgewaschene Stickstoffmenge ist in Abb. 4 dargestellt. Bereits 11 kg N/ha werden mit dem Sickerwasser der Kieskontrollen ausgetragen. Demgegenüber ist die Nitrataustragsmenge in den Varianten 2 = A in, 4 = V h und 8 = R nicht oder nur unbedeutend erhöht. Die niedrigen Intensitätsstufen in Var. 1 = A ex und Var. 3 = V n liegen in ihrem N-Austrag jeweils höher als ihre intensiv bewirtschafteten Vergleichspartner, die beiden Viehhaltenden Ökobetriebe in Var. 6 und 7 liegen auf vergleichbarem Niveau wie Var. 3 und die höchste Auswaschungsmenge wird im viehlosen Betrieb in Var. 5 erreicht.

Auf die Darstellung der Ammoniumkonzentration des Sickerwassers und des N-Austrages in Ammoniumform kann hier verzichtet werden. Der Austrag liegt in einer Größenordnung von deutlich unter 1 kg N/ha/a.

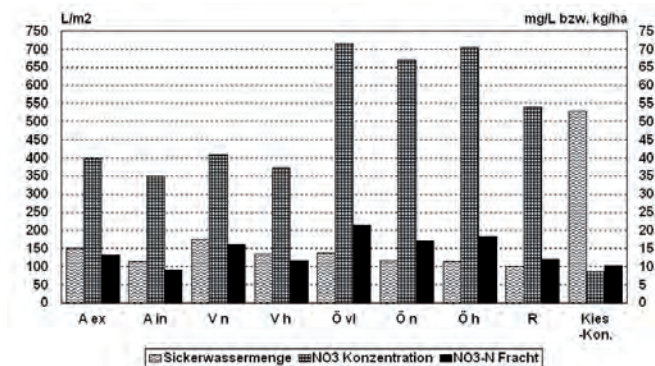


Abb.4: Jahresmittelwerte für Sickerwassermenge, Nitratkonzentration und Nitrat-N-Fracht

3.3 Stickstoffbilanz

Die N-Bilanzierung zeigt in Abbildung 5 auf der Zufuhr-Seite neben organischer und mineralischer Düngung und legumer N-Bindung auch die in den Kies-Kontrollen festgestellte N-Deposition. Auf der Verlustseite stehen die N-Abfuhr in der Pflanzenmasse und die N-Auswaschungsmenge. Die sich daraus ergebenden Salden sind als Punkte (positiv) bzw. Quadrate (negativ) in Abbildung 5 eingetragen. So ergeben sich in den integrierten Varianten 1 bis 4 nahezu ausgeglichene Salden. In der Rohstoff-Variante 8 kommt es durch den Einsatz von Kompost bzw. Klärschlamm und der eingeschränkten Abfuhr auf Grund der PFC-Beaufschlagung zu einem N-Überhang von ca. 50 kg/ha/a. In den Ökovarianten sind die Salden negativ, in Var. 5 nur mit einem geringen Betrag, in Var. 6 und 7 durch die deutlich höhere Abfuhr mit bis zu ca. 60 kg N/ha/a.

In Abbildung 6 sind die N-Austragsmerkmale Konzentration und Fracht den nach unterschiedlichen Methoden errechneten N-Salden gegenüber gestellt. Dabei ist auffällig, dass in den viehhaltenden Ökobetrieben zwischen den deutlich negativen N-Salden und dem N-Austrag keinerlei Bezug besteht.

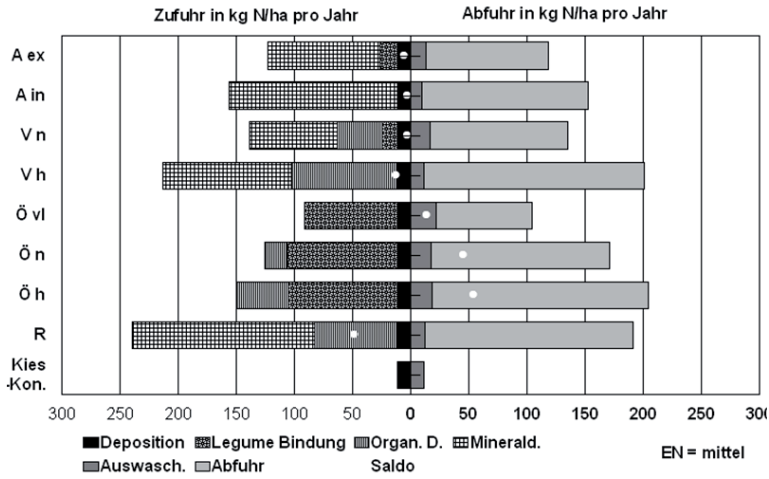


Abb. 5: Mittlere jährliche N-Bilanz (Methode „Lysimeter“)

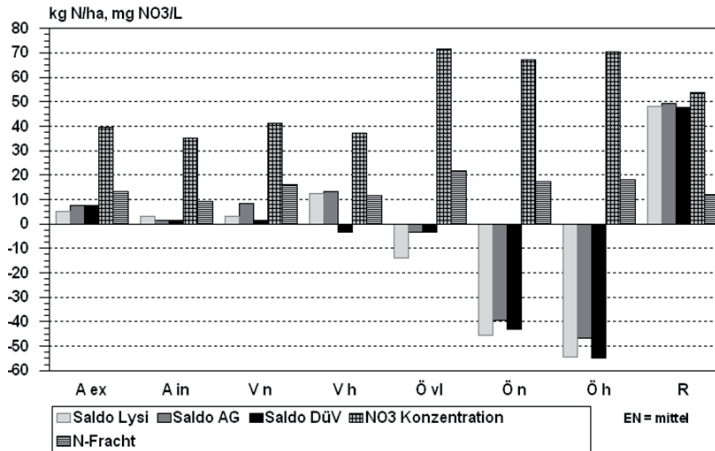


Abb. 6: Jahresmittelwerte für Nitratkonzentration und -fracht im Sickerwasser sowie nach unterschiedlichen Methoden berechnete N-Salden

4. Diskussion

Vor dem Hintergrund global knapper werdenden Ressourcen Boden und Wasser ist die Feststellung von Bedeutung, dass steigende Bewirtschaftungsintensität zwar absolut mehr Wasser verbraucht, auf die erzeugte Produktmenge bezogen jedoch weniger.

Im Versuch wurden auch bei Viehhaltung niedrige N-Frachten ausgewaschen, in allen Varianten lagen die Werte im Vergleich zu Literaturangaben niedrig (Lotz, 1991, Hege et al., 2005).

Unter den Ökovarianten wurden mit ca. 70 mg/L höhere mittlere Nitratkonzentrationen gemessen als in den integrierten Varianten. Dies lässt sich weder einzelnen Fruchtfolgegliedern noch einzelnen Jahreswitterungen systematisch zuordnen.

Zwischen dieser Nitratkonzentration in den viehhaltenden Ökovarianten und dem hier ermittelten deutlich negativen N-Bilanzsaldo besteht eine auffällige Diskrepanz. Die negativen Salden ergeben sich entscheidend durch die sehr hohe N-Abfuhr in den Kleeergrasjahren.

Von Seiten des Ökolandbaues entsprechen die im Versuch gefahrenen Öko-Fruchtfolgen nicht mehr dem aktuellen Wissenstand. In diesen und auch den anderen Varianten sollen die Bewirtschaftungsvorgaben für die kommenden Fruchtfolgerotationen geändert werden.

5. Literatur

- Hege, U., Offenberger, K, Fischer, A., 2005: Nährstoffsalden und Nitratgehalte im Sickerwasser von ökologischen und konventionellen Betrieben. VLK- und BAD-Tagung Würzburg, 61-70.
- Heyn, J., 1993: Neueinrichtung einer Lysimeteranlage in Kassel. Mitt. d. Deutschen Bodenkundl. Gesellschaft H. 71, 139-140.
- Heyn, J., et al., 1998: Lysimeteranlage Kassel – Bericht über die erste Vegetationsperiode von Oktober 1993 bis September 1994. HLVA, Schriftenreihe H. 5.
- Lotz, J., 1991: Versuch zur Reduktion von N-Verlusten im ökologischen Landbau: Kruziferenbeisat im Winterweizen nach Kleeergrasumbruch. Diplomarbeit, GHK Kassel-Witzenhausen, FB Ökol. Landbau.

Wirkung einer langjährig differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf Ertrag, Humusgehalt, N-Bilanz, N_{\min} -Vorrat und N-Einwaschung in Unterflurlysimeter

E. Albert

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Leipzig

1. Zielstellung

Eine langjährige differenzierte mineralisch-organische Düngung übt tiefgreifende Wirkungen auf den Pflanzenertrag und auf Bodeneigenschaften aus. Durch Zufuhr von Nährstoffen und organischer Substanz wird die Ertragsbildung sowohl über die Nährstoffwirkung als auch über veränderte physikalische, chemische und biologische Bodeneigenschaften günstig beeinflusst. Wesentliche Bodeneigenschaften wie die Bodenstruktur, der Luft-, Wasser-, Wärme- und Nährstoffhaushalt, die biologische Aktivität und auch das Erosionsverhalten werden, wie langjährige Versuche zeigen, verbessert (Asmus, 1991; Franko, 1992; Körschens, 1997; Kluge, 2009; Zorn und Schröter, 2010).

Unsachgemäßer Düngereinsatz kann zu erhöhten N-Emissionen und zu N-Verlagerungen in die Gewässer führen. Mit der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) von 2000 ergeben sich für die Landwirtschaft im Hinblick auf einen verlustarmen Nährstoffeinsatz erhöhte Anforderungen. Die WRRL hat bis 2015 eine flächendeckende Herstellung bzw. Sicherung eines guten Zustandes des Grundwassers und der Oberflächengewässer zum Ziel. Der Grenzwert für die Nitrat-Konzentration im Grundwasser beträgt 50 mg/l. Das Erreichen der Umweltziele der WRRL setzt eine deutliche Verminderung der Stickstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Gewässer voraus.

Im Rahmen dieser Arbeit werden Auswirkungen der organischen Düngung bei steigendem N-Einsatz auf Ertragsleistung und N-Haushalt des Bodens untersucht. Durch Einbau von Unterflurlysimetern in den Dauerversuch können Unterschiede im Auswaschungsrisiko verschiedener Düngungsvarianten erkannt werden.

2. Versuchsdurchführung

Der Dauerversuch wurde 1966 in Methau bei Rochlitz mit folgender Fruchtfolge angelegt:

Zuckerrübe – Sommergerste – Kartoffeln – Winterweizen

Die organische Düngung umfasst die Stufen:

- a1: ohne organische Düngung
- a2: 200 dt/ha Stallmist jedes 2. Jahr zur Hackfrucht
- a3: 50 dt/ha Stroh jedes 2. Jahr

Die Nebenprodukte Stroh und Rübenblatt wurden von der Versuchsfläche abgefahren. In den Prüfgliedern mit Strohdüngung wurde Stroh von einem einheitlich bewirtschafteten Schlag verwendet. Die im Versuchszeitraum zugeführten N-Mengen betragen im Mittel bei Stallmist 53 kg/ha je Jahr und bei Stroh 16 kg/ha je Jahr. Diese Werte werden in die N-Bilanzen eingerechnet.

Die 3 Stufen der organischen Düngung wurden mit 6 Stufen der mineralischen N-Düngung kombiniert (Tab. 1).

Tab. 1: Stufen der mineralischen N-Düngung (kg/ha)

	Getreide	Kartoffeln	Zuckerrüben
b1	0	0	0
b2	40	50	70
b3	80	100	140
b4	120	150	210
b5	160	200	280
b6	80	250	350

Bewusst wurde die applizierte mineralische N-Menge, die für Höchstserträge sinnvoll wäre, überschritten, um so N-Optima und Umweltwirkungen bestimmen zu können.

Die jährliche mineralische P/K-Düngung beträgt:

- 33 kg P/ha zu Getreide; 66 kg P/ha zu Hackfrüchten
- 125 kg K/ha zu Getreide; 250 kg K/ha zu Hackfrüchten

Alle weiteren acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen wurden optimal gestaltet. Die Grundbodenbearbeitung erfolgte mit dem Pflug.

Der Dauerversuch wurde auf einem fruchtbaren Löss-Lehm-Boden angelegt und repräsentiert die typischen Standorte des Mulde-Lösshügellandes. Bedingt durch die Bewirtschaftungsvorgeschichte mit mehrjährigem Kleegrasanbau lag der Humusgehalt zu Versuchsbeginn 1966 auf einem hohen Niveau. Weitere Daten sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Standortcharakteristik des Dauerversuches

Bodenform	Löss-Braunstaugley	
Bodenart	Löss-Lehm	
Bodenschätzung	L4 LÖ 70/63	
FAO-Klassifikation	Gleyic luvisol	
Feinanteil [$<6\mu\text{m}$]	25,9	
Ton : Schluff : Sand [%]	0 - 30 cm	14,8 : 80,4 : 4,8
	30 - 60 cm	14,6 : 79,9 : 5,5
nutzbare Feldkapazität [mm in 0 - 60 cm]	149	
Jahrestemperatur [°C]	8,2	
Jahresniederschlag [mm]	680	
P_{DL} [mg/100 g Boden]*	2,5	
K_{DL} [mg/100 g Boden]*	15,6	
pH*	5,2	
Humusgehalt [%]*	3,3	
N_t -Gehalt [%]*	0,158	

* vor Versuchsanlage

Infolge des Klimawandels sind die Temperaturen im Versuchszeitraum von 45 Jahren im Trend um 1,3 K angestiegen. Bei den Niederschlägen dagegen ist keine eindeutige Entwicklung zu erkennen. Die Nährstoffeinträge mit den Niederschlägen werden seit 1995 mit Bulksamplern erfasst. Die jährlichen N-Einträge ($\text{NO}_3\text{-N}$ plus $\text{NH}_4\text{-N}$) waren Mitte der 90er Jahre mit bis zu 80 kg N/ha beträchtlich. Sie nahmen in den Folgejahren deutlich ab und liegen gegenwärtig bei ca. 10 kg/ha (Abb. 1).

In die Prüfglieder mit den N-Stufen b1 (ohne mineralische N-Düngung), b3 (mittlere mineralische Düngung mit durchschnittlich 100 kg/ha) und b5 (hohe mineralische N-Düngung mit durchschnittlich 200 kg/ha) wurden 1995 nach bereits 30jähriger Versuchsdurchführung Unterflurlysimeter in zweifacher Wiederholung eingebaut (Abb. 2), um die Langzeiteffekte der differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf die Sickerwasserbeschaffenheit analysieren zu können. Die Lysimeter wurden so installiert, dass die Bodensäulen oberhalb der Lysimeter nicht gestört wurden. Der Abstand von den Lysimetern bis zur Krümmenoberfläche beträgt 60 cm. Die Lysimeter besitzen einen Durchmesser von 50 cm.

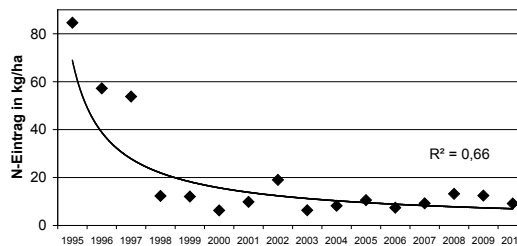


Abb. 1: N-Einträge durch Regenwasser in Methau im Zeitraum 1995 bis 2010

Die Sickerwasserentnahme erfolgt vor Winter und zu Vegetationsbeginn. In die Auswertung werden vier Fruchtfolgerotationen einbezogen.

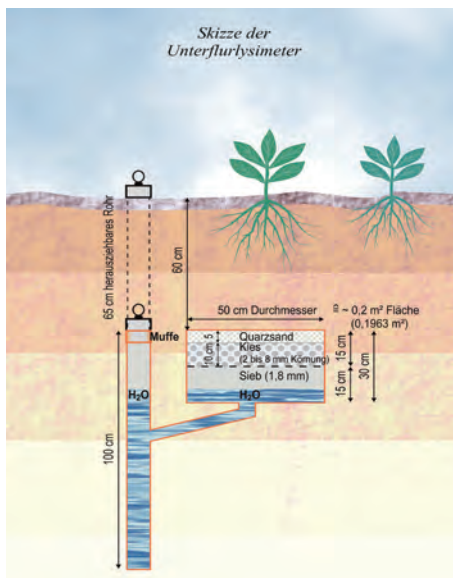


Abb. 2: Unterflurlysimeter im Dauer-versuch in Methau

3. Ergebnisse

3.1 Humusgehalte

Für die Bodenfruchtbarkeit besitzt der Humusgehalt auf Grund seiner positiven Effekte auf physikalische, chemische und biologische Eigenschaften des Bodens eine herausragende Bedeutung. Den Versuchsergebnissen zufolge wirkte sich die unterschiedliche Düngung differenziert auf die Entwicklung der Humusgehalte aus (Abb. 3). Ohne organische Düngung wurden die Humusgehalte im Laufe der Jahre annähernd halbiert, was auf den hohen, den Humusabbau fördernden Hackfruchtanteil in der Fruchtfolge (50 %) und die vergleichsweise hohen Humusausgangswerte zurückgeführt wird. Auch bei Stallmistzufuhr konnten die Humusausgangswerte zwar nicht aufrecht erhalten werden, aber sie liegen gegenüber unterlassener organischer Düngung auf deutlich höherem Niveau. Die von der Strohdüngung ausgehende Wirkung auf den Humusgehalt war vergleichsweise schwach. Eine Ursache hierfür wird in der relativ geringen Strohdüngungsmenge (50 dt/ha) gesehen. Die Kurvenverläufe verdeutlichen, dass besonders in den ersten Versuchsjahren die Humusgehalte stark abnahmen. Dieser Befund wird damit erklärt, dass das vor Versuchsanlage angebaute mehrjährige Klee gras auf Grund seiner großen Wurzelmasse und der Bodenruhe zu einer erheblichen Anhebung der Humusgehalte und dabei vor allem des leicht umsetzbaren Anteils geführt hatte. Gerade diese Fraktionen wurden in den ersten Versuchsjahren verstärkt mineralisiert. Auch der allmähliche Temperaturanstieg dürfte den Humusabbau beschleunigt haben. Ellmer und Baumecker (2005) erklären den beschleunigten Humusabbau im Dauerversuch Thyrow ebenfalls mit veränderten klimatischen Verhältnissen. In den letzten 10 Jahren deutet sich eine Stabilisierung der Humusgehalte und damit das Erreichen eines Fließgleichgewichtes an.

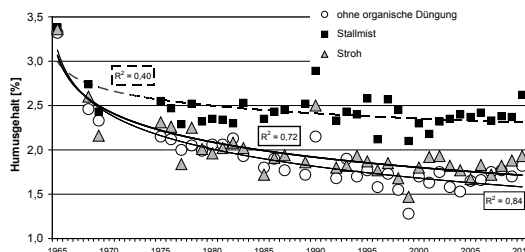


Abb. 3: Entwicklungstrend der Humusgehalte während des Versuchszeitraumes

3.2 Erträge

Im betrachteten Versuchszeitraum 1995 bis 2010 reagierten die angebauten Fruchtarten mit deutlichen Mehrerträgen auf steigende mineralische N-Zufuhr. Optimale Erträge wurden mit 160 bis 170 kg N/ha erzielt (Abb. 4). Während sich die Kurvenverläufe für die Prüfglieder ohne organische Düngung und Strohdüngung nur unwesentlich unterschieden, lagen diese bei Stallmistzufuhr mit plus 53 kg/ha organischem Stickstoff stets auf einem um 16 bis 24 dt GE/ha höheren Niveau. Mit steigendem N-Einsatz nahm der auf die organische Düngung beruhende Mehrertrag ab. Auch in anderen Dauerversuchen mit abgestufter mineralisch-organischer Düngung wurde eine derartige Ertragsreaktion beschrieben (Kwast, 1996; Körschens, 1998; Albert, 2001; Armbruster et al., 2009). Aus diesem Ergebnis ist zu schlussfolgern, dass der Positiveffekt des Stallmistes auf die Bodenfruchtbarkeit und das Ertragsvermögen selbst durch hohe mineralische N-Gaben nicht substituiert werden kann.

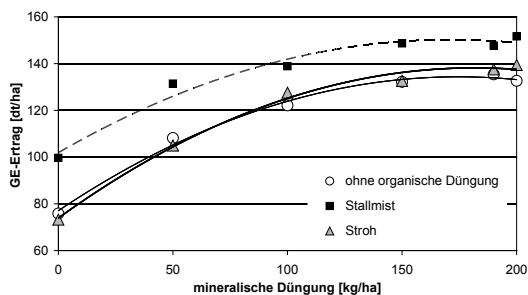


Abb. 4: Beziehung zwischen der N-Düngung und dem GE-Ertrag in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Mittel der Jahre 1995 bis 2010

3.3 N-Bilanzsalden und N_{\min} -Gehalte vor Winter

N-Bilanzsalden werden häufig als Kenngrößen zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit des N-Einsatzes herangezogen. Wie Abbildung 5 zeigt, wurden die N-Salden stark von der Höhe der mineralischen N-Düngung beeinflusst. Bei Stallmistdüngung wurden mit ca. 150 kg N/ha mineralischem Stickstoff und bei Strohdüngung bzw. ohne organische Düngung mit ca. 200 kg N/ha mineralischem N ausgeglichene Bilanzen erreicht.

Werden die N-Salden in Beziehung zu den GE-Erträgen der angebauten Fruchtarten gesetzt, so ist festzustellen, dass optimale Erträge bei Strohdüngung und in den Prüfgliedern ohne organische Düngung bereits bei leicht negativen bis annähernd ausgeglichenen N-Salden erzielt wurden (Abb. 6). Wurde allerdings Stallmist gedüngt, so waren leicht positive Salden für optimale Erträge erforderlich, die allerdings im Vergleich zur alleinigen mineralischen N-Düngung um 17 dt GE/ha höher lagen. Dieses Ergebnis beruht darauf, dass der organisch gebundene Stickstoff des Stallmistes infolge seiner geringen Pflanzenverfügbarkeit und der höheren unvermeidbaren Verluste insgesamt schlechter verwertet wird als mineralische N-Dünger. Ein Teil dieses Stickstoffs verbleibt jedoch im Boden und erhöht so den N_f -Vorrat und somit das Mineralisierungspotenzial.

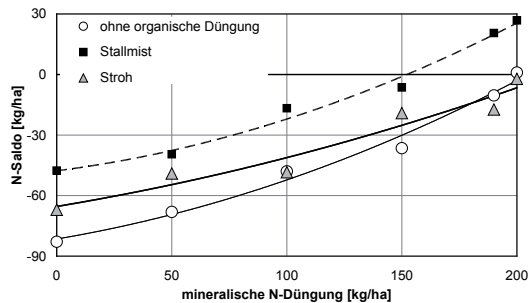


Abb. 5: Beziehung zwischen der N-Düngung und dem N-Saldo in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Mittel der Jahre 1995 bis 2010

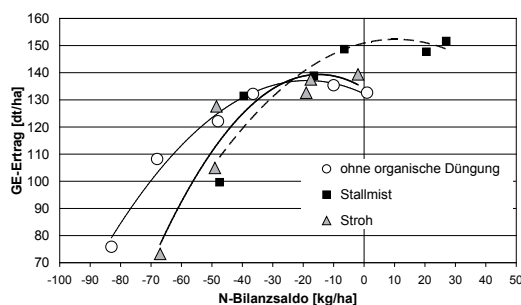


Abb. 6: Beziehung zwischen N-Bilanzsaldo und GE-Ertrag in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Mittel der Jahre 1995 bis 2010

Dadie löslichen N-Gehalte im Boden (N_{\min}) während des Winters in tiefere Bodenschichten verlagert bzw. ausgewaschen werden können, sind zum Schutz der

Gewässer möglichst niedrige Werte zu Vegetationsende anzustreben. Die N_{\min} -Gehalte vor Winter wurden stark von der N-Zufuhr bestimmt (Abb. 7). Sie nahmen im Mittel des Untersuchungszeitraumes bis zu N-Gaben von 100 kg/ha zunächst nur verhalten zu, danach jedoch progressiv steigend. Auf Grund der zusätzlichen N-Zufuhr mit Stallmist (53 kg/ha im Mittel der Jahre) lagen die N_{\min} -Werte in den entsprechenden Prüfgliedern um 10 bis 20 kg/ha höher als bei unterlassener organischer Düngung. Keinen wesentlichen Einfluss auf die N_{\min} -Gehalte hatte die Strohdüngung. Zwischen den einzelnen Fruchtarten bestanden allerdings erhebliche Unterschiede. Beide Getreidearten und Zuckerrüben zeichneten sich durch vergleichsweise niedrige N_{\min} -Gehalte vor Winter aus. Bei Kartoffeln hingegen führte die hohe N-Düngung bis 250 kg/ha vor allem in Verbindung mit Stallmist zu hohen positiven N-Salden. Hinzu kommt die intensive Bodenlockerung bei der Ernte, die zusätzlich Mineralisierungsprozesse anregte. Infolge dessen lagen nach der Kartoffelernte die N_{\min} -Werte auf hohem Niveau.

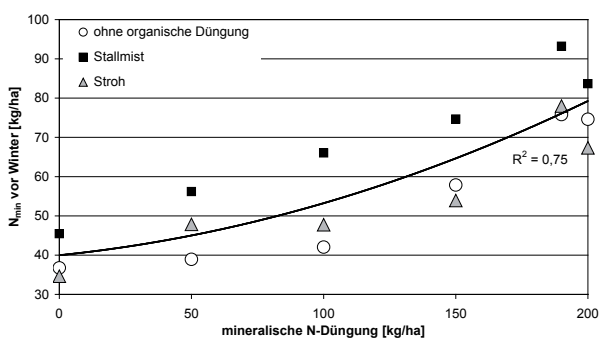


Abb. 7: Beziehung zwischen der N-Düngung und dem N_{\min} -Gehalt vor Winter in Abhängigkeit von der organischen Düngung im Mittel der Jahre 1995 bis 2010

Den Ergebnissen zufolge korrelierten die N_{\min} -Gehalte vor Winter eng mit den N-Salden (Abb. 8). Diese Darstellung stellt den mittleren N_{\min} -Gehalt des Untersuchungszeitraumes dem mittleren N-Saldo gegenüber und bringt nicht exakt den jährlichen Zusammenhang zum Ausdruck. Dieser wird stark von den Witterungsbedingungen, der Fruchtart, der Ertragshöhe und damit der Verwertung des applizierten Stickstoffs beeinflusst.

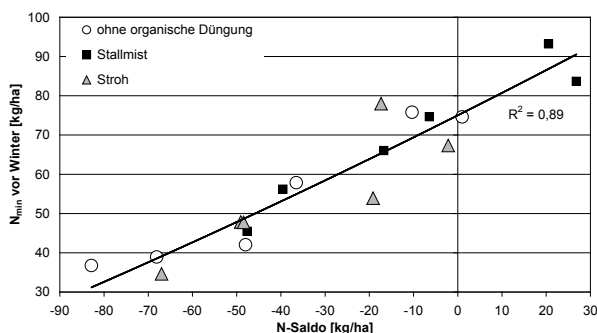


Abb. 8: Beziehung zwischen dem N-Saldo und den N_{\min} -Gehalten vor Winter im Mittel der Jahre 1995 bis 2010

Trotz dieser Einschränkung macht der Befund die Notwendigkeit einer bedarfsorientierten N-Düngungsbemessung, die N-Bilanzüberschüsse vermeidet, deutlich. Im Dauerversuch waren im Mittel der Jahre bereits relativ geringe N-Saldenüberschüsse von weniger als 30 kg/ha mit N_{\min} -Resten vor Winter von über 80 kg/ha verbunden. Ausgeglichene N-Salden führten immerhin noch zu N_{\min} -Werten von 60 bis 70 kg/ha.

3.4 N-Einwaschung in Unterflurlysimeter und Nitrat-Konzentration im Sickerwasser

In den einzelnen Jahren des Versuchszeitraumes wurden vom Ende bis zum Beginn der Vegetation 5 bis 227 kg N/ha mit einer Sickerwassermenge von 0 bis 206 l/m² in die Lysimeter eingewaschen. Die N_{\min} -Gehalte vor Winter schwankten von 5 bis 203 kg/ha.

In Abbildung 9 ist die Abhängigkeit der N-Einwaschung von dem N_{\min} -Gehalt vor Winter und der Sickerwassermenge dargestellt. Charakteristisch für diesen Zusammenhang ist die ausgeprägte Wechselwirkung beider Einflussgrößen. Daraus folgt, dass die N-Einwaschung stark zunimmt, wenn hohe N_{\min} -Werte mit einer starken Sickerwasserbildung zusammentreffen. Hohe N_{\min} -Gehalte bei geringer Sickerwasserbildung bzw. geringe N_{\min} -Werte bei hohem Sickerwasseranfall sind im Hinblick auf die Auswaschung eher unkritisch zu beurteilen. Da jedoch die Sickerwasserbildung als die N-Auswaschung wesentlich bestimmende Größe nur im begrenzten Umfang durch acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen beeinflusst werden kann, kommt im Hinblick auf den Gewässer-

schutz der Reduktion der N_{\min} -Gehalte vor Winter eine Schlüsselposition zu. Geringe N_{\min} -Werte setzten längerfristig das Vermeiden von sich aufsummierenden Bilanzüberschüssen voraus.

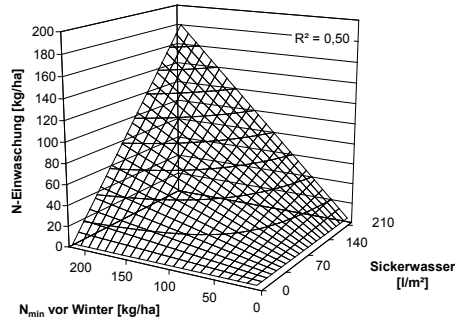


Abb. 9: N-Einwaschung während des Winters in Abhängigkeit vom N_{\min} -Gehalt und der Sickerwassermenge im Zeitraum 1995 bis 2010

In den einzelnen Versuchsjahren wurden die Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser während des Winters vor allem von dem N_{\min} -Gehalt vor Winter bestimmt (Abb. 10). Eine wesentliche Reduktion tritt erst bei relativ hohen Sickerwassermengen ein. Dieses Ergebnis weist erneut darauf hin, dass die Ziele der Wasserrahmenrichtlinie in Regionen mit geringem Sickerwasseranfall trotz relativ geringer ausgewaschener N-Mengen nur schwer zu erfüllen sind. Die Düngebedarfsermittlung muss darauf ausgerichtet sein, N -Bilanzüberschüsse, die zu hohen N_{\min} -Resten führen, weitgehend zu vermeiden.

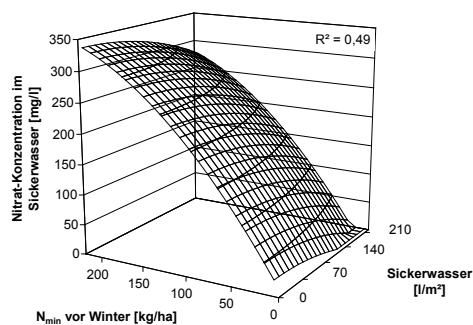


Abb. 10: Nitrat-Konzentration im Sickerwasser während des Winters in Abhängigkeit vom N_{\min} -Gehalt vor Winter und der Sickerwassermenge im Zeitraum 1995 bis 2010

Bei den vorgestellten Ergebnissen ist grundsätzlich zu beachten, dass das mit den Unterflurlysimetern in 60 cm Tiefe erfasste Sickerwasser hinsichtlich seiner Menge und Nitratkonzentration mit dem unterhalb der Wurzelzone in ca. 1 m Tiefe abfließenden Wasser nicht gleichzusetzen ist. Durch pflanzlichen N-Entzug bis in 1 m Tiefe können die Nitratkonzentrationen und damit die N-Auswaschung niedriger ausfallen als es die entsprechenden Messwerte der Unterflurlysimeter ausweisen. Ein weiterer Nachteil dieser Lysimeter besteht darin, dass auf Grund der fehlenden seitlichen Abgrenzung des beprobten Bodenausschnittes keine exakte Bodenfläche zugeordnet werden kann. Trotz dieser Einschränkung können mit Unterflurlysimetern anhand der Nitratkonzentration des Bodenwassers in 60 cm Tiefe Unterschiede im Auswaschungsrisiko verschiedener Düngungsvarianten erkannt werden.

4. Fazit und Schlussfolgerungen

Zur Aufklärung der Wirkung einer differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf Humus- und Nährstoffdynamik, Bodeneigenschaften und Umwelt sind Dauerversuche unverzichtbar. Im langjährigen Versuch kam es bei unterlassener organischer Düngung zu einem starken Humusabbau. Regelmäßige Stallmistzufuhr verbesserte nachhaltig die Ertragsleistung der angebauten Fruchtarten. Eine Kompensation dieser komplexen Nährstoff- und Humuswirkung durch reine mineralische Düngung ist nicht vollständig möglich. Strohdüngung hatte nur in Verbindung mit optimaler N-Zufuhr einen nennenswerten Ertragseffekt.

Unter den Versuchsbedingungen reichten in den Prüfgliedern „Strohdüngung“ und „ohne mineralische Düngung“ im Mittel der Jahre annähernd ausgeglichene N-Bilanzsalden für optimale Erträge aus. Bei Stallmistzufuhr waren wegen der schlechteren Ausnutzung des organisch gebundenen Stickstoffs leicht positive Salden erforderlich, wobei allerdings die Erträge im Vergleich zur reinen mineralischen N-Düngung bzw. Strohdüngung auf deutlich höherem Niveau lagen.

Mit steigender N-Zufuhr und folglich zunehmenden N-Bilanzsalden stiegen die N_{\min} -Gehalte vor Winter deutlich an. Besonders ausgeprägt war dieser Zusammenhang bei Kartoffeln.

Die Einwaschung in die Unterflurlysimeter wurde vor allem vom N_{\min} -Gehalt vor Winter und der Sickerwassermenge bestimmt. Zwischen beiden Größen besteht

eine positive Wechselwirkung. Die Nitrat-Konzentration im Sickerwasser hing stark vom N_{\min} -Gehalt ab. Zunehmende Sickerwassermengen reduzierten sie infolge des Verdünnungseffektes.

Im Interesse des Wasserschutzes muss es Ziel sein, die N-Düngebedarfsermittlung so auszurichten, dass N-Bilanzüberschüsse, die zu erhöhten N_{\min} -Resten führen, möglichst vermieden werden. Moderne N-Bemessungsprinzipien (N_{\min} -Untersuchung, Nitrattest, N-Tester, N-Sensor) bis hin zu teil-schlagspezifischer N-Düngung unter Beachtung von Ertragspotenzialkarten tragen zu einer bedarfsorientierten N-Versorgung bei und sind daher verstärkt auch im Sinne des Wasserschutzes anzuwenden.

Organische Düngung erhöht infolge der im Vergleich zur mineralischen N-Applikation schlechteren N-Verwertung des organisch gebundenen Stickstoffs das Risiko der N-Verluste. Sie ist daher stets so einzusetzen, dass eine gute Verwertung gewährleistet werden kann. Hohe Gaben sind grundsätzlich zu vermeiden. Nur ein Teil des N-Pflanzenbedarfes (max. 50 bis 70 %) sollte über organische Dünger abgedeckt werden. Die Kombination beider Dünger begünstigt die N-Ausnutzung. Andererseits werden durch eine maßvolle organische Düngung die Bodenfruchtbarkeit und das Ertragspotenzial nachhaltig verbessert. Alleinnige Mineraldüngung erbringt derartig komplexe Wirkungen nicht. Wegen der besseren N-Verwertung sollten vor allem flüssige organische Dünger bevorzugt im Frühjahr ausgebracht werden.

In Regionen mit geringer Sickerwasserbildung bewirken selbst vergleichsweise geringe ausgewaschene N-Mengen hohe Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser. Das Erfüllen der Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie ist hier besonders schwierig, was beim Vollzug der WRRL zu beachten ist.

5. Literatur

- Albert, E., 2001: Wirkung einer langjährig differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf Ertragsleistung, Humusgehalt, Netto-N-Mineralisierung und N-Bilanz. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Berlin, 46, 187-213.
- Armbruster, M., Bischoff, R., Wiesner, F., 2009: Nährstoff- und Humuswirkung organischer Dünger – dargestellt am Beispiel des IOSDV-Versuchs

- der LUFÄ Speyer. VDLUFÄ-Kongress Karlsruhe, Kurzfassung der Referate, 88.
- Asmus, F., 1991: Einfluss organischer Dünger auf den Ertrag, Humusgehalt des Bodens und Humusreproduktion. 4. Kolloquium der Robert-Bosch-Stiftung am 14./15.2.1991 in Schwäbisch-Hall, 127-139.
- Ellmer, F., Baumecker, M., 2005: Der statische Nährstoffmangelversuch Thyrow. Ergebnisse nach 65 Versuchsjahren. Archiv of Agronomy and Soil Science, Berkshire 51, 151-161.
- Franko, U., 1992: Simulation und Prognose der OS-Dynamik. UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle. Symposium Dauerversuche und Nährstoffdynamik 9.-12.6.1992 in Bad Lauchstädt, DS Druck Strom, Leipzig, 125-130.
- Kluge, R., 2009: Gezielte Kompostanwendung. Getreide Magazin, Gelsenkirchen, 14, 234-237.
- Körschens, M., 1997: Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz (OBS) vom Standort und Bewirtschaftung sowie ihr Einfluss auf Ertrag und Bodeneigenschaften. Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Berlin, 41, 435-463.
- Körschens, M., 1998: Erträge, N-Entzüge und Humusdynamik im statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt, 18 Jahre nach Erweiterung der Versuchsfrage. Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Berlin, 42, 77-92.
- Kwast, A., 1996: Vorstellung des internationalen organischen Stickstoff-Dauerdüngungsversuches (IOSDV) Dülmen und Auswertung der Erträge und N-Entzüge. Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Berlin, 40, 133-143.
- Zorn, W., Schröter, H., 2010: Wirkung differenzierter organisch-mineralischer Düngung auf Ertrag, N-Bilanz und Humusgehalt im Boden im Dauerdüngungsversuch Bad Salzungen nach 43 Jahren. VDLUFÄ-Schriftenreihe Band 66/2010, Darmstadt, 236-244.

Untersuchungen zum Einfluss des N-Düngeverfahrens auf die Wassernutzungseffizienz von Wintergetreide

M. Kücke, C. zu Eulenburg, J. M. Greef

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig

Zusammenfassung

Zur Beantwortung der Frage, ob und in welchem Umfang durch Sortenwahl, Bodenbearbeitung und Düngung die Effizienz der Wassernutzung gesteigert werden kann, wurden 2008 (Wintergerste) und 2009 (Winterweizen) Datensätze aus der Lysimeteranlage des Instituts für Pflanzenbau und Bodenkunde des Julius Kühn-Instituts in Braunschweig ausgewertet.

Die Anlage besteht aus 8 wägbaren Lysimetern, in denen seit 2006 ein 3-faktorieller Vegetationsversuch mit den Faktoren „Bodenbearbeitung“ (Pflug vs. Mulchen), „Düngung“ (oberflächlich breitwürfig vs. N-Flüssigdüngerinjektion) und „Sorte“ (Bestandestyp vs. Einzelährentyp) durchgeführt wird.

Für Winterweizen (2009) konnte nach Ammoniumflüssigdüngerinjektion eine signifikant erhöhte Produktivität der Wassernutzung bezogen auf den Kornertrag ($\text{g TM L}^{-1} \text{ETP m}^{-2}$) ermittelt werden als nach breitwürfiger Düngung mit Kalkammonsalpeter. Für Wintergerste 2008 konnte dies nicht festgestellt werden.

1. Einleitung

Es ist bekannt, dass in Gefäß- und Modellversuchen eine ammoniumbetonte Stickstoffernährung zu einer Steigerung der Wassernutzungseffizienz führt, also weniger Wasser für die Produktion von Biomasse gegenüber einer äquivalenten Nitraternährung benötigt wird (Marschner, 1999; Horchani et al., 2010). Wegen der rasch ablaufenden Stickstoffumsetzungsprozesse im Boden (Hydrolyse, Nitrifikation) erfolgt bei breitwürfiger N-Düngung die N-Versorgung von Kulturpflanzen überwiegend in Form von Nitrat. Dabei platzierter NH_4 -Ablage im Boden (Unterfußdüngung, NH_4 -Flüssigdüngerinjektion, CULTAN-Verfahren, Sommer 2000, 2003) die Nitrifikation aber verzögert ist (Petersen und Mortensen, 2002),

ist bei diesem Verfahren auch unter Feldbedingungen mit einem höheren Beitrag von $\text{NH}_4\text{-N}$ an der Stickstoffernährung und mit einer höheren Wassernutzungseffizienz zu rechnen.

Diese Arbeit konzentriert sich anhand der entsprechenden Messwerte dieses umfangreichen Datensatzes auf die Beantwortung der Frage, ob die Produktivität der Wassernutzung von Winterweizen und Wintergerste durch Einsatz einer Ammoniumflüssigdüngerinjektion gegenüber einer konventionellen, breitwürfigen N-Düngung erhöht werden kann.

2. Material und Methoden

Die Lysimeteranlage des Instituts für Pflanzenbau und Bodenkunde des Julius Kühn-Instituts in Braunschweig besteht aus 8 wägbaren Lysimetern, die jeweils im Zentrum einer Versuchsparzelle (45 m x 32 m) liegen. Kontinuierlich ermittelt werden Sickerwassermengen (Kippwaagen), die Lysimetergewichte sowie in 2 Lysimetern Wasserspannungen und Wassergehalte (Kücke, 2006). Niederschläge werden von der agrarmeteorologischen Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes in Braunschweig ermittelt, die sich ca. 300 m südlich der Lysimeteranlage befindet. Der Boden ist ein beregnungsbedürftiger lehmiger Sand mit Ackerzahl 30.

Die 8 Lysimeter und Versuchspartzen beinhalten die Versuchsfaktoren Bodenbearbeitung (Pflug vs. Mulchsaat), Düngeverfahren (oberflächlich breitwürfig mit Festdünger vs. N-Flüssigdüngerinjektion) und Sorten (2008: Wintergerste „Finesse (zweizeilig, hohe Bestandesdichte) vs. „Fridericus“ (mehrzeilig, mittlere Bestandesdichte); 2009: Winterweizen „Türkis“ (niedrige Bestandesdichte) vs. „Hermann“ (Kompensationstyp)). Die breitwürfige Düngung mit festem Kalkammonsalpeter erfolgte gesplittet in 3 Teilgaben (2008: 5.3., 28.4., 16.5. (50, 70, 40 kg N ha^{-1}); 2009: 11.3., 21.4., 27.5. (60, 30, 60 kg N ha^{-1})), während bei der Injektionsdüngung die gesamte N- Düngung in 1 Gabe appliziert wurde (2008: 10.3. (160 kg N ha^{-1}), 2009: 15.4. (150 kg N ha^{-1})). Zum Schwefelausgleich erhielten alle Varianten 2008 30 kg S/ha und 2009 22 kg S/ha in Form von Kieserit.

Die Gewichtsveränderungen der Lysimeter wurden 10minütlich, die Sickerwassermengen wöchentlich im Winterhalbjahr und 14tägig im Sommerhalbjahr ermittelt. Aus der Wasserhaushaltsgleichung

$$N = A + S \pm \Delta R + E + TP + I$$

(A=Oberflächenabfluss, S=Sickerwasser; R=Wasservorrat im Boden; E=Evaporation; TP=Transpiration; I=Interzeption) wurde die Evapotranspiration ETP als Summenparameter ermittelt. Die varianzanalytische Auswertung (ANOVA) erfolgte mit dem Programm SPSS über Vergleich der monatlichen Mittelwerte der Versuchsfaktoren (Bodenbearbeitung, Düngung, Sorten) und nachfolgendem Tukey-Test. Die Ertragsparameter wurden in den Lysimetern ermittelt.

Tab. 1: Jahreswasserbilanz der Lysimeter in Mittel der Versuchsfaktoren Bodenbearbeitung, Düngung und Sorten 2008 und 2009 (L m⁻²)

Wintergerste 2008	Mulch	Pflug	oberfl.	injiziert	Fin- esse	Fride- ricus	MW
Niederschlag	649	649	649	649	649	649	649
Beregnung ¹⁾	23	26	25	24	25	24	25
Sickerwasser	315	331	340	305	333	313	323
ETP	367	392	381	378	367	392	380
Zufuhr	672	675	674	673	674	673	674
Abfuhr	682	723	721	683	700	705	703
Bilanz (Zu - Abfuhr)	-10	-48	-47	-10	-26	-32	-29
Winterweizen 2009	Mulch	Pflug	oberfl.	injiziert	Her- mann	Türkis	MW
Niederschlag	619	619	619	619	619	619	619
Beregnung ¹⁾	54	52	57	49	53	52	53
Sickerwasser	179	230	229	230	210	199	213
ETP	481	465	462	484	458	489	473
Zufuhr	673	671	676	668	672	671	672
Abfuhr	660	695	691	714	668	688	686
Bilanz (Zu - Abfuhr)	13	-24	-15	-46	4	-17	-14

¹⁾ Die Beregnungsmenge wurde für jedes Lysimeter aus der Gewichtsveränderung individuell ermittelt

2008 betrug der Jahresniederschlag 649 L m^{-2} , 2009 619 L m^{-2} bei einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 619 L m^{-2} . Hinzu kamen die in Tabelle 1 angegebenen Berechnungswassermengen. 2008 waren die Monate Mai und Juni, 2009 die Monate April, Mai, Juni und August überdurchschnittlich trocken. Die langjährige Jahresdurchschnittstemperatur beträgt $9,2^\circ\text{C}$, die Jahresdurchschnittstemperatur 2008 betrug $10,8^\circ\text{C}$ und 2009 $10,0^\circ\text{C}$.

3. Ergebnisse

Bei Wintergerste (2008) hat keiner der drei Versuchsfaktoren den Kornertrag, die gesamte oberirdische Biomasse, die Evapotranspiration und die Wassernutzungseffizienz (Tab. 2) beeinflusst. Der Strohertrag der Wintergerste war signifikant nach CULTAN-Injektionsdüngung erhöht.

Der Kornertrag des Winterweizens (Tab. 3) war 2009 nach Injektionsdüngung signifikant höher als nach breitwürfiger Düngung. Die Evapotranspiration des Winterweizens war durch die Versuchsfaktoren nicht signifikant beeinflusst. Daraus resultiert, dass die CULTAN-Düngung zu signifikant höherer Evapotranspirationsproduktivität für den Kornertrag ($1,34 \text{ g TML}^{-1}\text{m}^{-2}$) als die breitwürfige Düngung ($1,1 \text{ g TML}^{-1}\text{m}^{-2}$) geführt hat.

Die Auswertung über die einzelnen Wachstumsmonate ergab, dass unmittelbar nach breitwürfiger Oberflächendüngung die Evapotranspiration in beiden Jahren in den Monaten März und April über der nach Injektionsdüngung liegt, während sie im Mai und Juni, also in der Phase der höchsten Biomassebildung von Wintergetreide, nach Injektionsdüngung tendenziell höher lag (Daten nicht gezeigt).

Tab. 2: Erträge (dt TM ha⁻¹), Evapotranspiration (L m⁻²) sowie die Produktivität der Evapotranspiration (g TM L⁻¹m⁻²) in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung, Düngung und Wintergerstensorte 2008

Kornertrag (dt TM ha⁻¹)			
Mulch	61,7	Pflug	57,9
KAS oberfl.	58,4	CULTAN	61,2
Finesse	61,0	Fridericus	58,6
Strohertrag (dt TM ha⁻¹)			
Mulch	40,6	Pflug	45,5
KAS oberfl.	40,2B	CULTAN	45,9A
Finesse	44,5	Fridericus	41,7
Gesamt Biomasseertrag (dt TM ha⁻¹)			
Mulch	102,3	Pflug	103,5
KAS oberfl.	98,6	CULTAN	107,2
Finesse	105,5	Fridericus	100,3
Evapotranspiration (ETP L m⁻²)			
Mulch	274	Pflug	274
KAS oberfl.	278	CULTAN	287
Finesse	263	Fridericus	302
Produktivität der ETP (g TM L⁻¹m⁻²) für die Biomasse			
Mulch	3,6	Pflug	3,8
KAS oberfl.	3,6	CULTAN	3,8
Finesse	4,1	Fridericus	4,1
Produktivität der ETP (g TM L⁻¹m⁻²) für den Kornertrag			
Mulch	2,2	Pflug	2,1
KAS oberfl.	2,1	CULTAN	2,2
Finesse	2,3	Fridericus	2,0

Varianten mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, $p < 0,05$

Tab. 3: Erträge (dt TM ha⁻¹), Evapotranspiration (L m⁻²) sowie die Produktivität der Evapotranspiration (g TM L⁻¹m⁻²) für die Biomasse- und die Kornertragsbildung in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung, Düngung und Winterweizensorte 2009

Kornertrag (dt TM ha⁻¹)			
Mulch	50,9,0	Pflug	48,2
KAS oberfl.	45,0 A	CULTAN	54,2 B
Hermann	52,8	Türkis	46,3
Strohertrag (dt TM ha⁻¹)			
Mulch	33,4	Pflug	28,4
KAS oberfl.	32,0	CULTAN	29,8
Hermann	32,7	Türkis	29,1
Gesamt Biomasseertrag (dt TM ha⁻¹)			
Mulch	84,3	Pflug	76,7
KAS oberfl.	77,0	CULTAN	84,0
Hermann	85,5	Türkis	75,5
Evapotranspiration (L m⁻²)			
Mulch	415	Pflug	403
KAS oberfl.	412	CULTAN	406
Hermann	393	Türkis	426
Produktivität der ETP (g TM L⁻¹m⁻²) für die Biomasse			
Mulch	2,04	Pflug	1,91
KAS oberfl.	1,87	CULTAN	2,07
Hermann	2,18 A	Türkis	1,77 B
Produktivität der ETP (g TM L⁻¹m⁻²) für den Kornertrag			
Mulch	1,23	Pflug	1,20
KAS oberfl.	1,10 B	CULTAN	1,34 A
Hermann	1,35 A	Türkis	1,09 B

Varianten mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant, $p < 0,05$

4. Diskussion

Wegen der hohen Kosten von wägbaren Lysimetern besteht ein großer Nachteil dieser und vergleichbarer Lysimeteruntersuchungen darin, dass jede Versuchsvariante ohne echte Wiederholung angelegt ist und jeder Versuchsfaktor nur über die verschiedenen Faktorkombinationen wiederholt ist und somit erst vergleichsweise große Einflüsse von Versuchsfaktoren statistisch absicherbar sind. Umso bemerkenswerter ist, dass 2009 nach N-Flüssigdüngerinjektion eine statistisch absicherbare höhere Produktivität der Wassernutzung für die Kornertragsbildung bei Winterweizen ermittelt werden konnte, die sich 2008 tendenziell auch für Wintergerste andeutete und die in beiden Jahren dadurch entstanden ist, dass bei nahezu identischer Evapotranspiration bei beiden N-Düngeverfahren nach der N-Flüssigdüngerinjektion ein höherer Kornertrag ermittelt wurde.

Der höhere Kornertrag des Wintergetreides nach der N-Flüssigdüngerinjektion bei annähernd gleichem Wasserverbrauch lässt den Schluss zu, dass es bei dem CULTAN-Verfahren zu der von Sommer (2000) angestrebten Ammoniumernährung der Kulturpflanzen unter Feldbedingungen kommt, die zu einer höheren Ertragsbildung bei nicht adäquat steigendem Wasserverbrauch führt. Damit ist die dieser Arbeit zugrundeliegende Hypothese, dass das CULTAN-Verfahren die Produktivität der Evapotranspiration positiv beeinflussen kann, bestätigt. Legt man die bei Marschner (1999) zitierten Gefäßuntersuchungen zugrunde, wo bei Ammoniumversorgung wie auch bei NH_4/NO_3 -Mischernährung eine Reduzierung der Transpirationsrate durch die Pflanzen bei gleichzeitig gesteigerten CO_2 -Assimilationsraten festgestellt wurden, lässt sich somit schlussfolgern, dass dies bei Ammoniumflüssigdüngerinjektion auch unter Feldbedingungen erreichbar ist.

Nach diesen Untersuchungen lässt sich somit nicht nur die Stickaufnahmeeffizienz (Sommer, 2000; Kücke, 2003; Beck, 2004; Boelke, 2003; Richter, 2010), sondern auch die Wassernutzungseffizienz von Kulturpflanzen bei Anwendung einer Ammonium-Unterfußdüngung wie der NH_4 -Injektionsdüngung gegenüber einer breitwürfigen Oberflächendüngung offensichtlich steigern.

Hinsichtlich der Sorteneinflusses zeigte 2009 die Sorte Hermann, die nach beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes (2010) eine mittlere bis hohe Bestandesdichte ausweist, eine signifikant höhere Produktivität der Wassernutzung als die mit niedriger bis mittlerer Bestandesdichte angegebenen

Sorte Türkis. Die Bestandesdichten beider Sorten waren entsprechend der Sortenbeschreibungen auch in diesen Untersuchungen deutlich verschieden (2008: Fridericus Ähren 395 m⁻², Finesse 789 Ähren m⁻²; Hermann 491 Ähren m⁻², Türkis 392 Ähren m⁻²). Die höhere Bestandesdichte führte somit nicht erkennbar zu einem höheren Wasserverbrauch, wohl aber zu einem höheren Kornertrag, woraus sich die höhere Wassernutzungseffizienz ergibt.

Bereits heute zeigen zahlreiche Untersuchungen, dass höhere Erträge und N-Entzüge nach N-Flüssigdüngerinjektion unter praktischen Anbaubedingungen möglich sind (Kücke, 2003; Beck, 2004; Weimar, 2003; Richter, 2010; Walter, 2010). Hinzu kommen Untersuchungen, die zeigen, dass die N-Flüssigdüngerinjektion zu niedrigerer Nitratauswaschung führen kann (Walter, 2010; Köhler et al., 2003). So stellte Walter 2010 in einer mehrjährigen Feldversuchsstudie in den Winterhalbjahren eine um 50 % geringere Nitratauswaschung nach N-Flüssigdüngerinjektion fest.

Die Ergebnisse erklären auch, warum in Feldversuchen höhere Erträge nach N-Flüssigdüngerinjektion im Vergleich zu breitwürfiger Düngung besonders in Jahren mit Frühjahrs- und Frühsommertrockenheit festzustellen sind (Beck, 2004; Richter, 2010).

5. Literatur

- Beck, W., 2004: N-Düngung nach dem CULTAN-Verfahren. Kartoffelbau 4, 116-12.
- Boelke, B., 2003: Effekte der Injektionsdüngung auf Ertrag und Qualität von Getreide und Raps in Mecklenburg-Vorpommern. Landbauforschung Völkrode, Sonderheft 245, 47-53.
- Bundessortenamt 2010: Beschreibende Sortenliste 2010. ISSN 2190-6130.
- Köhler, S., Bischoff, W.-A., Liebig H.-P., 2003: CULTAN-Düngung – Ein Beitrag zum Grundwasserschutz durch Verringerung des Nitrataustrages. Landbauforschung Völkrode, Sonderheft 245, 117-127.
- Horchani, F., Hajri, R., Aschi-Smiti, S., 2010: Effect of ammonium or nitrate nutrition on photosynthesis, growth, and nitrogen assimilation in tomato plants. J. Plant Nutr. Soil Sci 2010, 173, 610-617.
- Kücke, M. 2003: Ertrag und Kornqualität von Winterweizen und Winterroggen nach N-Injektionsdüngung – Feldversuchsergebnisse 2001. Land-

- bauforschung Völkenrode, Sonderheft 245, 69 - 80.
- Kücke, M., Bramm, A., Höppner, F., Laws, W., 2006: Aufbau und Zielsetzung der neuen Lysimeteranlage des Instituts für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der FAL (Braunschweig), in: Deutsch-Türkische Agrarforschung, 8. Symposium.
- Marschner, H., 1999: Mineral Nutrition of Higher Plants, Fourth Edition, Academic Press.
- Richter, V., 2010: Prozessorientierte Modellierung und Feldversuche zur ammoniumbetonten Injektionsdüngung. Dissertation der Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der TU Braunschweig.
- Petersen, J., Mortensen, J. V., 2002: Dry Matter production and 15N recovery in spring wheat as affected by placement geometry of the fertilizer band. *Commun. soil sci. plant anal.* 33(1&2), 163-178.
- Sommer, K., 2000: „CULTAN“-cropping system: Fundamentals, state of development and perspectives. In: Nitrogen in a sustainable ecosystem: Eds: Martins-Loucao, M.A., Lips, S.H.: From the cell to the plant. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 361-375.
- Sommer, K., 2003: Grundlagen des „CULTAN“-Verfahrens. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245*, 1-22. Forschungsanstalt für Landwirtschaft. Braunschweig.
- Walter, E., 2010: Konventionelle mineralische und N-Injektionsdüngung in Feldversuchen 1991-2005 - Einfluss auf Nitratauswaschung und Getreideproduktion -. Dissertation der Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim.
- Weimar, S., 2003: Untersuchungen zur N-Düngung nach dem CULTAN-Verfahren bei Getreide, Zuckerrüben und Kartoffeln in Rheinland-Pfalz. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 245*, 23 - 44.

Modellierung der Humusreproduktion mit dem Modell CCB

E. Thiel¹, U. Franko², H. Kolbe¹

¹Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Leipzig, ²Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Halle

1. Einleitung

Der organische Kohlenstoff (C_{org}) ist Hauptbestandteil des Humus und wird als Maß für den Humusgehalt eines Bodens verwendet. Der Humusgehalt des Bodens ist für die Bodenstruktur, für die Nährstoffspeicherung und für die Nährstoffdynamik bedeutend. Der Humusumsatz und damit die Nährstoffdynamik eines Standortes ist vom Klima, vom Boden und der Bewirtschaftung abhängig. Das Ausmaß des Humusaufbaus oder -abbaus durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung wird durch die Standorteigenschaften geprägt.

2. Zielstellung

Gegenwärtig existieren verschiedene Verfahren, mit denen eine Berechnung der Humusreproduktion durchgeführt werden kann (z. B. Asmus und Herrmann, 1977; Brock et al., 2008; Hülsbergen, 2003; Leithold et al., 1997; Kolbe, 2010; VDLUFA, 2004). Diese Verfahren berücksichtigen jedoch messbare C_{org} -Gehalte im Boden nicht und beinhalten nur partiell eine Standortwirkung. Aktuelle Prozessmodelle zur Bodenkohlenstoffdynamik, z. B. CIPS nach Kuka et al. (2007), haben für einen praktischen Einsatz in der Regel einen zu hohen Eingangsdatenbedarf.

Für den Einsatz unter Praxisbedingungen mit der dort gewöhnlich anzutreffenden reduzierten Datengrundlage sollte daher aus dem Prozessmodell CANDY (Franko, 1989) eine stark vereinfachte Variante abgeleitet werden. Das Modell sollte Standorteffekte berücksichtigen und einen Bezug zum Kohlenstoff und zum Stickstoff im Boden besitzen. Bezüglich der potenziellen Anwendergruppe lag der Fokus auf Landwirten und der Landwirtschaftberatung. Das Minimum an Eingabedaten für die 3 grundlegenden Steuerbereiche des C- und N-Umsatzes wurde wie folgt definiert (Abb. 1):

Boden (0-30 cm)	Bewirtschaftung	Klima
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ton ▪ Bodenart nach RBS ▪ Skelett 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fruchtart, Ertrag ▪ organ. Düngung ▪ Beregnung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ \emptyset Niederschlag ▪ \emptyset Lufttemperatur

Abb. 1: Minimum an Eingabedaten für das Modell CCB

3. Methodik

Als Basis für die Entwicklung des Verfahrens **CANDY Carbon Balance (CCB)** diente das C-N-Prozessmodell CANDY (Franko, 1989). Für die Abbildung der Umsatzbedingungen unter Praxisvoraussetzungen wird im Modell CCB die standorttypische biologische Aktivität (BAT) nach Franko und Oelschlägel (1995) durch eine Gleichung aus einfach zugänglichen Standortgrunddaten der Reichsbodenschätzung (RBS) und aus den Klimadaten (Abb. 1) berechnet. Stoffflüsse hinsichtlich Kohlenstoff und Stickstoff werden in Jahresschritten modelliert. Die Modellalgorithmen sind ausführlich in Franko et al. (2011) beschrieben. Das Modell ermöglicht die Prozesssimulation in Jahresschritten, beginnend mit einem C_{org} - und N_t -Startwert, letzterer fakultativ. Als Antrieb dienen die aus den Klima- und Bodenparametern berechnete BAT, die Fruchtfolge sowie die C- und N-Zufuhr über die organischen und mineralischen Düngemittel. Die Eingabe des N-Entzuges ist möglich. Alle Daten sind in einer Datenbank abgelegt. Diese können in der Datenbank oder über die Anwenderoberfläche bearbeitet werden. Die Simulation des C-N-Umsatzes verlangt grundlegende physikalische Bodenparameter. CCB erfordert keine vollständige Angabe dieser intern benutzten bodenphysikalischen Parameter. Ausgehend von einem minimalen Datenumfang (Abb. 1) werden weitere, von den Modellalgorithmen benutzte Parameter mittels Pedotransferfunktionen bestimmt, falls diese nicht durch den Anwender eingegeben wurden. Die zur Validierung des CCB-Modells verwendete Datenbasis besteht aus 40 Langzeitversuchen mit 391 Versuchsvarianten (Franko et al., 2011), vorwiegend im gemäßigten Klima (7-11°C, 300-900 mm Jahresniederschlag) mit einem Tongehalt <30 % in der Krumschicht (0-30 cm).

Die Einschätzung der Modellgenauigkeit basiert auf dem Vergleich der gemessenen und simulierten Werte anhand von statistischen Gütemaßen. Aufgrund

der Vorzeichen bei der Betrachtung der mittleren Fehlerdifferenz ME (mean error) kann eine Über- oder Unterschätzung erkannt werden. Eine mittlere Fehlerdifferenz nahe Null weist auf eine gute Modellvorhersage hin. Die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler RMSE (root mean square error) wird eher als klassisches Gütemaß bezeichnet. Hierbei werden die größeren Differenzen zwischen den gemessenen und simulierten Werten überproportional hoch bewertet. Für eine gute Modellübereinstimmung sollte der RMSE möglichst klein sein.

4. Ergebnisse

Der Hauptteil der zur Validierung verwendeten Daten wurde aus der Literatur bzw. direkt vom jeweiligen Versuchsansteller übernommen. Nach verschiedenen Plausibilitätsprüfungen wurden die Daten in die „Soil Organic Matter“-Datenbank EURO-SOMNET (Smith et al., 2002) über eine Internetschnittstelle (<http://www.ufz.de/somnet>) übernommen und stehen für eine koordinierte Datenweitergabe durch die Versuchsansteller zur Verfügung.

Insgesamt ist die Qualität der Kohlenstoffmodellierung für den Gesamtdatensatz aus 40 Langzeitversuchen mit 391 Versuchsvarianten sehr gut (Abb. 2). Für die statistischen Gütemaße zur Modellvalidierung ME (-0,001) und RMSE (0,119) wurden gute Ergebnisse erzielt.

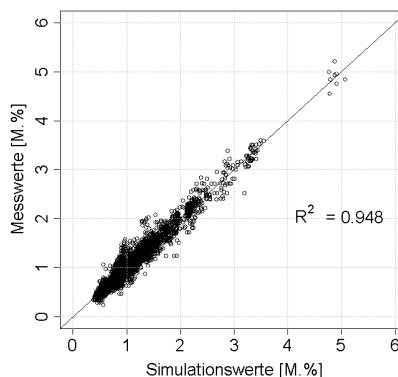


Abb. 2: Vergleich von gemessenen und modellierten C_{org} -Werten

Der Großteil der Fehler für den RMSE je Variante gruppiert sich unter 0,15 M. % C_{org} (Abb. 3). Einzelne Varianten lagen über dem gesetzten Ziel in Höhe der Messunsicherheit. Es konnte jedoch keine systematischen Einflüsse der geprüften Faktoren (Standortbedingungen, Bewirtschaftung, Versuchscharakteristik) gefunden werden.

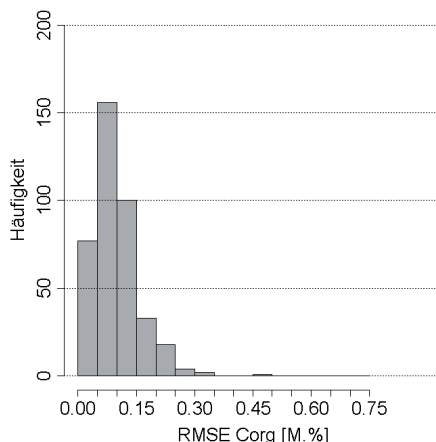


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung des Gütemaßes RMSE

Um Einflüsse der Versuchsdauer auszuschließen, wurden die Gütemaße für die jeweils 1. und 2. Hälfte der Versuchslaufzeit für den Gesamtdatensatz ermittelt (Tab. 1). Die Unterschiede sind gering.

Tab. 1: RMSE und ME für die 1. und 2. Hälfte der Versuchslaufzeiten

Gütemaß	1. Hälfte	2. Hälfte
RMSE	0,105	0,089
ME	0,003	-0,008

Die Ergebnisse der Simulationen werden dem Anwender durch das Modell in einer graphischen Oberfläche angezeigt (Abb. 4 bis 6). Zusätzlich zur Veränderung der C_{org} -Gehalte im Boden wird die C-Bilanz in $t\ ha^{-1}$ ausgewiesen (Abb. 5). Hierbei sind die Mengen für die Prozesse Auf- und Abbau, CO_2 -Produktion und das C-Saldo einzeln ausgewiesen. Diese Ergebnisse zur Beurteilung der Humusreproduktion im Boden können für weitere Datenanalysen nach MS Excel exportiert werden.

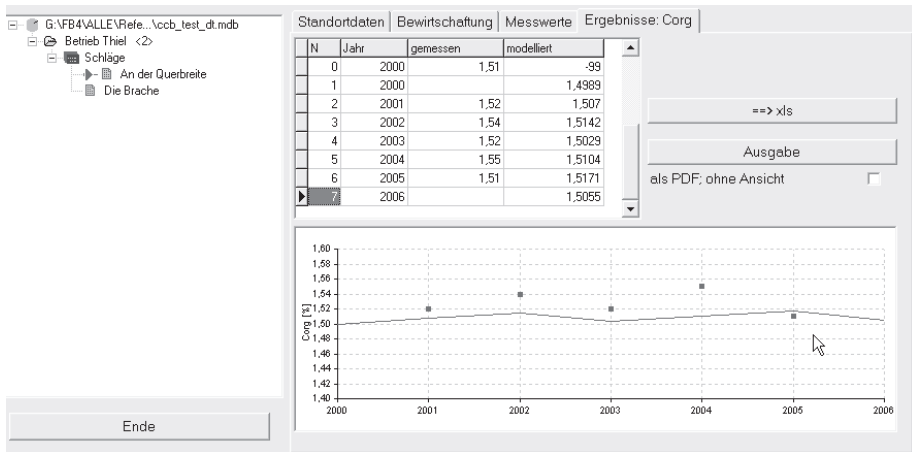


Abb. 4: Ergebnis der CCB-Modellierung am Beispiel C_{org} -Gehalt

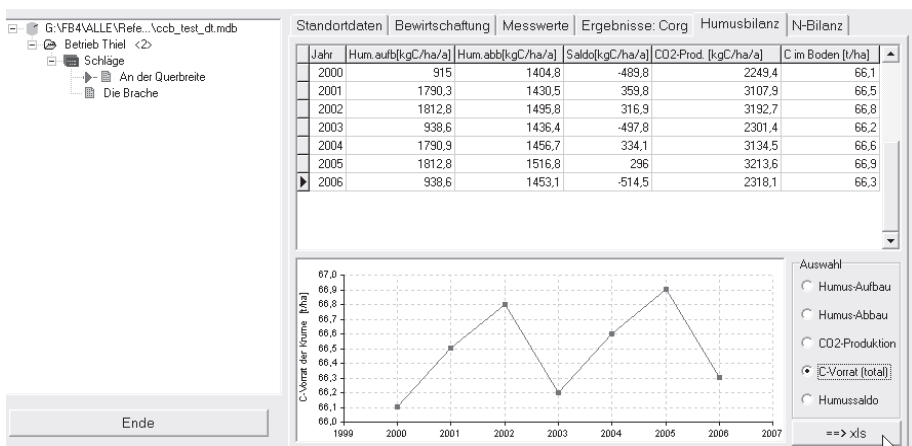


Abb. 5: Ergebnisdarstellung der Humusreproduktion

Über eine extra Schaltfläche wird die Menge der N-Mineralisierung aus der organischen Bodensubstanz ausgewiesen (Abb. 6).

Es gibt zwei Varianten, dass CCB-Modell für Modellierungen zu nutzen. Zum einen besitzt das CCB eine Anwenderoberfläche. Für die Nutzung des CCB-Modells über die Anwenderoberfläche wurde ein ausführliches Nutzerhandbuch verfasst. Zum anderen kann das Modell für umfangreiche Modellläufe in einem so genannten Batchmodus gestartet werden.

Zur Versuchsdokumentation und erleichterten Dateneingabe bzw. -kontrolle wurde im Expertenmodus eine Schnittstelle des CCB zur Literaturverwaltung eingerichtet. Hier können beliebige Dokumente (z. B. Veröffentlichungen, Versuchsberichte) in digitaler Form mit dem entsprechenden Versuch verknüpft werden. Es können auch Datensätze aus Literaturdatenbanken (z. B. Endnote, Reference Manager etc.) im RIS-Format importiert werden.

Weiterhin wurde im Expertenmodus eine Schnittstelle zur statistischen Datenauswertung mit dem freien Statistikprogramm „R“ (<http://cran.r-project.org>) geschaffen. Somit kann eine große Breite von Verfahren der statistischen Datenanalyse genutzt werden.

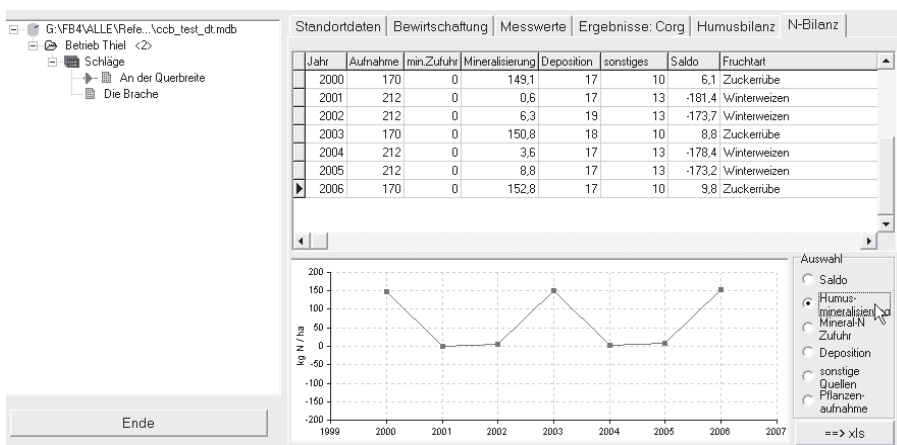


Abb. 6: Ausweisung der N-Mineralisierung

Die Nutzung des Modells über die Anwenderoberfläche kann über einen Expertenmodus und einen Standardmodus (voreingestellt) erfolgen. Das Umschalten erfolgt über ein ini-file.

Das Modell bietet die Möglichkeit von Szenariorechnungen. Hier können Effekte von Änderungen der Klimadaten sowie von Fruchtfolge- und Düngungsanpassungen auf die Humusreproduktion studiert werden. Das Modell inklusive Handbuch und einer Beispielsdatei kann unter <http://www.ufz.de/ccb> frei heruntergeladen werden. Die R-Skripte aus der Modellvalidierung sind als Anregung auf der Internetseite zusammengestellt.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Für den Einsatz unter Praxisbedingungen mit der dort gewöhnlich anzutreffenden reduzierten Datengrundlage wurde aus dem Prozessmodell CANDY das Modell CCB abgeleitet. Die Arbeitsweise von CCB ist auf Praxisanforderungen ausgerichtet. Stoffflüsse hinsichtlich Kohlenstoff und Stickstoff werden in Jahresschritten modelliert und als Ergebnis, z. B. in MS Excel, ausgegeben.

Das Modell CCB ist anwendungsbereit zur praktischen Nutzung für die Prognose von Humusveränderungen im Boden. Es bietet z. B. die Möglichkeit, die Effekte verschiedener Fruchtfolgekonstellationen, unterschiedlicher Düngestrategien, Abfuhr/Verbleib von Koppelprodukten sowie Klimaänderungen auf die Humusentwicklung des Bodens abzuschätzen.

Das Modell und das Handbuch sind frei verfügbar. CCB ist unter den Betriebssystemen Windows XP, Vista und Windows 7 lauffähig. Es kann direkt ohne Installation gestartet werden.

An einem Ausbau der Datenbasis durch die Aufnahme neuer Dauerversuche wird weiterhin gearbeitet. Ebenso werden Kopplungen mit anderen Modellen, u. a. mit STOFFBILANZ (Gebel et al., 2010) und BEFU (Förster et al., 2011), angestrebt.

Um die Nutzung des Modells für Landwirte weiter zu vereinfachen, wird an der Kopplungsmöglichkeit an eine Schlagkartei gearbeitet.

Die Ausweisung der N-Mineralisierung aus der organischen Bodensubstanz bietet weiterhin ein großes Potenzial, u. a. zur optimierten N-Düngung und Verminderung von N-Salden im Hinblick auf Gewässerschutzziele.

6. Literaturangaben

- Asmus, F., Herrmann, V., 1977: Reproduktion der organischen Substanz des Bodens. In: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Institut für Landwirtschaftliche Information und Dokumentation, Berlin.
- Brock, C., Hoyer, U., Leithold, G., Hülsbergen, K.-J., 2008: A New Approach to Humus Balancing in Organic Farming. Conference of the International Society of Organic Agriculture Research ISOFAR, Modena, Italy, June

- 18-20, 2008.
- Förster, F., Ernst, H., Albert, E., 2011: BEFU Version 2011. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/befu>, Leipzig.
- Franke, U., 1989: C- und N-Dynamik beim Umsatz organischer Substanz im Boden. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Berlin (Dissertation).
- Franke, U., Kolbe, H., Thiel, E., Ließ, E., 2011: Multi-site validation of a soil organic matter model for arable fields based on generally available input data. *GEODERMA* 166 (1), 119-134.
- Franke, U., Oelschlägel, B., 1995: Einfluß von Klima und Textur auf die biologische Aktivität beim Umsatz der organischen Bodensubstanz. *Arch. Acker- Pfl. Boden* 39, 155-163.
- Gebel, M., Halbfaß, S., Bürger, S., Friese, H., Naumann, S., 2010: Modelling of nitrogen turnover and leaching in Saxony. *Adv. Geosci.* 27, 139-144.
- Hülsbergen, K.-J., 2003: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker, Halle.
- Kolbe, H., 2010: Site-adjusted organic matter-balance method for use in arable farming systems. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 173 (5), 678-691.
- Kuka, K., Franke, U., Rühlmann, J., 2007: Modelling the impact of pore space distribution on carbon turnover. *Ecological Modelling* 208 (2-4), 295-306.
- Leithold, G., Hülsbergen, K.-J., Michel, D., Schönmeier, H., 1997: Humusbilanzierung - Methoden und Anwendung als Agrar-Indikator. In: DBU (Editor), Zeller Verlag, Osnabrück.
- Smith, P., Fallon, P.D., Körschens, M., Shevtsova, L.K., Franke, U., Romanenkova, V., Coleman, K., Rodionova, V., Smith, J.U., Schramm, G., 2002: EuroSOMNET - a European database of long-term experiments on soil organic matter: the WWW metadatabase. *Journal of Agricultural Science* 138, 123-134.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2004: VDLUFA-Standpunkt "Humusbilanzierung" - Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 1-12.

Neue Ergebnisse zur Düngewirkung von Gärresten aus der Biogaserzeugung

H. Schröter, W. Zorn

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena-Zwätzen

1. Einleitung und Problemstellung

Gefördert durch das Erneuerbaren-Energien-Gesetz erfolgte in den letzten Jahren ein rasanter Anstieg der Biogaserzeugung bei stark zunehmender Anzahl an Biogasanlagen. Die vermehrt anfallenden Mengen von Biogasgülle und Gärresten stellen zusammen mit den herkömmlichen Wirtschaftsdüngern wertvolle Humus- und Nährstoffträger für die Pflanzenproduktion dar. Bei gleichzeitig mehr oder weniger stark angestiegenen Preisen für Mineraldünger, die sich auch in Zukunft auf einem höheren Niveau einpendeln werden, sind vor allem auch Gärreste nicht zu vernachlässigende Alternativen für eine optimale Pflanzenernährung.

Für eine fachlich begründete Düngungsempfehlung eines ökonomisch effektiven und ökologisch vertretbaren Einsatzes dieser vorrangig N-, aber auch P- und K-haltigen organischen Dünger sind deren Zusammensetzung (TS-, N-Gesamt- sowie $\text{NH}_4\text{-N}$ -, P-, K-Gehalte), Düngewirkung (Mineraldüngeräquivalente, vor allem N-MDÄ) sowie Wirkung im Boden (N_{min}) von besonderer Bedeutung. Hierzu soll im Folgenden berichtet werden.

2. Material und Methoden

Die dargestellten Ergebnisse beruhen auf Erhebungsuntersuchungen, Laboranalysen (alle nach Vorschriften der VDLUFA Methodenbücher, der entsprechenden DIN EN ISO bzw. Hausverfahren) und Pflanzenversuchen.

Von Herbst 2007 bis 2011 wurden im Kleinparzellenversuch (Kastenparzellen aus Betonteilen, je $0,5 \text{ m}^2$, 3 Wiederholungen) am Standort Jena-Zwätzen auf 4 verschiedenen Bodensubstraten (Löß, Gneis, Muschelkalk, Buntsandstein), mit 3 Kulturarten in 6 Ernten (Futterroggen, Silomais, Winterweizen, Futterrog-

gen, Silomais, Winterweizen) jeweils eine unvergorene (RG-roh) und vergorene Rindergülle (RG-verg.), ein Gärrest auf Basis vorwiegend nachwachsender Rohstoffe (BGG-Nawaro), ein Gärrest auf Basis von Schweinegülle (BGG-SG) sowie die beiden letztgenannten zusätzlich mit dem Nitrifikationshemmstoff PIADIN behandelt, im Vergleich mit einer mineralischen N-Düngung geprüft (PG siehe Tab. 3, PG1-PG8); die mineralischen und mit OD ausgebrachten N-Mengen waren dabei gleich.

Bisher über 3 Jahre (2009 Silomais, 2010 Winterweizen, 2011 Wintergerste) kamen in exakten Feldversuchen (Einzelparzelle >70 m², 4 Wiederholungen) in Dornburg die oben genannten und in Bad Salzungen weitere 3 Produkte zur Prüfung: ein Gärrest auf Basis von Speise- und Lebensmittelresten (GR-SLR), sowie eine unvergorene (RG-roh) und vergorene Rindergülle (RG-verg.) (Tab. 1).

Tab. 1: Feldversuche zur Ermittlung von Ertragswirkung und N-Mineraldüngeräquivalent von Gärresten (Dornburg, Bad Salzungen)

Dornburg	Bad Salzungen
Lößparabraunerde LÖ1c auf Muschelkalkverwitterung	Braunerde V4a aus Buntsandsteinverwitterung
stark toniger Schluff Az 70 260 m ü. NN 8,3° C mittlere Jahrestemperatur 584 mm mittl. Jahresniederschlag	lehmiger Sand Az 32 280 m ü. NN 7,7° C mittlere Jahrestemperatur 566 mm mittl. Jahresniederschlag
mineral. N-Düngung als KAS: (0/50/75/100 % des N-Bedarfs)	mineral. N-Düngung als KAS: (0/60/100/140 % des N-Bedarfs)
Org. N-Düng.: 100 % N-Bedarf mit Gülle/Gärrest nach N _r -Gehalt (+0/+25/+50 % des N-Bedarfs als KAS)	Org. N-Düng.: 100 % N-Bedarf mit Gülle/Gärrest nach N _r -Gehalt (+0/+40 % des N-Bedarfs als KAS)
1 Rindergülle, 3 Gärreste insgesamt 16 Prüfglieder	1 Rindergülle, 2 Gärreste insgesamt 10 Prüfglieder

Der N-Bedarf der einzelnen Kulturarten wurde in allen aufgeführten Versuchen jährlich zu Vegetationsbeginn auf Grundlage prüfgliedweiser N_{min}-Untersuchungen nach Stickstoffbedarfsanalyse der TLL (SBA) berechnet; die Mengen der jeweiligen organischen Düngestoffe nach ihrem N_r-Gehalt abgeleitet.

Die Ausbringung der so ermittelten Gülle/Gärrest-Mengen erfolgte in den Feld-

versuchen mittels dosierbarer Feldparzellentechnik: jeweils in einer Gabe; zu Winterfutterroggen, Wintergerste und Winterweizen zum Zeitpunkt der 1. N-Gabe im Frühjahr zwischen die Reihen mit Schleppschlauch; zu Mais vor Aussaat eingearbeitet; in den Kastenparzellen entsprechend per Hand, dabei zu Winterweizen in zwei Gaben.

Bei der mineralischen N-Düngung erfolgte zu Wintergetreide für hohe Mengen eine Teilung in zwei Gaben, die mineralische N-Zusatzdüngung auf den organisch gedüngten Prüfgliedern als 2. Gabe; zu Mais wurden die gesamten N-Dünger vor der Saat ausgebracht.

Alle Versuche erhielten jährlich eine optimale Grunddüngung mit P, K, Mg und S entsprechend der aktuellen Bodenuntersuchung.

3. Ergebnisse

3.1 Zusammensetzung und Eigenschaften

Einen Auszug aus einer Erhebungsuntersuchung in Thüringer Biogasanlagen im Jahr 2008 hinsichtlich der Eigenschaften von Biogasgülle im Vergleich zu Rindergülle enthält Tabelle 2.

Tab. 2: Ausgewählte Parameter der Biogassubstrate vor und nach der Vergärung (außer pH-Wert alle Angaben in % der OS)

Mittel von 57 Biogasanlagen	vor Vergärung	nach Vergärung
TS	14,1	5,8
GV	82,0	71,5
Nt	0,48	0,42
NH ₄ -N von N _t	41	73
pH-Wert	6,71	7,90

Die wichtigsten Veränderungen der Substrateigenschaften während der Vergärung und die daraus resultierende Nährstoffzusammensetzung der Biogasgülle bzw. Gärreste kann man schwerpunktmäßig wie folgt zusammenfassen (Tabellen 2 und 3):

Der im Biogasprozess erfolgende Abbau des Gehaltes an organischer Trockenmasse führte auch zu einer Reduzierung des Kohlenstoffgehaltes; gemessen am Glühverlust von ca. 80 auf 70 %. Untersuchungen von Rindergüllen vor und nach der Vergärung belegen eine Abnahme des C_{org} -Gehaltes von 4,0 auf rund 2,3 %.

Tab.3: Zusammensetzung der verwendeten Güllen und Gärreste (Mittelwerte, außer pH-Wert alle Angaben in % der OS)

Parameter	RG- roh	RG- verg.	GR- SLR	RG- roh	RG- verg.	BGG- Nawaro	BGG- SG
	Feldversuch Bad Salzungen			Kleinparzellenversuch Jena Feldversuch Dornburg			
TS	10,5	6,5	3,6	10,1	5,8	12,0	2,8
Nt	0,40	0,38	0,50	0,42	0,30	0,79	0,45
NH ₄ -N	0,21	0,26	0,42	0,21	0,19	0,51	0,40
NH ₄ -N 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
P	0,08	0,09	0,07	0,08	0,06	0,12	0,04
K	0,27	0,27	0,18	0,33	0,29	0,60	0,29

Die mittleren TM-Gehalte liegen bei ca. 6 % mit einer breiten Spanne von 3 bis über 10 %. Die Vergärung bewirkt einen Anstieg der pH-Werte von 6,6-6,8 auf 7,6-7,9.

Der N_t-Gehalt beträgt im Mittel 0,4 % (0,3-0,8 %). Dabei erhöhte sich der NH₄-N-Anteil am Gesamt-N-Gehalt im Biogasprozess von ca. 50 % vor der Vergärung auf 65 bis fast 90 % in den Gärresten. Der N-Verlust während der Vergärung ist mit ca. 10 % der N-Menge im Ausgangssubstrat relativ gering.

Die Nährstoffe Phosphor und Kalium gehen im Gärrest nicht verloren. Bei praxisüblichen Aufwandmengen von z. B. 40 m³/ha ergeben sich mitausgebrachte Nährstoffmengen von 16 bis 48 kg P/ha bzw. 72 bis 240 kg K/ha.

3.2 Ergebnisse der Kleinparzellenversuche

In Abb. 1 ist am Beispiel des Kleinparzellenversuches 2009 mit Winterweizen die Düngewirkung der Güllen/Gärreste nach der 1. N-Gabe (60% der SBA-Empfehlung zu Vegetationsbeginn) dargestellt.

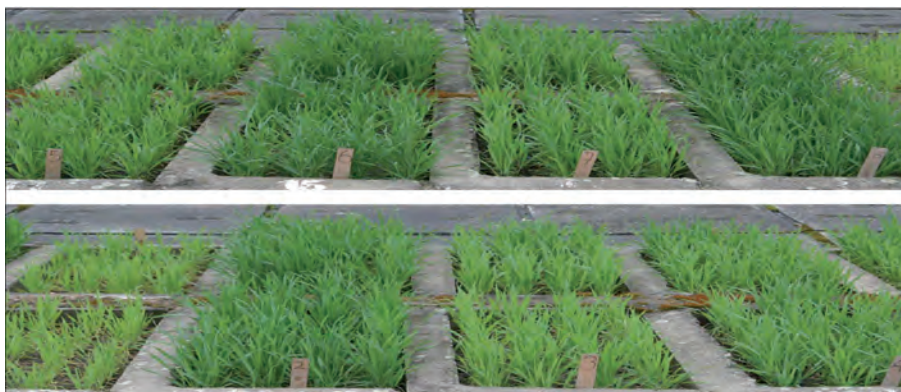


Abb. 1: Düngewirkung der Güllen/Gärreste zu Winterweizen nach 1. N-Gabe, Kleinparzellenversuch Jena, 2009

Tab. 4: Relative TM-Erträge (in %) im Kleinparzellenversuch 2007-2011; PG-Mittelwerte aus 6 Versuchsernten und 4 Böden

PG	Mittel	Min	Max
1 ohne N	100 (70 dt/ha)		
2 miner. N	222	167	301
3 RG-roh	197	162	250
4 RG-verg.	203	164	229
5 BGG-Nawaro	200	150	248
6 BGG-SG	203	160	244
7 PG5+Piadin	200	166	242
8 PG6+Piadin	203	185	237

Tab.5: N-MDÄ (bez. des Mehrertrages) im Kleinparzellenversuch 2007-2011; PG-MW aus 6 Versuchsernten und 4 Böden

PG	Mittel	Min	Max
2 miner. N	100	-	-
3 RG-roh	57	38	76
4 RG-verg.	72	58	87
5 BGG-Nawaro	60	26	87
6 BGG-SG	92	68	113
7 PG5+Piadin	63	35	84
8 PG6+Piadin	98	54	126

Im Mittel aller Versuchsernten (auf 4 Bodensubstraten) erbrachte die mineralische N-Düngung mit rund 120% die höchsten Mehrerträge, bei den organischen Düngern fiel die Rindergülle „RG-roh“ mit 97 % ME gegenüber den Gärresten leicht ab (Tab. 4). Die große Schwankungsbreite der Einzelerträge (Spanne Min-Max) hat ihre Ursachen in der spezifischen Düngewirkung der geprüften Produkte, deren Ausbringung (in den Bestand oder eingearbeitet), aber auch in den unterschiedlichen Jahres- und Witterungsbedingungen sowie der genutzten Bodensubstrate.

Deutlicher kommt die unterschiedliche Düngewirkung in den berechneten N-MDÄ (ME des geprüften Produktes in % des ME der mineralischen Vergleichsvariante) zum Ausdruck (Tab. 5). Während die Rindergülle „RG-roh“ 57 % erreicht, liegen die Werte für die vergorenen Produkte zwischen 60 und 92 % weitaus höher. Der Zusatz von „PIADIN“ scheint die N-Düngewirkung noch zu verbessern (PG 7+8).

3.3 Ergebnisse der Feldversuche

Das Beispiel der Kornerträge von Winterweizen Im Feldversuch Bad Salzungen 2010 (Abb. 2) zeigt die Ertragswirkung einer rein mineralischen bzw. organischen sowie min./org. N-Düngung. Mit steigenden Mineral-N-Gaben werden hohe Mehrerträge erzielt, in diesem Fall bis zur Gabe von 100% des N-Bedarfes. Die gleichen N-Mengen mit den organischen Düngern ausgebracht, verdeutlichen die sehr unterschiedliche Ertrags- und damit N-Düngewirkung der rohen bzw. vergorenen Rindergülle sowie des Gärrestes „GR-SLR“.

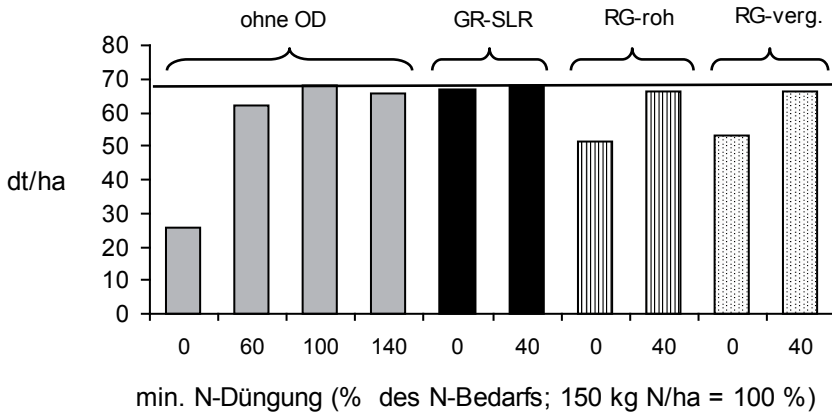


Abb. 2: Kornertrag von Winterweizen in Abhängigkeit von organischer und mineralischer N-Düngung (Bad Salzungen, 2010)

Für die Ermittlung der N-MDÄ wurden für alle Erntejahre beider Feldversuche jeweils die Prüfglieder der 100%-igen N-Bedarfsdeckung der mineralischen und organischen Düngungsvarianten ausgewertet. In Abb. 3 ist anhand der Winterweizenerträge die stark differenzierte mineraldüngeräquivalente Düngewirkung einer rohen bzw. vergorenen Rindergülle einerseits sowie der 3 verschiedenen Gärreste andererseits im Feldversuch Dornburg 2010 deutlich zu erkennen.

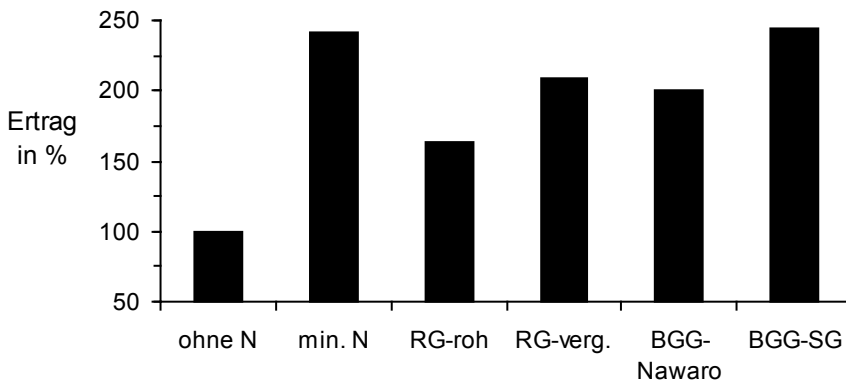


Abb. 3: N-Mineraldüngeräquivalente Düngewirkung zu Winterweizen (Dornburg, 2010)

Die auf Grundlage der Feldversuchsergebnisse ermittelten N-MDÄ sind in den Tabellen 6 und 7 zusammengefasst.

Tab. 6: Jährliche und mittlere N-MDÄ (in %), Dornburg 2009-2011

PG	Silomais 2009	Wi-Weizen 2010	Wi-Gerste 2011	Mittel 2009-2011
4 miner. N	100	100	100	100
5 RG-roh	29	44	37	37
8 RG-verg.	61	77	51	63
11 BGG-Nawaro	74	70	40	61
14 BGG-SG	72	101	73	82

Tab. 7: Jährliche und mittlere N-MDÄ (in %), Bad Salzungen 2009-2011; Mittel ohne Trockenjahr 2011 (sehr niedriger Ertrag)

PG	Silomais 2009	Wi-Weizen 2010	Wi-Gerste 2011	Mittel 2009-2010
3 miner. N	100	100	100	100
5 GR-SLR	116	98	153	107
7 RG-roh	72	60	98	66
9 RG-verg.	107	65	115	86

Die dargestellten sehr unterschiedlichen N-MDÄ der Güllen/Gärreste weisen auf eine mehr oder weniger starke N-Aufnahme und N-Ausnutzung hin. Das findet seinen Niederschlag in den ermittelten N-Salden (Tab. 8), aber auch als im Boden verbleibende N-Mengen mit erhöhten N_{\min} -Gehalten nach der Ernte. Die höheren N-Salden in Bad Salzungen sind vorwiegend den niedrigeren Erträgen geschuldet.

Tab. 8: Mittlere N-Salden (in kg N/ha), Feldversuche 2009-2011

	Mittel 2009-2011		Mittel 2009-2011
	Dornburg		Bad Salzungen
kg N/ha	150	kg N/ha	150
ohne N	-82	ohne N	-51
miner. N	-47	miner. N	25
RG-roh	36	GR-SLR	22
RG-verg.	8	RG-roh	65
RG-Nawaro	12	RG-verg.	55
RG-SG	-30		

4. Fazit

Eine Kombination von organischer und mineralischer Düngung erlaubt hohe Erträge sowohl aus ökonomischer als auch Umweltsicht.

Die Nutzung aller Nährstoffreserven (N, P, K) durch gezielten Einsatz von Wirtschaftsdüngern, hier Gülle/Gärreste, ist eine Alternative zum Mineraldüngereinsatz. Die Beachtung der sehr unterschiedlichen N-MDÄ ermöglicht Einsparungen mineralischer N-Dünger, hierfür ist die Kenntnis von Qualitätsparametern (TS, N_t, NH₄-N) notwendig.

Den Fragen konkreter praktischer Einsatzempfehlungen, N-Salden N_{min}, C_t, P/K im Boden u. a. ist weiter nachzugehen.

Kurz- und längerfristige Stickstoffwirkung nicht separierter und separierter Biogasgärreste zu Weidelgras nach einmaliger und wiederholter Düngung

S. von Tucher¹, S. Fouda¹, F. Lichti², U. Schmidhalter¹

¹Lehrstuhl für Pflanzenernährung TU München, Freising, ²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising

1. Einleitung

Eine nachhaltige und umweltschonende Erzeugung von Biogas erfordert den effizienten und verlustarmen Einsatz der Biogasgärreste (BGR) im landwirtschaftlichen Produktionsprozess. Von besonderer Bedeutung sind dabei Kenntnisse über die Wirkung des enthaltenen Stickstoffs. Die chemische Zusammensetzung von BGR kann allerdings sehr variabel sein.

Die Angaben zur N-Düngewirkung von BGR sind widersprüchlich. Das Spektrum reicht von einer fehlenden Ertragswirkung ausgebrachter BGR im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle (Ross et al., 1989) über eine nur leicht über den $\text{NH}_4\text{-N}$ Anteil hinausgehenden N-Wirkung (Gunnarsson et al., 2010), bis hin zu einer der Mineraldüngung vergleichbaren N-Wiederfindung bei BGR aus Schweinegülle und Reststoffen aus der Lebensmittelindustrie (de Boer, 2008). Im Vergleich zu unvergorener Gülle wird häufig angenommen, dass die N-Wirkung von BGR größer ist, da deren $\text{NH}_4\text{-N}$ Gehalt höher, deren Gehalt an organischem Kohlenstoff jedoch geringer ist (z. B. Gutser et al., 1987; de Boer, 2008). Zunehmend häufiger werden BGR mechanisch separiert, wodurch sich die Zusammensetzung wie die Gehalte an Trockensubstanz und Kohlenstoff verändern (Bauer et al., 2009).

Die Ausbringung organischer Dünger kann mittel- und langfristig zur Anreicherung von organischem Boden-N führen (Gutser et al., 2005), dessen Mineralisierbarkeit in der Düngung zu berücksichtigen ist.

Da bisher noch kaum Untersuchungen über die kurz- und insbesondere die längerfristige N-Wirkung von BGR unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung aus landwirtschaftlicher Biogasproduktion vorliegen, ist dies Gegenstand der folgenden Untersuchungen.

2. Material und Methoden

Es wurden Gefäßversuche (12-L-Ahrgefäße) in drei Böden (Marktschwaben und Dürnast Lu, Mühlfeld Ls) mit Weidelgras (*Lolium perenne* (L.) ‚Belcampo‘ bzw. ‚Ivanna‘) angelegt, das in 5 Wachstumszyklen (je 1-3 Aufwüchse) über etwa 11 bzw. 13 Monate kultiviert wurde. Die Düngung mit den BGR, die zur Vermeidung von NH_3 -Verlusten sofort eingearbeitet wurden, erfolgte auf der Basis gleicher NH_4^+ -N-Mengen (300 mg NH_4^+ -N/Gefäß und Düngung) zu Beginn eines jeden der 5 Wachstumszyklen. Zum Vergleich dienten eine ungedüngte Kontrolle und eine Variante mit 300 mg N als Mineraldünger (NH_4NO_3) und im Sortiment 1 eine Rindergülle (RG).

Untersucht wurden in getrennten Experimenten jeweils eine Auswahl an 7 nicht separierten BGR (Sortiment 1: BGR 1 bis 7) bzw. an 7 Dünnsparaten (DS) und den dazugehörigen 7 Feststoffen (FS) nach der Separierung von BGR (Sortiment 2: DS 1 bis 7; FS 1 bis 7). Die BGR stammten aus der Vergärung unterschiedlicher Substrate sowohl durch Cofermentation von Energiepflanzen mit tierischen Ausscheidungen (BGR 1, 3, 5, 7; DS+FS 7) als auch aus der ausschließlichen Vergärung von Energiepflanzen (BGR 2, 6, 8; DS+FS 1 bis 6). Die Hauptsubstratbestandteile im Sortiment 1 waren tierische Ausscheidungen 0-86 %, Maissilage 14-71 %, Klee/Gras 0-100 % und im Sortiment 2 tierische Ausscheidungen 0 bzw. 67 %, Maissilage 15-98 %, Grassilage 0-80 %. Alle BGR stammten aus Anlagen, die in Versuchsprogrammen von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft betreut werden.

Die BGR wurden auf die Parameter pH-Wert, Gehalt an Trockensubstanz, NH_4 -N und N_t (Destillation nach Kjeldahl vor und nach dem Aufschluss mit H_2SO_4 konz.) sowie C_{org} aus der Differenz zwischen C_t (Dumas-Verfahren nach Gefriertrocknen) und $\text{CO}_3\text{-C}$ (VDLUF A Methode III, 9.1) untersucht. Für das geerntete Weidelgras wurden der Trockenmasseertrag und der Gehalt an Gesamt-N (Dumas-Verfahren) bestimmt.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Chemische Zusammensetzung der Biogasgärreste

Die chemische Zusammensetzung der BGR wies eine große Streubreite auf (Tab. 1). In den nicht separierten BGR (Sortiment 1) schwankten die Gehalte an

TS zwischen 5,2 und 12,2%, an N_t zwischen 0,36 und 0,75%, an NH_4-N zwischen 0,20 und 0,51% und an C_{org} zwischen 1,77 und 4,75%, die $C_{org}:N_{org}$ Verhältnisse lagen zwischen 8,5 und 13,8. Dabei zeigten sich durch die große Schwankungsbreite innerhalb einer Gruppe keine wesentlichen Unterschiede zwischen rein pflanzlichen BGR und solchen aus der Cofermentation mit tierischen Ausscheidungen. Auch innerhalb der DS und innerhalb der FS (Sortiment 2) zeigte sich eine erhebliche Variabilität. Beispielsweise lag der N_t Gehalt der DS bei den rein pflanzlichen BGR mit 0,53-0,76 genauso hoch wie der der FS. Der NH_4-N -Gehalt schwankte in den DS zwischen 0,27 und 0,47% und in den FS zwischen 0,20 und 0,62%, also fast im gleichen Bereich. Erwartungsgemäß waren die $C_{org}:N_{org}$ Verhältnisse der FS mit 16,8 bis 30,3 deutlich höher als die der DS mit 6,9 bis 9,8.

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung der Biogasgärreste

Sortiment 1: nicht separiert		pH	TS¹	N_t¹	NH_4-N¹	C_{org}¹	$C_{org}:N_{org}$	NH_4-N/N_t
100% Energiepflanzen ²	min.	8,1	5,2	0,48	0,27	1,77	8,9	0,52
	max.	8,4	12,2	0,72	0,37	4,75	13,8	0,60
Cofermentation	min.	8,1	5,7	0,36	0,20	1,87	8,5	0,55
	max.	8,4	7,4	0,75	0,51	2,15	13,5	0,69
Sortiment 2: separiert								
Dünnseparate								
100% Energiepflanzen ²	min.	7,7	5,4	0,53	0,27	1,59	6,9	0,44
	max.	8,1	10,2	0,76	0,41	3,46	9,8	0,57
Cofermentation		8,2	7,6	0,51	0,47	1,77	-	0,92
Feststoffe								
100% Energiepflanzen ²	min.	7,7	22,4	0,53	0,20	9,31	30,3	0,38
	max.	8,8	30,3	0,76	0,36	11,41	27,4	0,48
Cofermentation		7,8	29,9	1,08	0,62	7,56	16,8	0,57

¹ Gehalte in % der Frischmasse

² Hauptsubstrate anlagenabhängig: Silomais, Getreideganzpflanzen, Klee/Gras, Körnermais, Getreideschrot, Sudangras

3.2 Kurzfristige N-Verfügbarkeit nach einmaliger Ausbringung

Die N-Aufnahme von Weidelgras als Summe der drei Aufwüchse nach einer einmaligen Düngung mit nicht separierten BGR und RG war in beiden untersuchten Böden mindestens so hoch wie die mit mineralischem N Dünger (Abb. 1). Im Boden Marktschwaben lag die N-Aufnahme für die BGR 1, 3 und 7 signifikant über der der Mineraldüngung; im Boden Dürnast traf dies nur für BGR 7 zu. Nicht separierte BGR besaßen also mindestens eine ihrem $\text{NH}_4\text{-N}$ Gehalt entsprechende kurzfristige N-Verfügbarkeit, was sich mit Ergebnissen von Gunnarsson et al. (2010) und de Boer (2008) deckt.

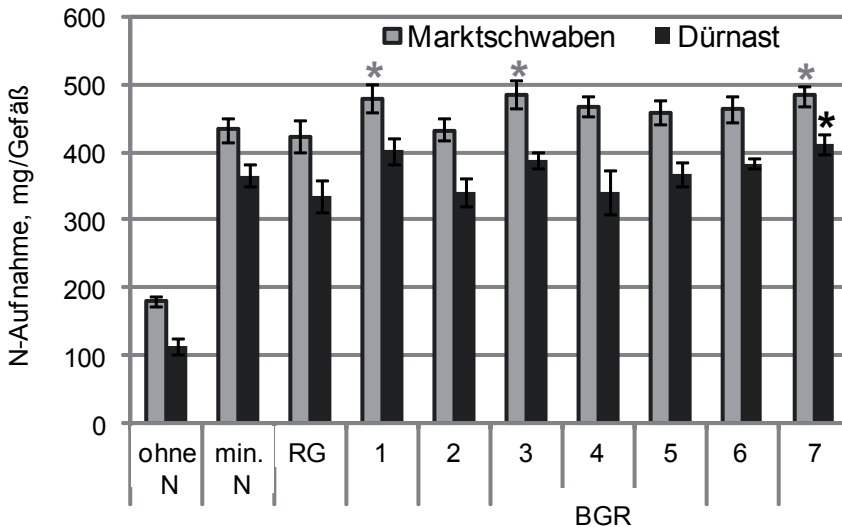


Abb. 1: N-Aufnahme von Weidelgras (3 Aufwüchse) nach der ersten Düngung mit nicht separierten Biogasgärresten (BGR) und Rindergülle (RG) in den Böden Marktschwaben (Lu) und Dürnast (Lu); Fehlerbalken: Standardabweichung, *: statistisch gesicherter Unterschied ($p \leq 0,05$) zur Mineraldüngervariante (min. N) im jeweiligen Boden

Ein prinzipiell ähnliches Bild zeigten die DS dargestellt im Boden Mühlfeld (Abb. 2). Sie wirkten nach der ersten Ausbringung mindestens wie die Mineraldüngung d. h. entsprechend ihrem $\text{NH}_4\text{-N}$ Anteil, jedoch nur in einem Fall (DS 2) signifikant besser als diese. Die N-Aufnahme nach der Düngung mit den FS blieb

mit Ausnahme von FS 2 und 7 signifikant unter dem Niveau der Mineraldüngung. Ausgebrachter $\text{NH}_4\text{-N}$ stand den Pflanzen kurzfristig also nicht zur Verfügung. Im Boden Dürrnast zeigte sich ein vergleichbares Bild (nicht dargestellt), wobei die Immobilisierung im Fall der FS eher höher ausfiel.

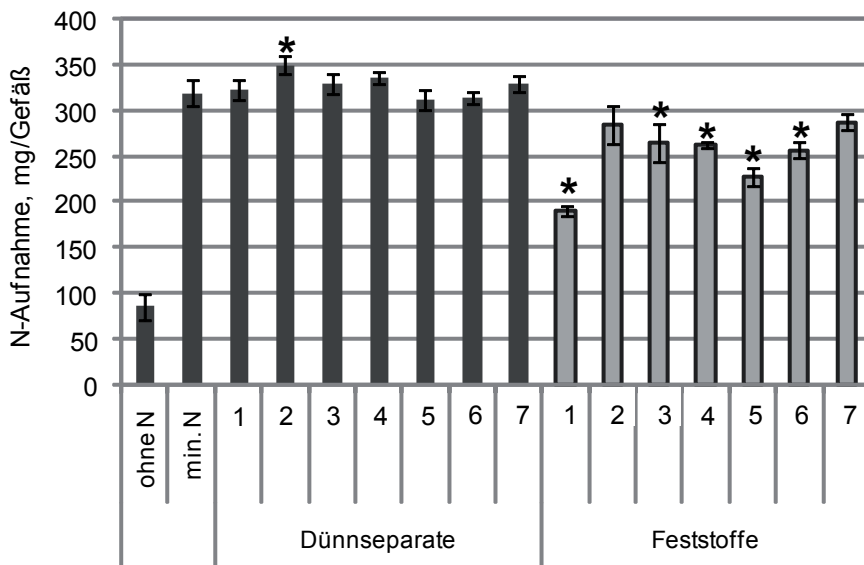


Abb. 2: N-Aufnahme von Weidelgrass (3 Aufwüchse) nach der ersten Düngung mit separierten Biogasgärresten (BGR) im Boden Mühlfeld (Ls); Fehlerbalken: Standardabweichung, *: statistisch gesicherter Unterschied ($p \leq 0,05$) zur Mineraldüngervariante (min. N)

Nach der ersten Ausbringung bestand eine enge negative Korrelation zwischen der N-Aufnahme von Weidelgrass und dem $C_{\text{org}}:N_{\text{org}}$ Verhältnis der BGR. Dies galt jeweils in beiden untersuchten Böden für die nicht separierten BGR ($r = -0,78^*$ Marktschwaben; $r = -0,85^{**}$ Dürrnast) wie für die separierten BGR ($r = -0,85^{**}$ Dürrnast; $r = -0,88^{**}$ Mühlfeld). Ähnliche Beziehungen wurden, ebenfalls für BGR, von de Boer (2008) gezeigt.

3.3 Längerfristige N-Effekte nach wiederholter Ausbringung

Nach wiederholter, insgesamt fünfmaliger Ausbringung der BGR wies die N-Aufnahme für die meisten BGR zunehmend deutlichere Unterschiede zur der Mine-

raldüngung auf. Als Ursache dafür kommt eine Nachlieferung aus dem organischen N-Anteil der BGR in Frage.

Die scheinbare N-Nachlieferung aus dem N_{org} -Anteil der organischen Dünger lag nach der 1. Düngung mit nicht separierten BGR zwischen etwa 0 (z. B. BGR 2 und 4) bis 35 % (BGR 7) des ausgebrachten organischen N im Mittel der beiden Böden (Abb. 3). Nach fünfmaliger Düngung stieg die scheinbare N_{org} -Nachlieferung auf etwa 10 bis 50 % an, wobei diese Zunahme von der 1. zur 5. Düngung für BGR 4 und 6 sowie für die Rindergülle statistisch signifikant war. Die Nachlieferung aus BGR 7 verblieb auf dem hohen Anfangsniveau.

Für die separierten BGR belief sich die scheinbare N_{org} -Nachlieferung nach einmaliger Düngung von DS auf 0 bis etwa 10 %, nach fünfmaliger Düngung stieg sie auf etwa 30 % des aktuell ausgebrachten N_{org} . Für die FS lag die scheinbare N_{org} -Nachlieferung nach einmaliger Düngung im negativen Bereich, nach der 5. Düngung war nur für die FS 4 und 5 eine signifikante Zunahme zu verzeichnen; nur FS 4 erreichte einen positiven Wert von etwa 5 %.

Die Nachlieferung aus dem ausgebrachten N_{org} schwankte also erheblich je nach BGR und erhöhte sich im Laufe wiederholter Ausbringung z. T. deutlich (z. B. nicht separierter BGR 6), was im Einklang mit den Ergebnissen von Gutser et al. (2005) steht.

4. Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Die Zusammensetzung von Gärresten erwies sich als sehr variabel. Es war kein eindeutiger Bezug zur Zusammensetzung der Ausgangssubstrate erkennbar.

In den unter weitgehender Vermeidung von N-Verlusten durchgeführten Gefäßversuchen wirkten nicht separierte Gärreste und Dünnsparate kurzfristig mindestens entsprechend ihrem $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt; bei Ausbringung auf der N_i -Basis ist daher ein hoher Anteil $\text{NH}_4\text{-N}/\text{N}_i$ vorteilhaft.

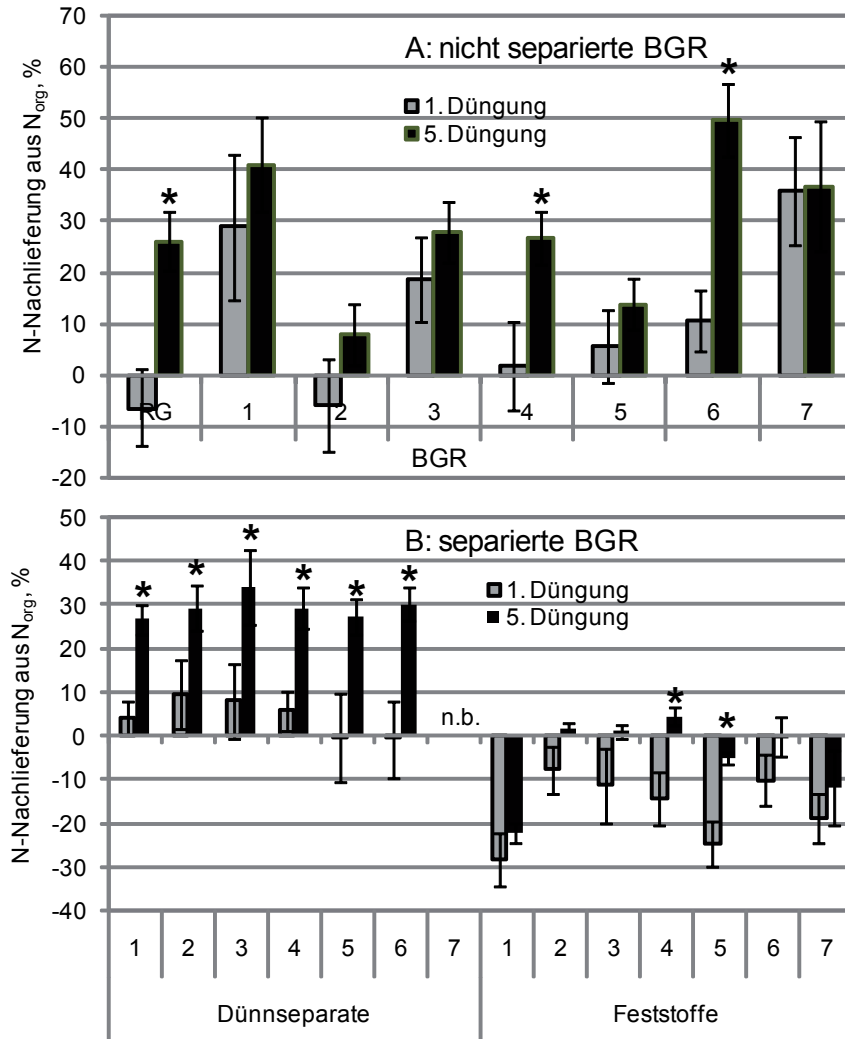


Abb. 3: Scheinbare N-Nachlieferung aus dem ausgebrachten organischen N nach der 1. und 5. Düngung mit nicht separierten und separierten BGR, Mittelwerte der Böden Marktschwaben und Dürnast (A) bzw. Dürnast und Mühlfeld (B);

Fehlerbalken: Standardabweichung, *: statistisch gesicherter Unterschied ($p \leq 0,05$) zwischen 1. und 5. Düngung, (Scheinbare N-Nachlieferung aus N_{org} , % = $(N\text{-Aufnahme}_{org} - N\text{-Aufnahme}_{min}) / N_{org\text{gedüngt}} * 100$)

Darüberhinaus ließ sich die kurzfristige N-Wirkung mit gewissen Unsicherheiten über das Verhältnis $C_{\text{org}}:N_{\text{org}}$ der BGR beschreiben. Die kurzfristige N-Freisetzung aus dem organischen N-Anteil war stark abhängig vom Gärrest, konnte aber erheblich sein. Nach der Ausbringung von Feststoffen aus der Separierung kann es zu einer teilweisen Immobilisation des enthaltenen $\text{NH}_4\text{-N}$ kommen.

Nach wiederholter Anwendung war die N-Freisetzung aus zugeführtem und angereichertem N_{org} ebenfalls stark abhängig vom Gärrest (v. a. bei nicht separiertem). Auch Gärreste mit geringerer Anfangswirkung waren zum Teil in der Lage, verstärkt N nachzuliefern.

5. Literatur

- Bauer, A., Mayr, H., Hopfner-Sixt, K., Amon, Th., 2009: Detailed monitoring of two biogas plants and mechanical solid-liquid separation of fermentation residues. *Journal of Biotechnology* 142, 56-63.
- De Boer, H.C., 2008: Co-digestion of animal slurry can increase short-term nitrogen recovery by crops. *J. Environ. Qual.* 37, 1968-1973.
- Gunnarsson, A., Bengtsson, F., Caspersen, S., 2010: Use efficiency of nitrogen from biodigested plant material by ryegrass. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 173, 113-119.
- Gutser, R., Amberger, A., Vilsmeier, K., 1987: Wirkung unterschiedlicher Aufbereitung von Gülle im Gefäßversuch zu Hafer und Weidelgras. *VDLUFA-Schriftenreihe* 23, Kongressband, 279-296.
- Gutser, R., Ebertseder, Th., Weber, A., Schraml, M., Schmidhalter, U., 2005: Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 439-446.
- Ross, D.J., Tate, K.R., Speir, T.W., Stewart, D.J., Hewitt, A.E., 1989: Influence of biogas-digester effluent on crop growth and soil biochemical properties under rotational cropping. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 17, 77-87.

Bedeutung des pflanzenbedingten Eintrages von organischem Kohlenstoff in den Boden für die Humusbilanzierung

C. Engels

Fachgebiet Pflanzenernährung, Humboldt-Universität zu Berlin

1 Einleitung

Ein zentrales Element der Humusbilanzierung nach der „Direktzahlungen-Verpflichtungsverordnung“ (DirektZahlVerpfIV, 2004) sind die Kennzahlen zur fruchtartenspezifischen Veränderung des Bodenumusvorrates. Diese Kennzahlen basieren auf den unteren Richtwerten für die anbauspezifische Veränderung der Bodenumusvorräte nach VDLUFA Standpunkt Humusbilanzierung. Diese Richtwerte wurden mit Hilfe von Expertenschätzungen aus langjährigen Feldversuchen abgeleitet, die Anfang bis Mitte des letzten Jahrhunderts angelegt wurden. Die Richtwerte variieren zwischen einer Humuszehrung in Höhe von $-760 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ z. B. für Zuckerrüben und einer Humusmehrung in Höhe von $+600 \text{ kg Humus-C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ z. B. für mehrjähriges Ackergras im Hauptnutzungsjahr. Prinzipiell kann diese Variation der Richtwerte beruhen auf

- Kulturartenunterschieden in der Menge des pflanzenbedingten Eintrages von organischem Kohlenstoff (C_{org}) in den Boden,
- Kulturartenunterschieden in der Humuswirkung des C_{org} und
- kulturartenspezifischen Unterschieden in der anbaubedingten Mineralisierung von organischem Bodenkohlenstoff.

In dem vorliegenden Beitrag wird nur der erste Punkt betrachtet. Es werden die Ergebnisse eine Literaturlauswertung vorgestellt, die das Ziel hatte, den Kenntnisstand zum pflanzenbedingten C_{org} -Eintrag in den Boden darzustellen. Dabei standen die Fragen im Hintergrund:

- Sind die Kennzahlen zur fruchtartenspezifischen Veränderung des Bodenumusvorrates mit dem fruchtartenspezifischen C_{org} -Eintrag in den Boden zu begründen?
- Sind konstante nicht ertragsabhängige Richtwerte gerechtfertigt?

Der pflanzenbedingte C_{org} -Eintrag wurde zeitlich differenziert in den C-Eintrag während der Vegetationsperiode und den C-Eintrag bei bzw. nach der Ernte. Innerhalb dieser zeitlichen Abschnitte erfolgte eine Differenzierung in den C-Eintrag durch oberirdische und unterirdische Pflanzenorgane.

2 Pflanzenbedingter C-Eintrag während der Vegetationsperiode

2.1 C-Eintrag durch oberirdische Pflanzenteile

Aus dem oberirdischen Spross der Pflanzen können während der Vegetationsperiode durch Regen, Bewässerung, Tau oder Nebel Mineralstoffe und lösliche organische Verbindungen ausgewaschen werden und in den Boden gelangen. Während zum Mineralstoffeintrag in den Boden aus oberirdischen Pflanzenteilen einige Arbeiten vorliegen, ist zum Eintrag organischer Verbindungen nur wenig bekannt. In einer Übersichtsarbeit von Michalzig et al. (2001) werden für temperate Waldökosysteme Einträge von gelöstem organischem C in einer Höhe von 40 bis 160 kg C, bei Berücksichtigung auch des partikulären organischen C bis über 230 kg C ha⁻¹ a⁻¹ genannt (Le Mellec et al., 2010; Tab. 1). Für den C-Eintrag aus landwirtschaftlichen Nutzpflanzenbeständen in Form von gelöster oder partikulärer organischer Substanz wurden keine Angaben gefunden.

Eine weitere Quelle für C_{org}-Eintrag durch oberirdische Pflanzenteile in den Boden sind absterbende Pflanzen und abfallende oberirdische Pflanzenteile, wie z. B. Blätter, Früchte oder Körner. In der Literatur liegen nur wenige Untersuchungen zur Quantifizierung des C-Eintrages durch oberirdische Vorernteverluste vor. Bei einer Untersuchung zum Anbau von Chinaschilf zur Energiegewinnung wurden im Mittel über mehrere Jahre und Standorte in Deutschland Vorernteverluste in Höhe von 2,1 x 10³ kg C ha⁻¹ a⁻¹ gemessen (Beuch et al., 2000). Dies entsprach 37 % der geernteten Biomasse. Bei eigenen Untersuchungen variierte der C-Eintrag durch Vorernteverluste je nach Kulturart und Stickstoffdüngungshöhe zwischen 28 kg ha⁻¹ bei ungedüngtem Mais und 388 kg ha⁻¹ bei gedüngten Kartoffeln. Diese in den Boden eingetragenen C-Mengen entsprachen bei Mais weniger als 1 % und bei Kartoffeln je nach Düngung zwischen 7 und 13 % der zur Ernte vorhandenen oberirdischen Biomasse bzw. bei Weizen 13 - 17 % des mit den Körnern und bei Kartoffeln 9 - 15 % des mit den Knollen geernteten C. Bei allen Kulturen mit Ausnahme der Erbsen wurde durch die N-Düngung sowohl die oberirdische Biomasse und der Ertrag als auch der C-Eintrag durch oberirdische Vorernteverluste gesteigert.

2.1 C-Eintrag über Rhizodeposition

Während der Vegetationsperiode werden von Pflanzenwurzeln durch unterschiedliche Prozesse organische Verbindungen in den Boden eingetragen. Die gesamte direkte C-Abgabe durch die Wurzeln in den Boden wird als Rhizodepo-

sition bezeichnet. Rhizodeposition umfasst Prozesse wie den Verlust bzw. die Abgabe von Zellen aus dem Wurzelhaubenbereich, Absterben und Lysis von Wurzelzellen (z. B. Wurzelhaare und Zellen aus dem Rindbereich der Wurzel), C-Abgabe von mit den Wurzeln assoziierten symbiontischen Mikroorganismen (z. B. Mykorrhiza), gasförmige C-Verluste, Entweichen von löslichen organischen Verbindungen aus lebenden Zellen (Wurzelexsudate) und Sekretion von höhermolekularen, unlöslichen Verbindungen (Mucilage) aus lebenden Zellen (Jones et al., 2009). Die von den Pflanzenwurzeln abgegebenen organischen Verbindungen können von Bodenorganismen genutzt und umgesetzt werden und bilden zusammen mit den Wurzeln eine wichtige Quelle für den C-Umsatz im Boden und den Bodenumus (Hütsch et al., 2002).

In Tabelle 1 sind grobe Anhaltswerte für den C-Eintrag in den Boden durch verschiedene pflanzliche Quellen angegeben. Die einzelnen Quellen der Rhizodeposition können im Allgemeinen nur in Versuchen unter künstlichen Umweltbedingungen, z. B. bei Pflanzen, die in Nährlösung wachsen, unterschieden und quantifiziert werden. Die Anhaltswerte in Tabelle 1 sind daher mit einer großen Unsicherheit behaftet.

Der Gesamt-C-Eintrag in den Boden durch Rhizodeposition (einschließlich absterbende Wurzelzellen und Wurzelumsatz) wird in Untersuchungen ermittelt, bei denen sich die Kohlenstoffisotopenmarkierung zwischen dem Pflanzen- und dem Bodenkohlenstoff unterscheidet. Dazu wird entweder der Pflanzenkohlenstoff mit ^{13}C , ^{14}C oder ^{11}C markiert oder es werden natürliche Unterschiede im $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis, z. B. zwischen C_4 -Pflanzen und einem unter C_3 -Pflanzenbewuchs entstandenen Boden, genutzt (Kuzyakov und Domanski, 2000). Die zuletzt genannte Methode ermöglicht auch Messungen der Rhizodeposition unter Feldbedingungen.

In einem kürzlich erschienenen Übersichtsartikel wurden Ergebnisse aus 271 Untersuchungen zusammengefasst, bei denen der Pflanzen-C mit ^{13}C oder ^{14}C markiert wurde (Jones et al., 2009). Im Mittel dieser Untersuchungen wurde 40 % des von den Pflanzen assimilierten C in die Wurzeln verlagert. Davon verblieb etwa die Hälfte in der Wurzelbiomasse (etwa 50 % von den 40 %, die in die Wurzeln verlagert wurden, bzw. 19 % der Gesamt-Assimilation). Ein Drittel des C, der in die Wurzeln verlagert wurde, ging in Form von CO_2 („Rhizosphärenatmung“) verloren. Etwa 12 % des C, der in die Wurzeln verlagert wurde (etwa 5 % der Gesamtassimilation bzw. 26 % des in der Wurzelbiomasse gefundenen C) wur-

den im Boden bzw. in der mikrobiellen Biomasse des Bodens wieder gefunden. Der Rest des in die Wurzeln verlagerten C ging durch andere Prozesse, wie z. B. Auswaschung von löslichem organischem C verloren.

Tab. 1: Anhaltswerte für den C-Eintrag in den Boden durch verschiedene pflanzliche Quellen; für die Ableitung der Daten zur Rhizodeposition wurde eine Wurzeltrockenmasse (TM) von 20 dt ha⁻¹ und ein C-Gehalt in der Wurzel-TM von 42 %, d. h. eine zur Ernte vorhandene C-Masse in den Wurzeln von 840 kg ha⁻¹ angenommen; weitere Erläuterungen im Text

Eintragsquelle	Menge (kg C ha ⁻¹ a ⁻¹)	Bemerkungen
C-Eintrag während der Vegetationsperiode		
Bestandesniederschlag	40-160 (bis >230)	nur Daten von Wald- ökosystemen
oberirdischer Bestandesabfall	28-388 (bis 2 100)	1-17% des C in den Ernteorga- nen
lebende Wurzelzellen	3-6	0,4-0,7% des Wurzel-C zur Ernte
Mucilage	3-39	0,3-5% des Wurzel-C zur Ernte
Exsudation + Sekretion nie- dermolekularer Stoffe	390-990	46-118% des Wurzel-C zur Ernte
Wurzelumsatz	8->840	10->100% des Wurzel-C zur Ernte
Mykorrhiza	54-900	0,6-107% des Wurzel-C zur Ernte
Summe des im Boden wieder gefundenen organischen C aus der Rhizodeposition (Mittelwerte aus Übersichts- artikeln)	218	26% des Wurzel-C zur Ernte (Jones et al., 2009)
	247	29% des Wurzel-C zur Ernte (Nguyen, 2003)
	42-1 369	nur Mais: 5-163% (Mittel 41%) des Wurzel-C zur Ernte
C-Eintrag nach der Ernte		
Stoppeln und oberirdische Ernterückstände	100-3 000*	*Kartoffeln
nur Getreide	100-1 600	
Wurzeln zur Ernte	200-7 400*	*2-jährige Futtergemenge
nur Getreide	200-1 800	

Ähnliche Werte wurden auch in einer Übersichtsarbeit von Nguyen (2003) ermittelt. Farrar et al. (2003) kamen in ihrer Übersichtsarbeit zu dem Ergebnis, dass 48 % des in der Wurzelbiomasse vorhandenen C an die Mykorrhiza abgegeben wird und 14 % des in der Wurzelbiomasse vorhandenen C in der Biomasse anderer Bodenmikroorganismen verbleibt. Der Gesamt-C-Eintrag in den Boden durch Rhizodeposition variiert je nach Pflanzenart bzw. Wachstumsdauer der Kulturart (Kuzjakov und Domanski, 2000). Allerdings wurden auch bei Untersuchungen innerhalb einer Art sehr große Unterschiede in der Rhizodeposition gefunden. Zum Beispiel variierte bei verschiedenen Untersuchungen an Mais der im Boden verbleibende Anteil an C aus der Rhizodeposition zwischen 5 und 163 % (Mittel 41 %) des in der Wurzelbiomasse vorhandenen C (Amos und Walters, 2006). In Anbetracht dieser Variation innerhalb einer Art können aus der Literatur keine Kulturartenspezifischen Werte für die Rhizodeposition abgeleitet werden. Es ist aber anzunehmen, dass die Rhizodeposition mit zunehmender Gesamtassimilationsleistung bzw. Biomassebildung eines Bestandes zunimmt.

2.2 Pflanzenbedingter C-Eintrag während und nach der Ernte

Zur Humusreproduktion tragen nicht nur die bergefähige, sondern auch die nicht zu bergende Masse an Nebenprodukten (Erntereste wie z. B. Stoppeln, Reststroh und Spreu) und die Unkrautbiomasse bei. In einem langjährigen Feldversuch mit Mais, bei dem durch Messung der ^{13}C -Isotopen-Signatur zwischen ursprünglichem Boden-C und dem während der 13-jährigen Versuchsdauer eingetragenen Pflanzen-C unterschieden werden konnte, stammten 2/3 der durch pflanzenbedingten C-Eintrag im Boden akkumulierten Menge an organischem Kohlenstoff von Wurzeln und Stoppeln (Allmaras et al., 2004). Dies zeigt die hohe Bedeutung von ober- und unterirdischen Ernteresten im Vergleich zum Stroh für die organische Substanz im Boden.

2.2.1 C-Eintrag durch Stoppeln und oberirdische Erntereste

Eine Literaturlauswertung von Klimanek (1997) zeigte erhebliche Unterschiede zwischen den Kulturarten in der Masse an oberirdischen Ernteresten (Tab. 2). Nach diesen Daten hinterlässt im Mittel z. B. Sommergerste mit $0,9 \text{ t TM ha}^{-1}$ nur halb so viele Erntereste wie Wintergerste mit $1,8 \text{ t TM ha}^{-1}$. Erbsen hinterlassen im Mittel mit $0,4 \text{ t TM ha}^{-1}$ nur ein Drittel der Erntereste von Ackerbohne ($1,2 \text{ t TM ha}^{-1}$). Auch innerhalb einer Kulturart traten erhebliche Schwankungen in der Masse an Ernteresten auf. So variierte z. B. die Ernterestmenge von Win-

tergerste zwischen 0,5 und 3,9 t TM ha⁻¹ (210-1640 kg C ha⁻¹). Diese Variation der oberirdischen Erntereste ist auf Unterschiede in der Erntetechnik und der Ertragshöhe zurückzuführen.

Tab. 2: Wurzeln, Erntereste und Ernte- und Wurzelreste (EWR) bei verschiedenen Kulturarten; Zahlen in Klammern geben die Variation der Werte in den unterschiedlichen Originalstudien an; Literaturübersichtsarbeit (Klimanek, 1997), verändert

Kulturart	Wurzeln (dt ha ⁻¹)	Erntereste (dt ha ⁻¹)	EWR (dt ha ⁻¹)
Getreide			
Winterweizen	19(8-43)	17(6-25)	36(13-65)
Wintergerste	20(11-35)	18(5-39)	38(16-74)
Sommergerste	9(5-21)	9(3-22)	17(9-34)
Hackfrüchte			
Kartoffeln	14(6-19)	38(21-69)	30(6-86)
Zuckerrüben	9(5-11)	10(3-16)	15(7-28)
einj. Futterpflanzen			
Mais	24(11-64)	12(6-25)	38(17-86)
Sonnenblume	18(9-24)	7(2-10)	20(7-33)
Leguminosen			
Ackerbohne	27(15-47)	12(5-19)	40(20-67)
Erbse	9(4-20)	4(1-8)	13(5-27)

Es liegen nur wenige neuere Daten zur Masse der nach der Stroh- bzw. Blattbergung auf dem Feld verbleibenden oberirdischen Erntereste vor. Thrän et al. (2009) nehmen hierfür 20-50 % der oberirdischen Gesamtpflanzenreste an. Rasse et al. (2006) geben an, dass bei Körnermais bei einer Schnitthöhe von 20 cm 26 % der Stängelbiomasse (13 % der vegetativen oberirdischen Biomasse) auf dem Feld verbleiben. Bei einem Ernteindex von 0,50 ergibt sich daraus für Silomais, dass 6 % der oberirdischen Biomasse auf dem Feld verbleiben. Eigene Untersuchungen an Winterweizen ergaben, dass durch eine N-düngungsbedingte Ertragssteigerung nicht nur der Strohertrag, sondern auch die auf dem Feld zurückbleibende Stoppelmasse deutlich gesteigert werden. Das Stoppel/Korn-Verhältnis lag im Mittel bei 0,48. Bei Untersuchungen von Malhi et al. (2006) betrug die Spreubiomasse bei Gerste 17-19%, bei Weizen 35-43% und bei Raps

119-160% der Kornmasse. Diese Autoren fanden, dass bei allen drei Kulturarten eine N-düngungsbedingte Erhöhung des Kornertrages mit einer signifikanten Erhöhung der Menge an auf dem Feld verbleibenden Spreu verbunden war. Es ist daher davon auszugehen, dass Ertragssteigerungen auch bei Bergung des Strohs zu einer erheblichen Erhöhung der mit oberirdischen Ernteresten in den Boden eingetragenen C-Menge führen.

2.2.2 C-Eintrag durch Wurzeln und andere unterirdische Pflanzenteile

Die unterirdischen Pflanzenteile verbleiben im Feld und stellen daher ebenso wie die Stoppeln immer eine Quelle für den pflanzenbedingten C-Eintrag in den Bodendar. Zuden unterirdischen Pflanzenteilen zählen neben den Wurzeln auch die unterirdischen Sprosstteile. Die Masse der unterirdischen Sprosstteile wird im Allgemeinen nicht getrennt bestimmt und ist bei den meisten Untersuchungen auch nicht in der Wurzelbiomasse enthalten. In einer Untersuchung verschiedener Weizensorten variierte zur Reife der Anteil der unterirdischen Sprosstbiomasse an der Gesamtbiomasse der Pflanzen zwischen 3 und 10 % (Baret et al., 1992). Bei einem Kornertrag von 75 dt Trockenmasse und einem Korn/Stroh-Verhältnis von 1 würden dementsprechend zwischen 450 und 1 500 kg TM bzw. zwischen 189 und 630 kg C pro ha mit der unterirdischen Sprosstbiomasse in den Boden eingetragen. Bei eigenen Untersuchungen an verschiedenen Silomaissorten wurden über die unterirdische Sprosstbiomasse 230 kg C ha⁻¹ in den Boden eingetragen.

Aus der Literaturübersichtsarbeit von Klimanek (1997) wird deutlich, dass sich die Kulturarten in der Wurzelbiomassebildung erheblich unterscheiden (Tab. 2). Im Mittel aller Untersuchungen bildeten z. B. Zuckerrüben nur 9 dt Feinwurzeltrockenmasse pro ha, während Luzerne 61 dt Wurzeltrockenmasse bildete. Auch innerhalb der Kulturartengruppen wurden erhebliche Unterschiede in der Wurzelbiomassebildung festgestellt. Im Mittel aller Untersuchungen bildete z. B. Sommergerste 9 dt und Wintergerste 20 dt Wurzeltrockenmasse pro ha. Die mittlere Wurzeltrockenmasse von Erbsen war erheblich geringer als diejenige von Ackerbohnen (Tab. 2).

An den Zahlen in Tabelle 2 wird auch deutlich, dass sich die Wurzelbiomassebildung innerhalb einer Kulturart erheblich unterscheiden kann. Die Wurzeltrockenmasse von Winterweizen variierte z. B. je nach Untersuchung zwischen 8

und 43 dt pro ha. Bei einem C-Gehalt von 42 % C in der Wurzelrockenmasse, variierte daher die durch die zur Ernte vorhandenen Wurzeln in den Boden eingetragene C-Menge zwischen 340 und 1 800 kg C ha⁻¹ a⁻¹. Eine ähnlich hohe Variation der Wurzelbiomasse innerhalb einer Kulturart wurde auch in anderen Übersichtsarbeiten gefunden (z. B. für Mais: Amos und Walters, 2006). Bei vielen Untersuchungen wurde eine positive Beziehung zwischen der ober- und unterirdischen Biomassebildung gefunden (z. B. Malhi et al., 2006; Peng et al., 2010). Dementsprechend wurde auch gefunden, dass neue Sorten mit einem höheren Ertragspotential auch mehr Wurzelbiomasse bilden als alte Sorten (Peng et al., 2009). Verschiedene Autoren empfehlen daher, die durch die zur Ernte vorhandene Wurzelbiomasse in den Boden eingetragene Masse an organischem Kohlenstoff mit Hilfe von Ertragsdaten und Kulturartenspezifischen Allokationskonstanten abzuschätzen (Bolinder et al., 2007).

3 Schlussfolgerungen

Die Kulturartenspezifischen Kennwerte für die Veränderung der Humusvorräte im Boden in Anlage 3 Tabelle 1 der „Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung“ (DirektZahlVerpflV, 2004) basieren auf der Auswertung von Dauerfeldversuchen und Expertenwissen in den 1970er bis 1990er Jahren. Im Prinzip ergeben sich solche Kennwerte aus dem pflanzenbedingten Eintrag von organischem C und dem Abbau von organischem C, der von Standortbedingungen, Zusammensetzung des organischen Boden-C und Anbautechnik beeinflusst wird. Die Kennwerte können nicht mit Daten über kulturartenspezifische Unterschiede im Eintrag von organischem Kohlenstoff in den Boden begründet werden.

Es gibt in der Literatur überzeugende Hinweise dafür, dass der pflanzenbedingte C-Eintrag in den Boden durch Rhizodeposition und durch ober- und unterirdische Ernterückstände mit zunehmendem Ertrag ansteigt. Die Ertragshöhe sollte daher bei der Festlegung der kulturartenspezifischen Kennwerte berücksichtigt werden. Für eine Differenzierung der Kennwerte in Abhängigkeit vom Ertrag sind jedoch weitere Untersuchungen erforderlich.

Es liegen nur wenige Untersuchungen vor zum C-Eintrag in den Boden während der Vegetationsperiode durch oberirdische Pflanzenteile und Wurzelumsatz. Da diese Untersuchungen zeigen, dass durch diese Quellen bedeutende Mengen an C in den Boden eingetragen werden können, sollten sie in künftigen For-

schungsprojekten kulturartenspezifisch und in Abhängigkeit vom Ertrag quantifiziert werden.

Der pflanzenbedingte C-Eintrag in den Boden könnte im Prinzip mit Hilfe allometrischer Funktionen zwischen der Biomasse der Ernteorgane (Ertrag) und der Biomasse anderer Pflanzenorgane bzw. dem C-Eintrag durch diese Pflanzenorgane während der Vegetationsperiode mit geringem Aufwand für jedes Jahr schlagspezifisch ermittelt werden. In künftigen Forschungsprojekten sollte überprüft werden, welchen Einfluss der Standort und die Produktionstechnik auf solche Kulturarten-spezifischen allometrischen Funktionen haben.

4 Literatur

- Allmaras, R.R., Linden, D.R., Clapp, C.E., 2004: Corn-residue transformation into root and soil carbon as related to nitrogen, tillage, and stover management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68, 1366-1375.
- Amos, B., Walters, D.T., 2006: Maize root biomass and net rhizodeposited carbon: an analysis of the literature. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 1489-1503.
- Baret, F., Olioso, A., Luciani, J.L., 1992: Root biomass fraction as a function of growth degree days in wheat. *Plant Soil* 140, 137-144.
- Beuch, S., Boelcke, B., Belau, L., 2000: Effect of the organic residues of *Miscanthus x giganteus* on the soil organic matter level of arable soils. *J. Agron. Crop Sci.* 183, 111-119.
- Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., Vanden Bygaart, A.J., 2007: An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agric. Ecos. Environ.* 118, 29-42.
- DirektZahlVerpflV, 2004: DirektzahlungenVerpflichtungenverordnung vom 4. November 2004, BGBl. I, 2778, zuletzt geändert durch V. v. 20.4.2010, AT44 V1.
- Farrar, J., Hawes, M., Jones, D., Lindow, S., 2003: How roots control the flux of carbon to the rhizosphere. *Ecology* 84, 827-837.
- Hütsch, B.W., Augustin, J., Merbach, W., 2002: Plant rhizodeposition - an important source for carbon turnover in soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 165, 397-407.
- Jones, D.L., Nguyen, C., Finlay, R.D., 2009: Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil-root interface. *Plant Soil* 321, 5-33.

- Klimanek, E.-M., 1997: Bedeutung der Ernte- und Wurzelrückstände landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten für die organische Substanz des Bodens. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenk. 41, 485-511.
- Kuzyakov, Y., Domanski, G., 2000: Carbon input by plants into the soil. Review. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 163, 421-431.
- Le Mellec, A., Meesenburg, H., Michalzik, B., 2010: The importance of canopy-derived dissolved and particulate organic matter (DOM and POM) - comparing throughfall solution from broadleaved and coniferous forests. Annals of Forest Science 67, 411.
- Malhi, S.S., Lemke, R., Wang, Z.H., Chhabra, B.S., 2006: Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality and greenhouse gas emissions. Soil and Tillage Research 90, 171-183.
- Michalzik, B., Kalbitz, K., Park, J.-H., Solinger, S., Matzner, E., 2001: Fluxes and concentrations of dissolved organic carbon and nitrogen - a synthesis for temperate forests. Biogeochem. 52, 173-205.
- Nguyen, C., 2003: Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls. Agronomie 23, 375-396.
- Peng, Y., Niu, J., Peng, Z., Zhang, F., Li, C., 2010: Shoot growth potential drives N uptake in maize plants and correlates with root growth in the soil. Field Crops Research 115, 85-93.
- Rasse, D.P., Mulder, J., Moni, C., Chenu, C., 2006: Carbon turnover kinetics with depth in a French loamy soil. Soil Science Society of America Journal 70, 2097-2105.
- Thrän, D., Scholwin, F., Körner, I., 2009: In: Energie aus Biomasse Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

Die vorliegende Arbeit wurde von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Förderkennzeichen 2808HS016) gefördert.

Spezialisierung in der Ökologischen Milchproduktion

H. Sommer¹, A. Schmid-Eisert³, K. Franz³, G. Leithold²

¹Institut für LifeAgriScience, Frankenberg, ²Professur für organischen Landbau, Universität Gießen, ³Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof, Villmar-Aumenu

1. Einleitung und Problemstellung

Anpassungs- und Spezialisierungsdruck auf die ökologisch wirtschaftenden Betriebe zwingen die Betriebsleiter zur Intensivierung des Betriebssystems. Anhand der Entwicklung des Lehr- und Versuchsbetriebes der Justus-Liebig-Universität Gießen, Gladbacherhof, im Zeitraum von 1993 bis 2006 wird die Zunahme der Produktionsintensität beispielhaft analysiert, dargestellt und bewertet. Besonderer Ausdruck für die Intensitätssteigerung im Untersuchungszeitraum ist die gezielte Erhöhung des Rinderbesatzes auf ca. 1 GV/ha LF, verbunden mit einer Steigerung der Jahresmilchleistung auf annähernd 8 000 kg/Kuh. Eine derartige Entwicklung birgt jedoch die Gefahr einer Überforderung des Betriebssystems mit negativen Folgen für die Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit der Produktion in sich. Es galt daher, unter Nutzung des Betriebsbilanzierungsmodells REPRO und betrieblicher Daten der Mengenbuchhaltung, die Entwicklung des Betriebes für den o. g. Untersuchungszeitraum abzubilden, um daraus Schlussfolgerungen für dessen weitere Entwicklung abzuleiten.

2. Material und Methoden

Differenziert für die Außenwirtschaft (Pflanzenbau) und die Innenwirtschaft (Nutztierhaltung) erfolgte eine gezielte Darstellung des gesamtbetrieblichen Produktions- und Reproduktionsprozesses unter Berücksichtigung des Zukaufs wichtiger Betriebsmittel sowie der pflanzlichen und tierischen Marktproduktion. Die Analyse und Bewertung des Betriebssystems erfolgte insbesondere unter Nutzung von Struktur-, Ertrags- und Reproduktionskennziffern nach den in REPRO implementierten Methoden.

3. Ergebnisse

Im Untersuchungszeitraum wurde die Anzahl der Milchkühe von anfangs 29 Tieren auf 84 Tiere in 2006 erhöht. Der Jungviehbestand entwickelte sich proportional zum Milchviehbestand. Die Anzahl der auf dem Betrieb gehaltenen Tiere, ausgedrückt in Großvieheinheiten, hat sich von 40 GV im Jahr 1993 auf 125 GV im Jahr 2006 etwa verdreifacht. Unter Berücksichtigung der 1997 erfolgten Zupacht an Fläche hat sich der Viehbesatz von 0,5 GV ha LF⁻¹ auf 1,1 GV ha LF⁻¹ ausgedehnt. Die qualitative und quantitative Verbesserung des Futterangebotes, die Verbesserung der Haltungsbedingungen (1993-1996: Anbindehaltung; 1997-2001: Tretmiststall; seit 2002 Boxenlaufstall) sowie die Nutzung des Zuchtfortschrittes ermöglichten eine Leistungssteigerung in der Milcherzeugung von anfangs 6 243 auf 8 157 kg Milch je Kuh und Jahr. Die jährliche gesamtbetriebliche Futtereinsatzmenge wurde im Untersuchungszeitraum von 2 676 dt TM auf 7 994 dt TM erhöht. Obwohl der Einsatz an wirtschaftseigenem Futter gesteigert wurde sank dessen relativer Anteil von 97 % auf 77 %. Der Anteil an zugekauftem Futter wurde im Untersuchungszeitraum von 3 % auf 23 %, bezogen auf die Trockenmasse, erhöht. Die erzeugte Jahresmilchmenge wurde während der 13 Untersuchungsjahre von anfangs 190 Tkg auf ca. 600 Tkg im Jahr 2006 gesteigert.

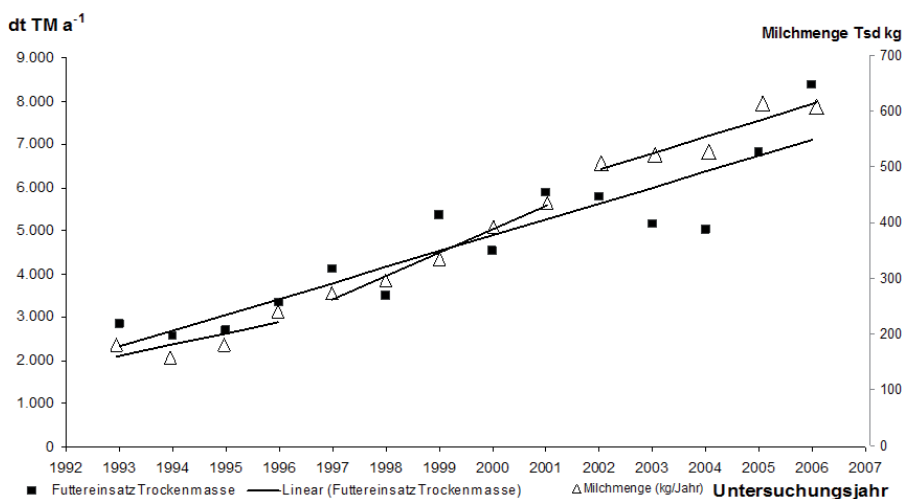


Abb. 1: Vergleich der Entwicklung von Futtereinsatz und Milcherzeugungsmenge im Untersuchungszeitraum

Die Veränderung im Viehbestand, Viehbesatz und Futterregime bewirkten eine kontinuierliche Vergrößerung der jährlich anfallenden Mengen an organischen Düngern aus der Nutztierhaltung für eine Versorgung von Acker- und Grünland mit Nährstoffen und organischer Primärschubstanz. Die über Stalldung und Jauche bzw. Gülle jährlich angefallene und eingesetzte Düngertrockenmasse erhöhte sich je Hektar AF von ca. 14 auf ca. 33 dt bzw. je Hektar LF von ca. 18 auf ca. 27 dt. Dementsprechend kam es zu einer wesentlichen Steigerung des Angebotes an Stickstoff, Phosphor und Kalium. Die kontinuierliche Steigerung des Angebotes an Nährstoffen und organischer Primärschubstanz je Flächeneinheit als ein Ausdruck der Steigerung der Produktionsintensität konnte im Untersuchungszeitraum nicht zur Ertragssteigerung bei wichtigen Ackerkulturen beitragen. Das mittlere Ertragsniveau von Winterweizen lag bei 41 dt ha⁻¹.

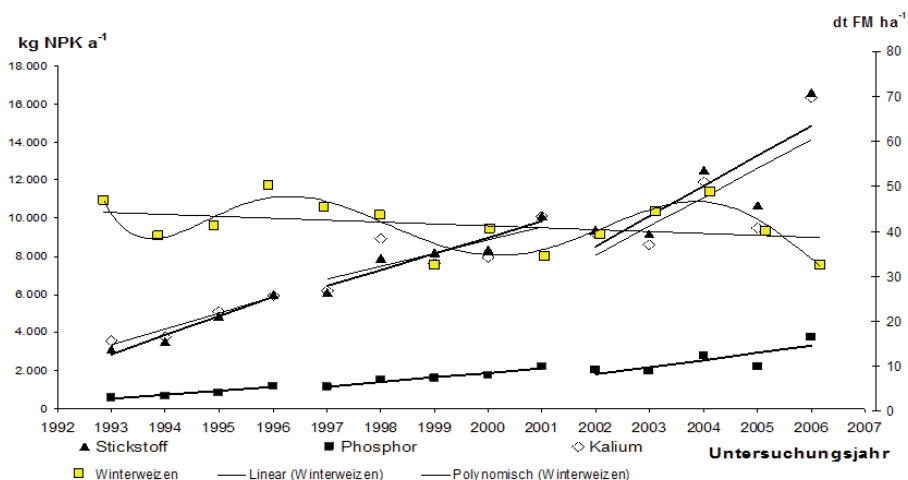


Abb. 2: Vergleich der Entwicklung von Nährstoffangebot und Winterweizenertrag im Untersuchungszeitraum

Im Untersuchungszeitraum erfolgte eine kontinuierliche Verbesserung der Resultate der Humus- und NPK-Bilanzen je ha Ackerland. Der Humusversorgungsgrad stieg von 80 auf 120 %. Der N-Bilanzsaldo stieg unter Berücksichtigung von Gehaltsveränderungen im Boden von 40 auf 80 kg ha⁻¹ an. Die N-Verwertung sank von anfänglich 80% auf schließlich 65% (vgl. Sommer et al., 2011). Insgesamt werden erhebliche Reserven für eine Ertragssteigerung auf dem Ackerland deutlich, die es zu nutzen gilt.

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Es stellte sich zunächst die Frage, wodurch das innerbetrieblich zur Verfügung stehende Nährstoffangebot erhöht werden konnte. Verantwortlich hierfür war hauptsächlich die Ausdehnung des Futterzukaufs. Auf diese Weise wurde der stark ansteigende Futterbedarf der Milchviehherde befriedigt. In Abhängigkeit von Verdaulichkeit und Umsetzbarkeit der eingesetzten Futtermengen wurde so durch größere Mengen an Nährstoffausscheidungen auf der ab 1997 im Wesentlichen gleich gebliebenen Fläche auch dort das Nährstoffangebot erhöht.

Durch die Öffnung des betrieblichen Stoffkreislaufes offenbart sich ein höheres Leistungspotential im Ökologischen Landbau, wie es auch Kristensen et al. (1995) vermuten. Die Tatsache steigender Nährstoffsalden zeigt jedoch, dass das zusätzliche Nährstoffangebot noch nicht in Ertrag umgewandelt werden konnte, wobei die Klärung der Frage offenbleibt, ob eine gleichbleibende Nährstoffzufuhr nicht vielleicht zu einer dauerhaften Abnahme des Ertrages geführt hätte.

An dieser Stelle zeigte sich die Gefahr einer Überforderung des Betriebssystems. Während durch geeignete Maßnahmen in der Milcherzeugung eine Steigerung der Produktivität erzielt wurde, blieb der Erfolg auf der Nutzfläche bislang aus. Indiz hierfür ist insbesondere die Entwicklung der N-Salden, die per Definition die Menge an reaktiv verloren gegangenem Stickstoff darstellt.

Die Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit der Produktion nimmt hierdurch ab. Es besteht also für die Zukunft die Aufgabe, die Verwertung der Nährstoffe auf der Betriebsfläche zu verbessern. Hier gilt es, die Einflussfaktoren abzugrenzen (Eltun, 1995). Mittels optimierter Produktionstechnik, angepasster Dünger-Applikationsraten (Nieder und Richter, 1999) insbesondere beim Mais (Maier, 1998; Büchter et al., 2001) sowie einer guten Fruchtfolgeplanung lassen sich die N-Verluste reduzieren (Ruhe et al., 2003) und so vermutlich in Mehrertrag umwandeln.

5. Literaturangaben

Büchter, M., Wachendorf, M., Taube, F., 2001: Nitratauswaschung unter Silomais in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsform und der N-Dün-

- gungsintensität – Ergebnisse aus dem N-Projekt Karkendamm. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 13, 96–97.
- Eltun, R., 1995: Comparisons of Nitrogen Leaching in Ecological and Conventional Cropping Systems. Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture, 103–114.
- Kristensen, L., Stopes, C., Kölster, P., Granstedt, A., 1995: Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture: Summary and Recommendations. Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture, 331–340.
- Maier, A., 1998: Vergleichende Versuche zum umweltschonenden Anbau von Silomais und alternativen Pflanzenarten im Kraichgau zur Ganzpflanzensilage-Gewinnung für die Bullenmast. Diss., Hohenheim.
- Nieder, R., Richter, J., 1999: C and N accumulation in arabic soils of West Germany and its influence on the environment – Developments 1970 to 1998. J. Plant Nutr. Soil Sci. (2000) 163, 65-72.
- Ruhe, I., Loges, R., Taube, F., 2003: Stickstoffflüsse in verschiedenen Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus – Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindenhof, Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau „Ökologischer Landbau der Zukunft“, Tagungsband, BoKu Wien 2003.
- Sommer, H., 2010: Untersuchungen zur Steigerung der Produktionsintensität im ökologischen Landbau am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Sommer, H., Schmidt-Eisert, A., Franz, K., Leithold, G., 2011: Mit welcher Methode der N-Bilanzierung können Auswirkungen einer Spezialisierung von landwirtschaftlichen Betriebssystemen am besten gezeigt werden? VDLUFA-Schriftenreihe 67, Kongreßband 2011. 261-265, Kongressband 2011 Speyer, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Kriterienkatalog Nutzungsänderung von Grünlandstandorten in Niedersachsen

K. Severin¹, J. Boess², J. Fortmann³, U. Müller², W. Schäfer²

¹LK Niedersachsen, Hannover, ²Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover, ³LK Niedersachsen, Bremervörde

1. Veranlassung

Zur Erhaltung von Grünland bestehen zurzeit verschiedene Regelungen. Einige dieser Regelungen beziehen sich auf tatsächliche standörtliche Gegebenheiten und gelten für jeden Grundbesitzer.

Dieses sind z. B.:

Wasserhaushaltsgesetz (WHG, 2009),

Bundes-Naturschutzgesetz (BNatSchG, 2009),

Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG, 1998).

Nach Bundes-Naturschutzgesetz ist ein Umbruch von Grünland allgemein verboten auf erosionsgefährdeten Hängen, in Überschwemmungsgebieten, auf Standorten mit hohem Grundwasserstand, auf Moorstandorten.

Andere Vorschriften sind, unabhängig von Standortverhältnissen, nur von Empfängern von Fördermitteln zu beachten. Dies gilt für Antragsteller auf Direktzahlungen oder Agrarumweltbeihilfen. Hierbei gelten die EG-Vorschriften zum Erhalt des Dauergrünlandes nach der VO (EG) Nr. 73/2009 sowie die Niedersächsische Verordnung zur Erhaltung von Dauergrünland vom 06.10.2009.

Vor dem Hintergrund des Beihilferechts VO (EG) Nr. 1120/2009 ist Grünland definiert als „Ackerland, auf dem Gras erzeugt wird, wobei es sich um eingesätes oder natürliches Grünland handeln kann“. Für die Anwendung von Artikel 49 der VO (EG) Nr. 73/2009 zählt hierzu auch Dauergrünland. Dauergrünland ist hier nach definiert als „Flächen, die durch Einsaat oder auf natürliche Weise (Selbstaussaat) zum Anbau von Getreide oder anderen Grünfütterpflanzen genutzt werden und mindestens fünf Jahre lang nicht Bestandteil der Fruchtfolge des landwirtschaftlichen Betriebes waren, ausgenommen Flächen im Rahmen von Stilllegungsregelungen“.

Die Leitlinien der ordnungsgemäßen Landwirtschaft der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2009) definieren absolute Grünlandstandorte wie folgt:

„Absolute Grünlandstandorte lassen aufgrund spezifischer Standortgegebenheiten keine ordnungsgemäße Ackernutzung zu. Entscheidend für diese Abgrenzung sind die Standortfaktoren Wasserhaushalt, Humus-, Tongehalt, Topographie sowie Klimafaktoren. Zu den absoluten Grünlandstandorten zählen in der Regel unmeliorierte Brackmarschen, Moore und grundwassernahe Geeststandorte sowie starke Hanglagen.“

Somit ist in den o. g. Rechtsvorschriften der Begriff „Grünland“ bzw. „Dauergrünland“ unterschiedlich definiert. Für den Landbewirtschafter und Flächeneigentümer sind die Definitionen in den Fachrechtsvorschriften außerdem unzureichend. Für die nachhaltige landwirtschaftliche Bodennutzung müssen daher Informationen über die Nutzungsänderung eines Grünlandstandortes in Ackerland bereitgestellt werden.

Als Arbeitshypothese für absolute Grünlandstandorte wird zugrundegelegt, dass absolute Grünlandstandorte aufgrund ihrer spezifischen Standorteigenschaften keine ordnungsgemäße Ackernutzung zulassen. Der Begriff „Nutzungsänderung“ wird in diesem Kriterienkatalog identisch benutzt mit den Begriffen „dauerhafter Umbruch“ oder „Umwandlung von Grünland zu Ackerland“.

Für die Zielsetzung einer Nutzungsänderung von Grünland in Ackerland werden bodenkundlich-pflanzenbauliche Kriterien herangezogen. Diese Kriterien sind wissenschaftlich belegt, nachvollziehbar und im Rahmen einer bodenkundlichen Standortkartierung umsetzbar.

Mit dem Kriterienkatalog soll die Frage geprüft werden, ob nach einem Umbruch von bestehenden Grünlandflächen eine nachhaltige Ackernutzung gewährleistet werden kann.

2. Kriterienkatalog – Bodenkundliche Kriterien

Sowohl aus bodenkundlicher als auch aus Sicht der landwirtschaftlichen Praxis sind fünf übergeordnete Standortkriterien für eine Nutzungsänderung von Grünlandstandorten heranzuziehen: Wasserhaushalt, Moore, Gründigkeit, Erosionsgefährdung, Höhenlage (Ad-Hoc-AG, 2005; AG Bodenkunde, 1982).

2.1 Wasserhaushalt

Der Wasserhaushalt eines Standortes ist abhängig vom Grundwasserstand, von der Staunässe, von der Wasserspeicherkapazität des Bodens und den Niederschlagsverhältnissen. Er kann von extrem nass bis stark trocken reichen. Eine zusammengefasste Beurteilung der Wasserhaushaltssituation eines Standortes unter Berücksichtigung des Klimaraumes ist durch die Bodenkundliche Feuchtestufe (BKF) möglich (Benzler et al., 1987). Die BKF kennzeichnet die Feuchtesituation eines natürlichen Standortes, dabei fließen die einzelnen Merkmale wie Grundwasser, Stauwasser, Wasserspeicherkapazität im Wurzelraum (nFKWe) sowie klimatische Faktoren, wie die mittlere klimatische Wasserbilanz einer Region in den Monaten Mai bis Oktober, in die Beurteilung mit ein. Die BKF wird in 12 Stufen unterteilt. Standorte mit der BKF 8-11 sind wegen der sehr starken Vernässung dem absoluten Grünland zuzuordnen.

Bei den Grundwasserböden (Gleyen) wird als Kriterium für die Nutzungsänderung von Grünlandstandorten die Obergrenze des mittleren Grundwasserniedrigstandes herangezogen. Liegt diese oberhalb von 4 dm unter Geländeoberfläche (u. GOF), ist in der Regel davon auszugehen, dass der Standort stark vernässt und nur als absolutes Grünland geeignet ist.

Ein weiteres Kriterium ist die Obergrenze der Stauschicht von Stauwasserböden. Liegt die Stauschicht oberhalb von 4 dm u. GOF oder ist die Frühjahrs-BKF ≥ 8 , ist in der Regel davon auszugehen, dass der Standort stark vernässt und nur als absolutes Grünland geeignet ist. Typische Auenböden (Rambla, Paternia, Tschernitza, Vega) sind i. d. R. nach den bisher genannten Kriterien nicht als absolutes Grünland einzustufen. Bei Auenböden ist zusätzlich deren Erosionsanfälligkeit in Betracht zu ziehen. Untersuchungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Landwirtschaftskammer und Geum.tec, 2007) haben ergeben, dass bei einem mittleren Hochwasserereignis die durch Erosion gefährdeten Flächenanteile sich durch ackerbauliche Maßnahmen auf 2-3% reduzieren lassen.

2.2 Moore

Von einem Moorstandort wird gesprochen, wenn unter natürlichen Standortbedingungen die Moormächtigkeit bei einem Humusgehalt von mehr als 30 Masse-% mehr als 3 dm beträgt oder innerhalb der ersten 6 dm die kumulative Moormächtigkeit 3 dm übersteigt. Als Konsequenz der durch Torfmineralisation

und -schrumpfung herbeigeführten Degradation der Torfe können Moore langfristig nicht nachhaltig als Ackerland genutzt werden und sollten generell als absolute Grünlandstandorte eingestuft werden.

Bei Tiefumbrüchen (Tiefpflügen, Baggerkuhlung) von Mooren muss davon ausgegangen werden, dass diese Maßnahmen im Rahmen einer umfassenden Melioration, einschließlich einer dauerhaften Regelung der Wasserverhältnisse, mit dem Ziel erfolgt sind, einen ackerfähigen Standort zu schaffen. Daher entsprechen diese Standorte nach Melioration nicht mehr den Kriterien eines Moorbodens. Mineralisch überlagerte Moore (Sanddeckkulturen, natürliche Übersandungen und Überschlickungen, Auftragsböden auf Mooren) gelten als absolutes Grünland, sobald die mineralische Überdeckung die Bearbeitungstiefe unterschreitet.

2.3 Gründigkeit

Grünlandstandorte mit einer Feinbodenauflage von weniger als 2 dm Mächtigkeit und anstehendem Festgestein oberhalb von 2 dm u. GOF neigen zu starker Trockenheit und sind deshalb in der Regel nicht für eine Ackernutzung geeignet, es sei denn, die Bodenschätzung weist diese Standorte als Ackerland aus.

2.4 Erosionsgefährdung

Bei Einhaltung der guten fachlichen Praxis können auch Standorte mit hoher potenzieller Erosionsgefährdung als Acker genutzt werden.

Mit zunehmender Hangneigung erhöht sich die Gefahr der Bodenabträge durch Wassererosion. Bei einer Erosionsgefährdungsstufe von CC2 ist zu prüfen, ob die tolerierbaren Bodenabträge nach Niedersächsischem „Toleranzgrenzenkonzept“ trotz pflanzenbaulicher Erosionsschutzmaßnahmen überschritten werden. Zum Beispiel sollte bei einer mittleren Hangneigung von 18 % eine Einzelfallprüfung nach dem Niedersächsischen „Toleranzgrenzenkonzept“ durchgeführt werden, ob der Standort ackerfähig ist.

2.5 Höhenlage

Aufgrund der Höhenlage werden Standorte in Niedersachsen als absolutes Grünland eingestuft, wenn die Standorte mehr als 600 m ü. NN liegen oder die

Niederschlagshöhe mehr als 1 300 mm beträgt oder die Vegetationsperiode kürzer als vier Monate ist.

3. Vorgehen bei der Ermittlung von Standorten für absolutes Grünland

Bei der Beurteilung eines Standortes als ackerfähig oder absolutes Grünland sollten zunächst großmaßstäbige Bodenkarten herangezogen werden (BK 25, DGK 5Bo). Ferner liefert die Bodenschätzung Hinweise, ob ein Standort ackerfähig oder absolutes Grünland ist. In der Regel liegen keine hochauflösenden Bodenkarten vor und die Bodenschätzung gibt nicht die aktuelle Situation wieder. Deshalb muss vor einer endgültigen Entscheidung zur Beurteilung eines Standortes als absolutes Grünland immer eine Geländebegehung erfolgen. Bei der Geländebegehung werden an repräsentativen Punkten des Standortes die übergeordneten Standortkriterien Wasserhaushalt, Moore, Gründigkeit, Erosionsgefährdung und Höhenlage geprüft. Für die Untersuchung werden mit dem Bohrstock Bohrungen durchgeführt und das Bohrprofil auf dem Geländeformblatt erfasst.

Es empfiehlt sich, auch eine Aufgrabung eines Bodenprofils bis mindestens 50 cm vorzunehmen, da Bodenmerkmale wie Rostfleckung u. a. dadurch besser und sicherer angesprochen werden können als im Bohrstock.

Der Kriterienkatalog umfasst nicht die Maße, die der Grünlandpflege dienen, und zu denen auch ein Umbruch der Grünlandnarbe mit anschließender Wiedersaat gehören kann. Solche Maßnahmen sind auch auf absoluten Grünlandstandorten weiterhin der guten landwirtschaftlichen Praxis zuzuordnen.

4. Zusammenfassung

Als Leitfaden für die Einstufung von absolutem und fakultativem Grünland aus bodenkundlich-pflanzenbaulicher Sicht steht der Kriterienkatalog dem Grünlandnutzer und den zuständigen Behörden zur Verfügung (Boess, et al., 2011). Die Bestimmungen vor Ort sind von qualifizierten Personen durchzuführen.

5. Literatur

- AG Bodenkunde, 1982: Bodenkundliche Kartieranleitung (KA3). 3. Aufl., 331, Hannover.
- Ad-hoc-AG, Boden, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5). 5. Aufl., 438, Hannover.
- BBodSchG, 1998: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz). BGBl. I, 502.
- Benzler, J.-H., Eckelmann, W. und Oelkers, K.-H., 1987: Ein Rahmenschema zur Kennzeichnung der bodenkundlichen Feuchtesituation. Mitt. dt. bodenkdl. Ges. 53, 95-101.
- BNatSchG, 2009: Gesetz zur Neuregelung des Rechts des Naturschutzes und der Landschaftspflege (BNatSchG). BGBl. I, 2542-2579.
- Boess, J, Fortmann, J., Müller, U. und Severin, K., 2011: Kriterienkatalog Nutzungsänderung von Grünlandstandorten in Niedersachsen. Mit Beiträgen von Ahlers, E., Burghardt, H., Höper, H., Schäfer, W. und Srot-drees, J.; Geofakten 27, 20, Hannover (LBEG).
- DVO EG Nr. 1120, 2009: Verordnung (EG) Nr. 1120/2009 der Kommission vom 29. Oktober 2009 mit Durchführungsbestimmungen zur Betriebsprämienregelung gemäß Titel III der Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe. ABI. EUL 316, 1-26.
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen und Geum.tec GmbH, 2007: Entwicklung einer Beratungskonzeption zur Minimierung von Bodenerosion und Stoffeinträgen in Gewässer, Arbeitsbereich 2: Auenerosion. Studie im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz; Hannover.
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2009: Leitlinien der ordnungsgemäßen Landwirtschaft. Broschüre der LWK Nds.
- VO EG, 2009: Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates vom 19. Januar 2009 mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1290/2005, (EG) Nr. 247/2006, (EG) Nr. 378/2007 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1782/2003. ABI. EUL 30, 16-99.
- VO Nds., 2009: Verordnung zur Erhaltung von Dauergrünland vom 6. Oktober

2009. Nds. GVBl. 21, 362.

WHG, 2009: Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts (Wasserhaushaltsgesetz). BGBII, 51, 2585-2621.

Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen zur Biomasseerzeugung - Wassereffizienz und Berechnungswürdigkeit

S. Kruse

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Außenstelle Rheinstetten-Forchheim

1. Einleitung

Zum Ende des Jahres 2011 werden 7 000 Biogasanlagen in Deutschland mit einer installierten elektrischen Leistung von 2 728 MW betrieben werden, wobei deren Anzahl sich allein ab 2006 verdoppelt hat (FVB, 2011). Im Jahr 2010 konnten 80 % der Energiebereitstellung aus Biogasanlagen auf den Einsatz von Nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) zurückgeführt werden, wobei Mais mit 76 % (massebezogen) den Einsatz der NaWaRo dominiert (DBFZ, 2011). Die Anbaufläche für Energiepflanzen zur Biogasnutzung nimmt in Deutschland in den letzten Jahren kontinuierlich zu (FNR, 2011).

Ein wirtschaftlich erfolgreicher Energiepflanzenanbau ist nur bei einer hohen Biomasseproduktion je Flächeneinheit möglich. Dabei sind insbesondere stabile Erträge erforderlich, um die Anbauplanungen anpassen und auch den Flächenbedarf langfristig abschätzen zu können. Neben pflanzenbaulichen Maßnahmen (Wahl von Kulturart und Sorte, Nährstoffversorgung, Pflanzenschutz, ...) beeinflussen insbesondere Standortfaktoren wie Bodenart, Lufttemperatur und Wasserversorgung in erheblichem Maße die Entwicklung der Pflanzen und somit den Biomasseertrag bzw. die Qualität (Kruse, 2006). Insbesondere die Wasserversorgung der Pflanzen ist dabei von eminenter Bedeutung, da sie nahezu alle Stoffwechselfunktionen beeinflusst. Hohe Biomasseerträge können folglich nur bei ausreichender Wasserversorgung sichergestellt werden.

Diese Wasserversorgung verändert sich wahrscheinlich in vielen Gegenden aufgrund des voranschreitenden Klimawandels (Zebisch et al., 2005; LUBW, 2010). Die Klimaforschung geht dabei zwar nicht von einer gravierenden Änderung der Jahresniederschlagssummen in Deutschland aus, jedoch sprechen Prognosen von häufig wiederkehrenden Extremsituationen. Perioden mit Starkregenereignissen, insbesondere im Sommerhalbjahr, werden einhergehen

mit extrem trockenen Perioden. Während im Nordosten Deutschlands Dürreperioden im Sommer immer wahrscheinlicher werden, nehmen gleichzeitig die Winterniederschläge im Süden und Südwesten zu. Zudem wird von steigenden Durchschnittstemperaturen in Deutschland ausgegangen.

Bei höheren Temperaturen verdunsten die Pflanzen, ebenso wie der Boden erheblich mehr Wasser, der Wasserbedarf der Pflanzen steigt. Auf warmen und leichten Standorten u. a. im Osten und Südwesten Deutschlands kann die Zusatzbewässerung, insbesondere wenn die Niederschläge im Sommerhalbjahr ausbleiben, somit von herausragender Bedeutung sein und unter Umständen einen durch Dürre verursachten Totalausfall des Ertrags verhindern.

Bei zunehmendem Bedarf an Pflanzen, die in Biogasanlagen fermentiert werden, um Biogas und somit Wärme und Strom zu produzieren und bei entsprechender Marktlage, kann davon ausgegangen werden, dass neben der Beregnung von Marktfrüchten auch die Zusatzbewässerung von Energiepflanzen in vielen Regionen Deutschlands an Bedeutung gewinnen wird.

Vor diesem Hintergrund wurde am Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) im Rahmen des vom Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Bundestagsbeschluss geförderten Projektes „Entwicklung und Vergleich von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen; kurz: EVA“ die Bewässerungswürdigkeit von Energiepflanzen in Kooperation mit dem Julius-Kühn-Institut in Braunschweig und dem Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung in München untersucht.

2. Material und Methoden

Der Versuchsbetrieb Rheinstetten-Forchheim des LTZ Augustenberg liegt in der Oberrheinebene, südlich von Karlsruhe, auf ca. 117 m ü. NN. Im langjährigen Mittel (1961-1990) beträgt die Jahresniederschlagssumme 742 mm, wobei 463 mm von April bis Oktober zu verzeichnen sind. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 10,3°C. Die vorherrschende Bodenart ist lehmiger Sand, die Bodenpunkte liegen zwischen 24 und 32. Die Tageshöchsttemperaturen in den Sommermonaten können durchaus 35-40°C an mehreren aufeinanderfolgenden Tagen erreichen. Daher sind von April bis September die verdunsteten Was-

sermengen (Evapotranspiration) meist höher als die Niederschläge. Die klimatische Wasserbilanz (Niederschlag - Verdunstung) wird negativ, und es entsteht ein Wasserdefizit, welches nur in begrenztem Umfang durch die in den leichten Böden gespeicherte Winterfeuchte ausgeglichen werden kann. Der Standort gilt somit als klassischer Beregnungsstandort. Die Tagesdurchschnittstemperaturen und Niederschlagssummen in den entsprechenden Versuchsjahren 2005-2009 sind in Tabelle 1 abzulesen.

Tab. 1: Durchschnittliche Tagestemperatur (°C) und Niederschlagssumme (mm) in den Versuchsjahren 2005-2009 am Standort Rheinstetten-Forchheim

	durchschnittliche Tagestemperatur (°C)		Niederschlagssumme (mm)	
	Jahr	Vegetationszeit (Apr.-Okt.)	Jahr	Vegetationszeit (Apr.-Okt.)
2005	10,8	18,7	600	410
2006	11,2	19,6	714	481
2007	11,3	18,3	570	364
2008	10,9	17,9	795	508
2009	10,8	16,1	752	396

Im Vergleich zum langjährigen Mittel war es insbesondere in den Versuchsjahren 2005 und 2007 trockener, außerdem war die Vegetationsperiode im Jahr 2009 durch lange Dürreperioden gekennzeichnet. Die Durchschnittstemperaturen in allen Versuchsjahren lag über dem langjährigen Mittel, im Jahr 2007 wurde dieses um 1°C überschritten.

In den Jahren 2005-2009 wurden drei Maissorten verschiedener Reifegruppen (S 250, 500, ca. 700), Sorghum (Futterhirse und Sudangras), Futterrübe, Topinambur und Sonnenblumen unter zwei Beregnungsregimen geprüft. In der „minimal“ mit Wasser versorgten Variante sollte Zusatzwasser ausschließlich zur Bestandessicherung gegeben werden. Die nutzbare Feldkapazität in den „optimal“ bewässerten Varianten sollte dagegen nicht unter 50 % absinken. Die Bewässerung wurde jeweils mit dem Modell Agrowetter des Deutschen Wetterdienstes gesteuert.

3. Ergebnisse

Die Berechnungsmengen unterschieden sich sowohl zwischen den Versuchsjahren als auch zwischen den geprüften Kulturen erheblich (Daten nicht gezeigt). In den optimal mit Wasser versorgten Varianten erhielten die spät abreifenden Mais- und Sorghumsorten die höchsten Wassergaben von 235 mm (2005), im Gegensatz dazu erhielten die Sonnenblumen nur 80 mm (2007, 2009). Die minimal versorgten Varianten erhielten zwischen 0 mm und 90 mm Zusatzwasser in den Jahren 2008 bzw. 2006.

Tab. 2: Zusatzbewässerung (mm) zu ausgewählten Energiepflanzen in den Versuchsjahren 2005-2009

	Mais S 250	Mais S 500	Mais S 700	Sorghum	Sonnen- blumen	Topi- nambur	Futter- rüben
2005	160	160	160	95	75	160	160
2006	110	110	110	110	110	110	110
2007	80	120	120	120	80	120	120
2008	125	135	135	135	133	140	-
2009	75	106	106	124	60	75	-

Die optimal berechneten Varianten konnten also auf ein Mehr an Wasser von 60 bis 160 mm im Vergleich zur minimal versorgten Variante zurückgreifen (Tab. 2).

Die korrekte Beregnungssteuerung in den Versuchsjahren wurde vor allem aufgrund des unterschiedlichen Eintretens vorhergesagter Wetterereignisse erschwert. Insbesondere das Auftreten von Gewittern beeinflusst in erheblichem Maße die Genauigkeit der Niederschlagsvorhersagen im Sommer und somit die Beregnungsmengen. Wenn diese vorhergesagten Regenereignisse nicht oder in unvorhergesehener Höhe eintreffen, besteht die Gefahr, die Zielwerte der nutzbaren Feldkapazität zu verfehlen.

Aufgrund der Zusatzbewässerung konnten erhebliche Ertragszuwächse bei den einzelnen Kulturen verzeichnet werden (Tab. 3). Die Maissorten realisierten einen Trockenmasse- (TM-) Ertrag von 14,4 t (S 250, minimal) bzw. 24,1 dt TM ha⁻¹ (S 700, optimal), der Ertrag stieg somit um durchschnittlich 32 % durch die Bewässerung. Auch bei Futterrüben stieg der TM-Ertrag um ca. 30 % (18,6-22,4 t TM ha⁻¹). Nach Mais und Futterrüben erzielten die beiden Sorghum-Arten Fut-

terhirse bzw. Sudangras (minimal 15,4/14,5 bzw. optimal 19,2/16,2 t TM ha⁻¹) die höchsten Erträge. Hohe Ertragszuwächse werden auch bei Topinambur (+50 %) und Mais-Sonnenblumen-Gemenge (+33 %) verzeichnet, jedoch liegen die TM-Erträge weit unter dem zu erwartenden Ertragsniveau. Auch die Sonnenblumen in Reinkultur überzeugen mit Erträgen zwischen 8,8 und 11,9 t ha⁻¹ TM weder in der minimal berechneten noch in der optimal berechneten Variante.

Tab. 3: Trockenmasse-Ertrag, Wasserverbrauch und Evapotranspirationskoeffizient (ETK) der untersuchten Kulturarten in Abhängigkeit des Bewässerungsregimes im Mittel der Versuchsjahre 2005-2009 (Schittenhelm und Kruse, 2010)

Wasser- regime	Fruchtart	TM- Ertrag tha ⁻¹	Wasser- verbrauch mm	ETK l kg ⁻¹
Minimal	Futterhirse	15,4	289	192
	Mais	16,8	340	205
	Sudangras	14,5	317	220
	C4-Mittel	15,6	315	206
	Sonnenblume	8,8	267	317
	Futterrübe	18,6	422	233
	Topinambur	8,5	351	425
	C3-Mittel	12,0	347	325
Optimal	Futterhirse	19,2	384	203
	Mais	21,3	455	215
	Sudangras	16,2	417	261
	C4-Mittel	18,9	419	226
	Sonnenblume	11,9	351	319
	Futterrübe	22,4	521	236
	Topinambur	12,7	471	373
	C3-Mittel	15,7	448	309

Schittenhelm und Kruse (2010) haben aufgrund der Ertragsdaten und des Wasserverbrauchs die Evapotranspirationskoeffizienten errechnet, die unter Beachtung der natürlichen Schwankungsbreite mit Literaturdaten übereinstimmen (Singh und Singh, 1995; Werker und Jaggard, 1998, u. a.). Generell kann an den

Werten abgelesen werden, dass die geprüften C4-Arten aufgrund ihrer Stoffwechselbesonderheit effizienter mit Wasser umgehen als die C3-Arten. Unter minimal berechneten Bedingungen benötigen Mais, Futterhirse und Sudangras in diesem Versuch 206 l Wasser um 1 kg TM zu produzieren; Sonnenblumen, Futterrüben und Topinambur dagegen 325 l. Auch unter optimal mit Wasser versorgten Beständen benötigen die C3-Arten mit 309 l kg⁻¹ TM 83 l oder 36 % mehr Wasser als die C4-Arten. Während die C3-Arten in den optimal berechneten Varianten ca. 20 l weniger benötigen, um ein kg TM zu akkumulieren, steigt der Verbrauch bei den C4-Arten um eben jene 20 l.

4. Diskussion

Mais und Futterrüben sind die ertragsstärksten hier geprüften Kulturarten zur Produktion von Biomasse als Biogassubstrat. Diese Aussage bestätigt sich in dem hier vorgestellten Versuch unabhängig von der geprüften Berechnungsvariante. Im Vergleich der beiden Arten zeigt sich jedoch der deutliche Vorteil von Mais dahingehend, dass im Mittel der Berechnungsvarianten von der C4-Art 75 l weniger Wasser gebraucht werden, um ein kg TM zu produzieren.

Auch die andere geprüfte C4-Art Sorghum überzeugt durch hohe TM-Erträge, die bei vergleichsweise niedrigem Wasserverbrauch realisiert werden können. Unter den Bedingungen wie sie beim Voranschreiten des Klimawandels vorausgesagt werden, kann also von einem erheblichen Vorteil von Mais und Sorghum gegenüber C3-Pflanzen ausgegangen werden.

Eine Zusatzbewässerung bringt im Durchschnitt einen Mehrertrag von ca. 30 % oder 7 t TM ha⁻¹. Entsprechend den realisierbaren Energieerträgen und den erzielbaren Erlösen kann also eine Zusatzbewässerung, insbesondere bei bestehender Maschinenausstattung, durchaus rentabel werden.

Wahrscheinlich ist, dass die Regionen zunehmen werden, in denen sich eine Zusatzbewässerung von Energiepflanzen lohnt, da insbesondere bei bestehenden Biogasanlagen die Biomasseproduktion stabil gehalten werden muss und bei dauerhaft niedrigen Sommerniederschlägen zu befürchtende Komplettausfälle nahezu verhindert werden können.

5. Literatur

- Deutsches Biomasse Forschungszentrum (DBFZ), 2011: Erneuter Zuwachs von Biogasausbau in Deutschland 2010 - DBFZ-Umfrage zu Anlagenbestand und Flächenbeanspruchung zeigt einen deutlichen Anlagenzubaubau im Biogasbereich. Pressemitteilung 07.04.2011. Leipzig.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), 2011: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland, Stand 10/2011. Gülzow.
- Fachverband Biogas (FVB), 2011: Branchenzahlen 2010, Stand 06/2011. Freising.
- Kruse, S., 2006: Charakterisierung und Modellierung des Abreifeverhaltens von Silomaisgenotypen mittels futterwertbestimmender Parameter. Dissertation. Kiel.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), 2010. Klimawandel in Baden-Württemberg. Fakten - Folgen - Perspektiven. Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr B-W. Karlsruhe.
- Schittenhelm, S., Kruse S., 2010: Wassernutzungseffizienz von Energiepflanzen. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg): Gülzower Fachgespräche. Proceedings zum 2. Symposium Energiepflanzen 2009 vom 17./18. November 2009 in Berlin, 108-118.
- Singh, B.R., Singh, D.P., 1994: Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. *Field Crops Research*, 42/2-3, 57-67.
- Werker, A.R., Jaggard, K.W., 1998: Dependence of sugar beet yield on light interception and evapotranspiration. *Agricultural and Forest Meteorology*, 89/3-4, 229-240.
- Zebitsch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Hasse, C., Fritsch, U., Cramer W., 2005: Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. *Climate Change* 08/05. Umweltbundesamt, Dessau.

Potenziale der Nahinfrarotspektroskopie für die Online-Prozessüberwachung landwirtschaftlicher Biogasanlagen

L.C. Krapf¹, A. Gronauer², U. Schmidhalter³, H. Heuwinkel¹

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, ²Institut für Landtechnik, Universität für Bodenkultur Wien, ³Lehrstuhl für Pflanzenernährung, TU München

1. Einleitung

Die Überwachung des anaeroben Abbauprozesses in Biogasanlagen (BGA) erfolgt überwiegend nasschemisch. Der mitunter mehrtägige Zeitverzug zwischen Probenahme und der Bereitstellung der Analyseergebnisse erschwert jedoch eine effiziente Prozessführung, da eine Reaktion auf entstandene Störungen in der Gärbiologie nur verspätet möglich ist. Sollte es möglich sein, prozessindizierende Parameter über ein kontinuierliches Monitoring mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) zuverlässig zu schätzen, so ermöglichte dies eine Einschätzung der Stabilität des anaeroben Abbaus in Echtzeit und wäre die Basis für eine prozessadaptierte Fütterung, die auch zur Erhöhung der Anlagenauslastung führen kann.

Diese Arbeit beschreibt die Entwicklung von NIRS-Kalibrationen für die organische Trockenmasse (oTM) und die flüchtigen Gesamtfettsäuren (FFS) sowie deren Validierung unter Verwendung zeitlich unabhängiger Messungen in Verbindung mit stoßweiser Substratzufuhr.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungen erfolgten über 240 Tage (Abb. 1) in einem mit Maissilage betriebenen, volldurchmischten Modellfermenter (2,5 m³ Arbeitsvolumen) unter mesophilen Bedingungen. Die Zufuhr an Silage wurde in fünf Zeitabschnitten gezielt in kritische Höhen (bis 35 kg oTM m⁻³ d⁻¹) getrieben, um Belastungsphasen zu generieren, auf die ein Aussetzen der Substratzufuhr folgte. Die kontinuierliche Aufzeichnung der Spektren (3-minütige Mittelwerte) erfolgte mittels

eines Dioden-Array-Spektrometers (X-Three, NIR-Online, Walldorf) über einen Bypass (Anamenter, Högemann, Garrel) am Fermenter. Für die Entwicklung der PLSR-Kalibrationen (1100-1750 nm) sowie deren Validierung wurden dem Fermenter situationsangepasst Referenzproben entnommen und untersucht. Proben der ersten, zweiten (Tag 1-82) sowie fünften (Tag 159-240) Belastungsphase dienten der Kalibration der Modelle, die anderen beiden Phasen (Tag 83-158) der Validierung. Es wurde eine Langzeit- (kompletter Validierungszeitraum) und Kurzzeitbewertung (12-24 Stunden nach einer Substratzugabe) der Veränderung der Messwerte laut NIRS-Modell durchgeführt. Die oTM wurde mittels Trocknung (105 °C bis Gewichtskonstanz) und weiterer Veraschung (550 °C, 1 h) ermittelt. Die Erfassung der FFS erfolgte durch Destillation der gesamten Probe und anschließender Titration mit NaOH bis pH 8.8. Grundsätzlich wurde jeweils eine Doppelbestimmung durchgeführt.

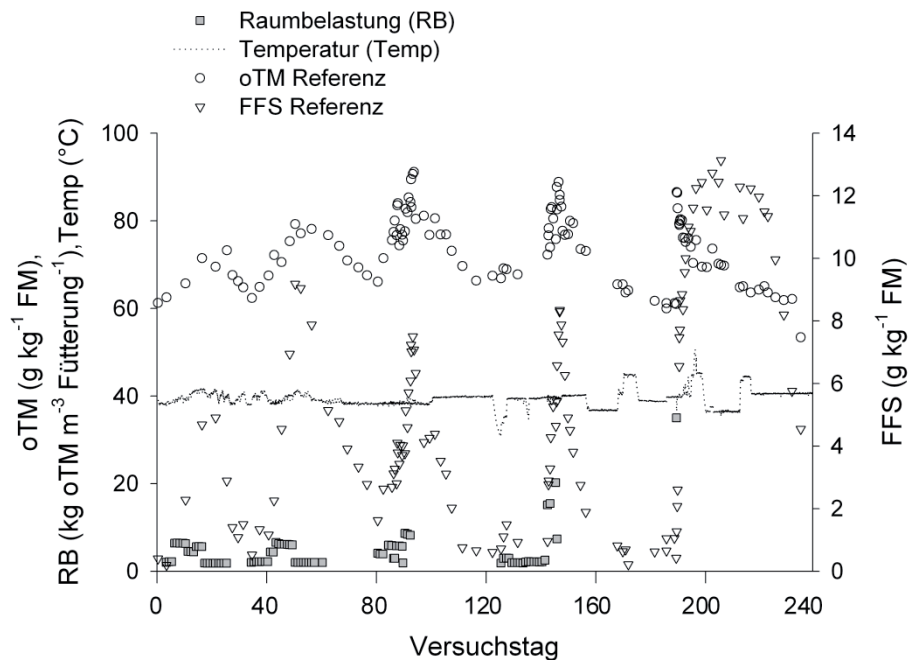


Abb. 1: Konzentrationsverlauf von organischer Trockenmasse (oTM) und wasserdampfflüchtigen Fettsäuren (FFS) während der fünf durch stoßweise Fütterung herbeigeführten Belastungsphasen; Daten der Referenzmethodik (FM=Frischmasse, RB=Raumbelastung)

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Konzentration an oTM in den Kalibrierproben variierte von 53 bis 87 g kg⁻¹ FM, die Validierproben hatten etwas höhere Gehalte an oTM (Tab. 1). Eine FFS Konzentration von bis zu 13 g kg⁻¹ FM für das Kalibriereset ist Ausdruck einer bereits fortgeschrittenen Versauerung; für die Validierphase wurden maximale Säurewerte bis 8 g kg⁻¹ FM beobachtet. Der Kalibrierdatensatz zeigte eine geringe Korrelation ($r = 0,26$) zwischen der oTM und den FFS; für den Validierdatensatz hingegen zeichnete sich ein hoher Zusammenhang ab ($r = 0,86$).

Tab. 1: Beschreibende Statistik für Kalibrier- und Validierdatensatz für oTM und FFS; für die FFS erfolgte die Kalibration nach Entnahme eines Ausreißers (FM=Frishmasse)

	Kalibrierproben (n=65)				Validierproben (n=55)			
	Min-Max	Mittel	Median	SD	Min-Max	Mittel	Median	SD
oTM (g kg ⁻¹ FM)	53,4-86,5	69,7	69,4	7,2	66,3-91,1	78,5	77,7	6,1
FFS (g kg ⁻¹ FM)	0,2-13,1	5,9	4,8	4,5	0,6-8,3	4,2	4,0	2,1
Temp (°C)	36,4-47,5	39,9	39,8	2,3	31,2-40,3	38,8	39,4	1,6

Abbildung 2 illustriert die Ergebnisse der internen Test-Set Validierung beider Parameter, aufgezeigt sind die Zusammenhänge für die Kalibrier- sowie für die Validierproben. Mit einem mittleren Schätzfehler (RMSEP) von 3 g kg⁻¹ FM ist die Genauigkeit des oTM-Modelles in Übereinstimmung mit Holm-Nielsen et al. (2007); von einem geringeren Fehler berichten Lomborg et al. (2009). Das vergleichsweise niedrige Bestimmtheitsmaß ($r^2 = 0,76$) zur Beschreibung jenes Anteiles an oTM-Variation, der durch das Modell erklärt wird, resultiert aus der insgesamt geringen Gesamtstreuung der Validierproben. Mit dem Ziel einer Erhöhung der Temperaturrobustheit der Schätzmodelle wurden die Kalibrierproben bei variierenden Temperaturen vermessen (Tab. 1). Die teilweise bei Temperaturen unterhalb von 36°C erfassten Validierproben wiesen keine höheren Schätzfehler auf, d. h. das oTM-Modell verhielt sich robust gegenüber moderaten Temperatureffekten unterhalb des für die Kalibration berücksichtigten Bereiches. Die Konzentration an FFS wurde mit einem RMSEP von 0,9 g kg⁻¹ FM geschätzt ($r^2 = 0,85$). In der Literatur wird ein Fehler von 0,2 bis 1,6 g kg⁻¹ FM

berichtet wobei unterschiedliche Messaufbauten, Gärsubstrate sowie Validiermethoden zum Einsatz kamen (Holm-Nielsen et al., 2007; Jacobi et al., 2009; Lomborg et al., 2009).

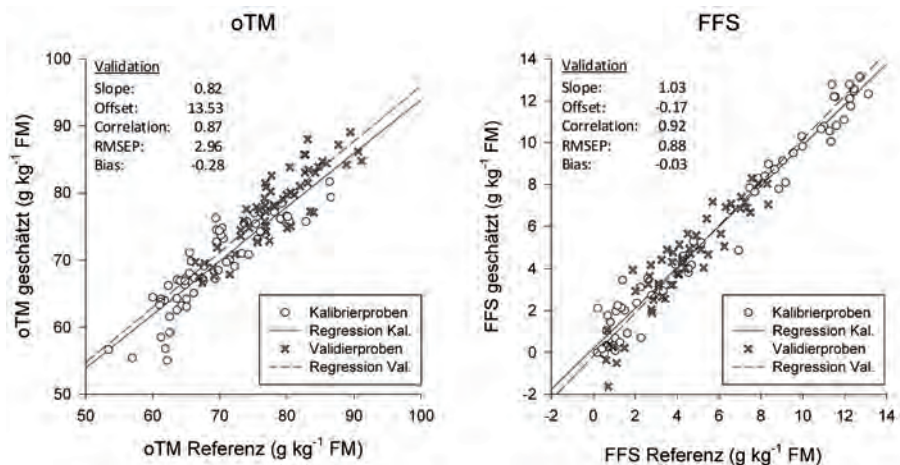


Abb. 2: Ergebnisse der PLSR-Berechnungen für oTM mit 3 Faktoren (links) sowie für FFS mit 5 Faktoren (rechts); dargestellt ist der Vergleich der Schätzung laut NIRS-Modell mit den Referenzdaten für die Kalibrier- (Kreis, durchgezogene Linie) und Validierproben (Kreuze, gestrichelte Linie); (FM=Frischmasse)

Die PLSR-Modelle zu beiden Parametern wurden auf die spektrale Zeitreihe der dritten und vierten Belastungsphase angewendet. Ein Anstieg im Trendverlauf der Konzentration an oTM infolge der Fütterung wurde korrekt geschätzt, ebenso der Konzentrationsabfall nach deren Aussetzung (Abb. 3). Zu einzelnen Zeitpunkten traten größere Unterschiede zwischen den NIRS-Schätzwerten und den Referenzwerten auf. Der Grund hierfür lag vermutlich eher auf Seiten der Referenzmessung, d. h. von Probenahme bis hin zur eigentlichen Messung. So zeigten die Referenzwerte für die Tage 102 und 151 einen Anstieg in der oTM Konzentration an. Dabereits an Tag 93 bzw. 146 die Fütterung ausgesetzt wurde, erscheint dieser Anstieg nicht plausibel. Im Gegensatz dazu wiesen die Schätzwerte für die oTM zu dieser Zeit einen gleichmäßig fallenden Konzentrationsverlauf auf, welcher den kontinuierlichen Abbau vermutlich adäquater beschreibt. Die räumliche Inhomogenität sowie die Heterogenität des Gärmaterials im Fermenter können hier einen Probenahmefehler begünstigt haben.

Die Schätzung für die FFS folgte ebenfalls dem durch die Referenzanalysen dargestellten, fütterungsbedingten Verlauf. Hierbei waren einzelne Abweichungen zwischen Schätzung und Referenz weniger stark ausgeprägt was daran liegen kann, dass die Analysen der FFS in der flüssigen Phase erfolgten. An Tag 124 wurde die Temperatur im Fermenter auf 31°C reduziert, um mögliche Temperatureinflüsse auf die Vorhersagen zu prüfen. Tatsächlich war ab diesem Tag eine Drift der Schätzungen in Richtung negativer Werte zu beobachten, das FFS-Modell ist demnach sensibel gegenüber unbekanntem Temperatureinflüssen. Durch eine Erhöhung der Temperatur auf das Ausgangsniveau (Tag 129), näherten sich die Schätzwerte erneut den Referenzwerten an. Allerdings fielen sowohl vor als auch nach diesem Zeitabschnitt die Schätzungen zeitweilig unter null. Diese Beobachtung spiegelt möglicherweise den zufälligen Fehler bei geringsten Säurekonzentrationen wider. Gleichzeitig könnte dies aber auch auf einen Modelloffset hinweisen. Da das Absenken der Temperatur bei geringen Säurekonzentrationen erfolgte, kann keine klare Differenzierung zwischen dem Temperatureffekt und der Modellstabilität bei minimalen Säurekonzentrationen erfolgen. Weitere Untersuchungen zur Prüfung des Verhaltens im Grenzbereich des Modelles sowohl für die Temperatur als auch für die FFS sind hierzu notwendig.

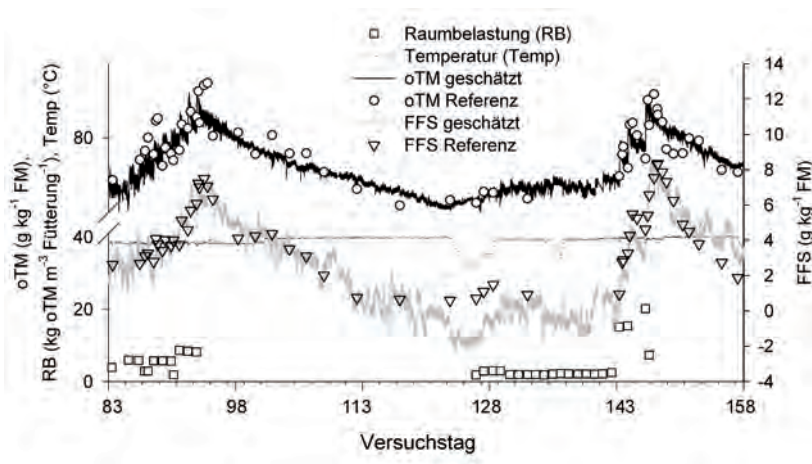


Abb. 3: Langzeitvalidierung der Modelle für oTM und FFS über die spektrale Zeitreihe der Versuchstage 83-158 (vergl. auch Abb. 1)

Während der gesamten Validierphase veränderten sich die Werte beider Parameter gleichgerichtet. Infolgedessen ergab sich auch für die NIRS-Schätzung

beider Kenngrößen in der Langzeitbetrachtung eine enge Korrelation. Deshalb wurde in einer zeitlich hoch aufgelösten Darstellung der Versuchstage 88 bis 93 sowie 143 bis 148 geprüft, ob sich die kurzfristige Schätzung beider Parameter unabhängig voneinander verhält (Abb. 4). Im ersten Abschnitt erfolgten sechs Fütterungen mit 1.9 bis 8.7 kg oTM m⁻³ Fütterung⁻¹. Nach jeder Substratzugabe war unmittelbar ein Anstieg für die Schätzung der oTM zu verzeichnen. Innerhalb einer Stunde erreichte das Signal ein neues, höheres Niveau um im Folgenden langsam aber stetig abzunehmen, was die Umwandlung der Biomasse in Biogas widerspiegelt. Die Intensität der Fütterung hatte dabei einen Einfluss auf die Höhe der Schätzwerte und selbst eine Zugabe von 1.9 kg oTM m⁻³ Fütterung⁻¹ (Tag 90) wurde durch das NIRS-Modell abgebildet. Die Schätzwerte für FFS belegten ebenfalls einen schnellen Konzentrationsanstieg nach einer Fütterung. Zu einem Zeitpunkt, an dem die Schätzungen für die oTM bereits wieder zurückgingen, stiegen jene für die FFS hingegen i. d. R. noch einige Stunden. Anschließend folgte ein Abfall in der Säurekonzentration, der vergleichsweise schnell ablief, bis zur nächsten Fütterung jedoch das Ausgangsniveau i. d. R. nicht erreichte. Vielmehr konnte über die fünf Versuchstage infolge der vergleichsweise hohen Belastung eine stetige Akkumulation der Säuren verzeichnet werden. Für beide Parameter wird damit sehr schön die Erwartung an die Prozessabläufe wiedergegeben, sowohl für den trägen Parameter oTM als auch für den hoch sensiblen, variablen Parameter FFS. Die hohe Unabhängigkeit beider Parameter in den ersten Stunden nach Substratzugabe belegten zusätzlich die durchweg geringen Korrelationen (r) der Schätzwerte beider Parameter in den Zeitfenstern zwischen zwei Fütterungen (Abb. 4). Ein Vergleich der Schätzwerte beider Parameter mit der Referenz unterstreicht, dass sowohl die relativen (Präzision) als auch die absoluten (Genauigkeit) Veränderungen weitestgehend wiedergegeben wurden. So ließ sich eine Akkumulation der FFS selbst zu einem frühen Stadium unterhalb von 4 g kg⁻¹ FM mittels NIRS indizieren.

Für den Abschnitt von Tag 143 bis 148 waren vergleichbare Zusammenhänge darstellbar. Durch eine stoßweise Substratzugabe von bis zu 20 kg oTM m⁻³ Fütterung⁻¹, wurde der fütterungsseitige Effekt auf die Dynamik beider Parameter verstärkt. An Tag 147 kam es infolge eines Pumpdefektes im Bypass zu zeitweilig fehlerhaften Messungen. Ein Vergleich der oTM-Konzentrationen vor bzw. nach der Fütterung an den Tagen 143, 144 sowie 146 zeigt auf, dass der geschätzte sowie referenzseitig erfasste Konzentrationsanstieg niedriger ausfiel, als der auf Basis der tatsächlich zugegebenen Menge berechnete. Dies legt nahe, dass ein messmethodisch übergreifender Effekt vorgelegen haben muss, der in einer

Schwimmschichtbildung infolge der hohen Substratgabe vermutet wird. Ein Teil der frischen Silage gelangte dadurch erst zeitlich verzögert in den Pumpkreislauf des Bypass. Diese Beobachtung ist ein Beispiel dafür, dass mithilfe der NIRS eine räumliche Inhomogenität im Fermenter detektierbar ist.

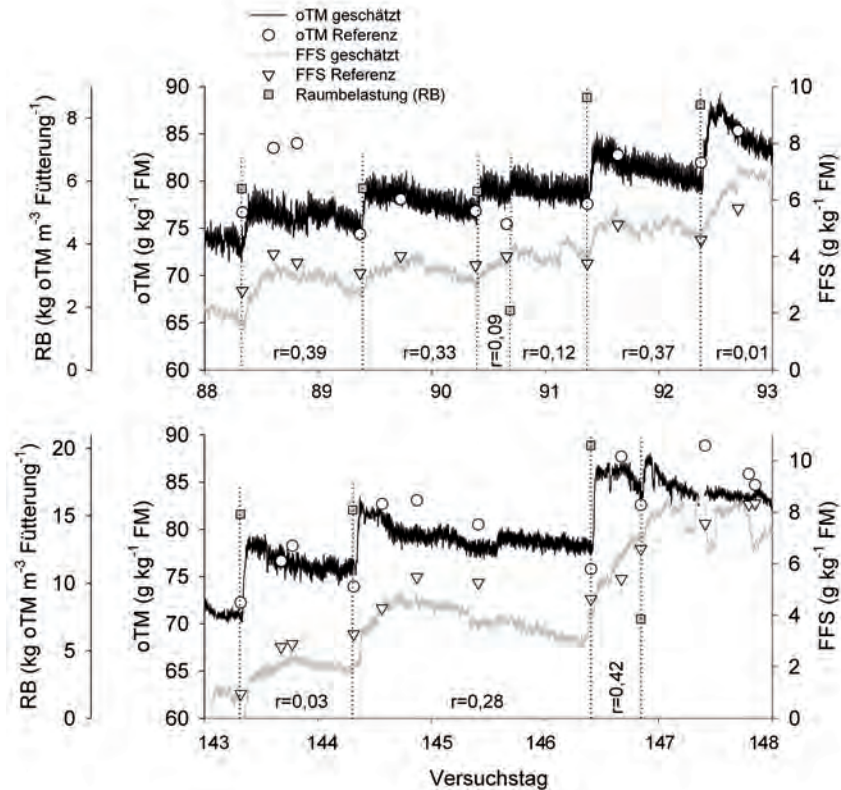


Abb. 4: Kurzzeitvalidierung der Modelle für oTM und FFS anhand der spektralen Zeitreihen für die Versuchstage 88-93 sowie 143-148 (vergl. auch Abb. 1 und 3); der Korrelationskoeffizient (r) wurde für die Schätzwerte beider Parameter in den Zeitfenstern zwischen zwei Fütterungen (vertikale Linien) berechnet

4. Schlussfolgerung

Die NIRS-Methodik ermöglicht eine Online-Prozessüberwachung der Parameter oTM sowie FFS an landwirtschaftlichen BGA. Deren mittelfristige Verände-

rung sowie die kurzzeitige Prozessdynamik nach Fütterungen können mit dieser Technik sehr zuverlässig wiedergegeben werden. Selbst geringe Konzentrationsänderungen wurden durch die hohe Sensibilität dieser Methode visualisiert. Die Unabhängigkeit und hohe Sensibilität für beide Parameter während der Kurzzeitbetrachtung belegen, dass (1) die Schätzungen von FFS unabhängig vom Wassergehalt waren und (2) wie viel Potenzial in dieser Messtechnik zur optimierten Führung eines Fermenters steckt. So könnte über die relative Veränderung beider Parameter über die Zeit die Fütterung an die aktuelle Prozessdynamik angepasst werden. Die kontinuierliche Aufzeichnung der oTM ermöglicht weiterhin eine Einschätzung der Abbauleistung und der Homogenität des Fermenterinhaltens. Eine Einschätzung zur Sensibilität dieser Modelle gegenüber substratbedingter Variation ist die Voraussetzung für einen Einsatz dieser Technik in der Praxis und Gegenstand aktueller Untersuchungen (Krapf et al., eingereicht).

5. Literaturangaben

- Holm-Nielsen, J.B., Andree, H., Lindorfer, H., Esbensen, K.H., 2007: Transflexive embedded near infrared monitoring for key process intermediates in anaerobic digestion/biogas production. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 15, 123-135.
- Jacobi, H.F., Moschner, C.R., Hartung, E., 2009: Use of near infrared spectroscopy in monitoring of volatile fatty acids in anaerobic digestion. *Water Science and Technology*, 60, 339-346.
- Krapf, L.C., Gronauer, A., Schmidhalter, U., Heuwinkel, H., akzeptiert: Development of NIRS calibration tools for estimating process parameters during anaerobic digestion of energy crops and livestock residues. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*.
- Lomborg, C.J., Holm-Nielsen, J.B., Oleskovicz-Popiel, P., Esbensen, K.H., 2009: Near infrared and acoustic chemometrics monitoring of volatile fatty acids and dry matter during co-digestion of manure and maize silage. *Bioresource Technology*, 100, 1711-1719.

Der Handel mit Wildpflanzensaatgut auf Basis der EU-Richtlinie

B. Voit, B. Killermann

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising

1. Einleitung

Die rote Liste der vom Aussterben bedrohten Arten wird immer länger. Folglich ist der Ruf nach Biodiversität und Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen in den letzten Jahren lauter geworden. Dies veranlasste den Gesetzgeber zum Handeln. So wurden Anpassungen beim Bundesnaturschutzgesetz vorgenommen. Auch auf europäischer Ebene wurden Richtlinien erlassen z. B. die EU Richtlinie 2010/60/EU, die den Saatgutbereich betrifft. Hierbei handelt es sich um Ausnahmeregelungen für das Inverkehrbringen von Saatgutmischungen zur Erhaltung der natürlichen Umwelt. Diese Richtlinie ist bis zum 30.11.2011 in nationales Recht umzusetzen. Welche Auswirkungen hat das für die Saatgutproduktion und den Saatguthandel?

2. Produktion und Handel von Erhaltungsmischungen

Insgesamt werden in Deutschland pro Jahr knapp 40 000 to Saatgutmischungen hergestellt. Maximal 5 %, das sind 2 000 to, dürfen als Erhaltungsmischungen in den Verkehr gebracht werden. Eine Aushöhlung des Saatgutverkehrsgesetzes ist damit nicht zu befürchten.

Die Produktion, das Herstellen und der Vertrieb der Erhaltungsmischungen ist folgendermaßen vorgesehen: Die Bundesrepublik Deutschland wurde in 8 Ursprungsgebiete (Abb. 1) und 18 Herkunftsregionen (Tab. 1) eingeteilt. Von der Leibniz Universität Hannover wurde ein Schlüssel erarbeitet, welche Pflanzenarten in jedem Ursprungsgebiet erhaltens- und schützenswert sind. Damit Saatgut gesammelt werden darf ist im Normalfall eine Genehmigung der unteren Naturschutzbehörde erforderlich, da es sich in der Regel um FFH Flächen handelt. Die Stellen wo Saatgut gesammelt wird, werden als Entnahmeort bezeichnet. Mehrere Entnahmeorte werden zu einem Quellgebiet zusammengefasst.

Die Saatgutproduktion und der Vertrieb der Saatgutmischung müssen innerhalb des Ursprungsgebietes bleiben, in dem der Entnahmeort bzw. das Quellgebiet liegt.



Abb. 1: Ursprungsgebiete

3. Voraussetzungen zur Genehmigung des Inverkehrbringens einer Erhaltungsmischung

Bis spätestens 28. Februar jeden Jahres ist der Antrag zum Inverkehrbringen von Erhaltungsmischungen zu stellen. Der Antrag muss die Erhaltungsmischungsnummer, die ungefähre prozentuale Zusammensetzung der Mischung, das Ursprungsgebiet, das Quellgebiet und den Entnahmeort enthalten, so dass eine eindeutige Identifizierung der Mischung möglich ist.

Tab. 1: Ursprungsgebiete und Herkunftsregionen

Nr. Ursprungsgebiete	Nr. Herkunftsregionen
1 Nordwestdeutsches Tiefland	1 Nordwestdeutsches Tiefland 2 Westdeutsches Tiefland mit Unterem Weserbergland
2 Nordostdeutsches Tiefland	3 Nordostdeutsches Tiefland 4 Ostdeutsches Tiefland 22 Uckermark mit Odertal
3 Mitteldeutsches Flach- und Hügelland	5 Mitteldeutsches Flach- und Hügelland 20 Sächsisches Löss- und Hügelland
4 Westdeutsches Berg- und Hügelland	6 Oberes Weser- und Leinebergland mit Harz 7 Rheinisches Bergland 21 Hessisches Bergland
5 Südost- und ostdeutsches Bergland	8 Erz- und Elbsandsteingebirge 15 Thüringer Wald Fichtelgebirge und Vogtland 19 Bayerischer und Oberpfälzer Wald
6 Südwestdeutsches Berg- und Hügelland mit Oberrheingraben	9 Oberrheingraben mit Saarpfälzer Bergland 10 Schwarzwald
7 Süddeutsches Berg- und Hügelland	11 Südwestdeutsches Bergland 12 Fränkisches Hügelland 13 Schwäbische Alb 14 Fränkische Alb
8 Alpen und Alpenvorland	16 Unterbayerische Hügel- und Plattenregion 17 Südliches Alpenvorland 18 Nördliche Kalkalpen

4. Anforderungen an das Saatzgut zum Inverkehrbringen

Es muss die Genehmigung zur Herstellung einer Erhaltungsmischung vorliegen. Ferner ist ein Nachweis notwendig, dass im Quellgebiet seit 40 Jahren kein Saatzgut mehr ausgebracht wurde. Bei einer direkt geernteten Mischung muss die prozentuale Zusammensetzung und Keimfähigkeit der Mischung geeignet sein, dass sich die Art des Lebensraumes vom Entnahmeort an einem anderen Ort wieder herstellen lässt.

Im Saatzgut dürfen keine Samen von *Avena fatua*, *Avena sterilis* und *Cuscuta sp.* enthalten sein. Ferner darf der Anteil von *Rumex spp.* nicht über 0,05 % liegen mit Ausnahme von *Rumex acetosa* und *Rumex thyrsiflorus*.

Die Vermehrung der jeweiligen Bestandteile in der Mischung darf nicht über die F-5 Generation hinaus erfolgen.

5. Kennzeichnung und Verschließung der Erhaltungsmischung

Saatgut darf nur in Verkehr gebracht werden, wenn auf den Packungen sich ein Herstelleretikett, ein Aufdruck oder Stempel mit folgenden Angaben befindet: EU-Norm, Name und Anschrift der für das Inverkehrbringen verantwortlichen Person, die Angabe ob es sich um eine „direkt“ geerntete oder „angebaute“ Mischung handelt, das Verschließungsjahr, das Ursprungsgebiet, das Quellgebiet, der Entnahmeort, die Angabe „Erhaltungsmischung“ sowie die Erhaltungsmischungsnummer. Enthält die Mischung Saatgut von einer Erhaltungssorte, muss dies angegeben werden. Anzugeben ist auch die ungefähre prozentuale Zusammensetzung der Mischung; bei direkt geernteten Mischungen reicht die Angabe der Arten die typisch sind für den Lebensraum der Erhaltungsmischung. Bei Fruchtarten, die dem Saatgutverkehrsgesetz unterliegen müssen die Anforderungen an Handelssaatgut erfüllt werden. Falls die Keimfähigkeitsnorm unterschritten ist, muss die tatsächliche Keimfähigkeit angegeben werden.

6. Überwachung des Saatgutverkehr von Erhaltungsmischungen

Eine Möglichkeit besteht durch Sichtkontrollen am Entnahmeort. Die andere Möglichkeit ist die Untersuchung der Saatgutproben, wobei die Untersuchung der Saatgutproben entfällt, wenn die Mischungen im Rahmen eines Zertifizierungssystems erzeugt werden und deren Regelungen den staatlichen Überprüfungen entsprechen. Das Bundessortenamt weist den Antragstellern die Saatgutmenge zu. Falls die Antragsmenge die 2 000 to (5 % aus 40 000 to) übersteigt, erfolgt eine anteilmäßige Kürzung der beantragten Menge. Darüber hinaus muss am Ende eines Wirtschaftsjahres dem Bundessortenamt die in Verkehr gebrachte Menge mitgeteilt werden.

7. Organisation der Produzenten

Derzeit gibt es 2 Verbände. Der VWW (Verband Deutscher Wildsamens- und Wildpflanzenproduzenten) mit derzeit 60 Betrieben und einer Vermehrungsflä-

che von ca. 250 ha. Für die Bereiche Sammlung, Produktion und Qualität erfolgt eine Kontrolle von „ABCert“. Der zweite Verband ist der BDP (Bund Deutscher Pflanzenzüchter).

8. Zusammenfassung

Die Produktion und der Handel mit Wildpflanzensaatgut soll dazu dienen, die Biodiversität und die pflanzengenetischen Ressourcen zu erhalten bzw. zu verbessern. Ein erster Schritt hierzu ist die Möglichkeit Erhaltungsmischungen in den Saatguthandel zu bringen.

9. Literaturangaben

Wieden, M., Guth, A., 2011: Wildpflanzen im öffentlichen Grün: Wildpflanzen aus der Region: Produktion, Zertifikat, Anwendungsbeispiele. Tagung NAH Wetzlar, 31.01.2011.

Amtsblatt der Europäischen Union: Richtlinie 2010/60/EU der Kommission vom 30.08.2010.

Bestimmung der optimalen Keimtemperaturen von Akelei (*Aquilegia vulgaris* L.) und Schlüsselblume (*Primula veris* L.) mittels eines Gradiententisches

S. Kersten, M. Kruse, S. Bopper

Fachgebiet Saatgutwissenschaft und -technologie, Universität Hohenheim

1. Einleitung

Im Zuge von Qualitätsprüfungen bei Wildblumensaatgut wird im Labor die Keimfähigkeit bestimmt. Da Wildpflanzen sehr unterschiedliche Keimungs- und Etablierungsstrategien besitzen, verhalten sie sich bei Saatgutqualitätsuntersuchungen je nach Art und Partie oft verschieden. Bei den beiden vorliegenden Arten Akelei (*Aquilegia vulgaris* L.) und Schlüsselblume (*Primula veris* L.) traten bei diesen Qualitätsuntersuchungen Probleme auf. So konnten unter anderem die vom Saatguthersteller angegebenen Keimfähigkeiten im Labor nicht bestätigt werden. Zielsetzung dieser Arbeit war es, die optimale Keimtemperatur anhand der Keimrate je Art zu bestimmen. Bei der Akelei wurde zusätzlich noch die Keimgeschwindigkeit ermittelt.

2. Material und Methoden

Zur Bestimmung der optimalen Keimtemperatur wurde ein Thermogradiententisch verwendet. Der quadratische Tisch wurde so eingestellt, dass auf der Aluminium-Deckplatte ein linearer Temperaturgradient zwischen 5°C und 25°C herrschte. Der Temperaturgradient wurde nach 8 h bzw. 16 h um 90° gedreht, sodass ein Teil der Samen starken Wechseltemperaturen und ein anderer Teil konstanten Temperaturen ausgesetzt war. Auf der Aluminiumplatte wurde ein Gitter (14 * 14) aufgelegt, welches die Platte in 196 Gittersegmente aufteilt. Über dem Tisch wurde eine Lichtquelle (8 h hell und 16 h dunkel) installiert. Zunächst wurde die Lebensfähigkeit der Samen der beiden Arten mittels einer Tetrazoliumuntersuchung (Akelei: 56 %, Schlüsselblume: 78 %) bestimmt. Dies ermöglichte die Schätzung der durchschnittlichen Anzahl toter Samen auf dem Tisch und wurde in der Analyse der Versuchsergebnisse beachtet.

Mit dieser beschriebenen Konfiguration wurde je Art ein Versuchsdurchlauf durchgeführt. In jedes Gittersegment wurden dabei zehn Samen ausgelegt.

Sobald die Keimwurzel aus den Samen austrat und eine Länge von 1 mm erreicht hatte, wurden die Samen aus dem entsprechenden Gittersegment entnommen und deren Anzahl täglich notiert.

Nachdem bei der Schlüsselblume nach 3,5 Wochen keine Keimung auftrat, konnte aufgrund der Tetrazoliumergebnisse darauf geschlossen werden, dass eine Dormanz vorlag. Diese kann durch eine Vorkühlung gebrochen werden. Um zu testen, ob die 3,5 Wochen im kalten Bereich des Tisches schon als Vorkühlung ausgereicht haben, wurden die Samen dieses Bereichs für eine Woche in einen Keimschrank (16 h: 15°C, 8 h: 25°C, Licht: 8 h) umgestellt. Es konnte keine Keimung beobachtet werden. Deshalb wurden alle Samen bei 8°C gelagert. Die 196 Gittersegmente wurden beschriftet, sodass eine nachträgliche Zuordnung der Samen zu ihrem Platz auf dem Gradiententisch möglich war. Nach 11,5 Wochen begannen die ersten Samen bei 8°C zu keimen. Die Keimung dauerte unter diesen Bedingungen acht Tage an. Nach dieser Zeit wurden die restlichen Samen zu den o. g. Bedingungen in einen Keimschrank umgestellt. Dort fand eine weitere Keimung für 15 Tage statt. Zu jedem Zeitpunkt wurden wie zuvor die gekeimten Samen pro Tag gezählt.

Zur Versuchsauswertung der Akelei-Daten wurde eine Probit-Analyse durchgeführt, um die Keimgeschwindigkeiten (Steigung Probitgeraden) zu schätzen. Ausreißerdaten wurden bei der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt. Die Rohdaten, sowie die Daten der Steigung der Probitgeraden wurden geglättet. Das zu glättenden Gittersegment wurde durch die Werte der 24 umgebenden Segmente geschätzt. Dabei wurden die umgebenden Gittersegmente jeweils entsprechend ihrer Entfernung gewichtet.

3. Ergebnisse

Die Keimung der Akelei erfolgte vom 7. bis zum 25. Tag. Die beiden horizontalen Achsen aller folgenden Abbildungen zeigen den Temperaturgradient und dessen jeweilige Dauer. Auf der senkrechten Achse ist in Abbildung 1 die Summe der gekeimten Samen nach Versuchsende zu sehen.

In Abbildung 1 ist zu erkennen, dass die meisten Samen unter Wechseltemperaturen keimten, wohingegen die Diagonale mit den konstanten Temperaturen einen deutlichen Abfall in der Keimrate zeigt. Das globale Optimum der Abbil-

dung 1 liegt bei 16 h: 8,1°C und 8 h: 25°C mit einer Anzahl von acht gekeimten Samen. Somit liegen die besten Ergebnisse in dem Temperaturbereich, wo 16 h lang kühlere Temperaturen und 8 h lang wärmere Temperaturen vorherrschen. Auffällig ist, dass die Bereiche mit extremen Wechseltemperaturen sich als äußerst günstig erwiesen. Die Temperaturdifferenzen, die zu den besten Ergebnissen geführt haben, bewegten sich bei etwa 15°C.

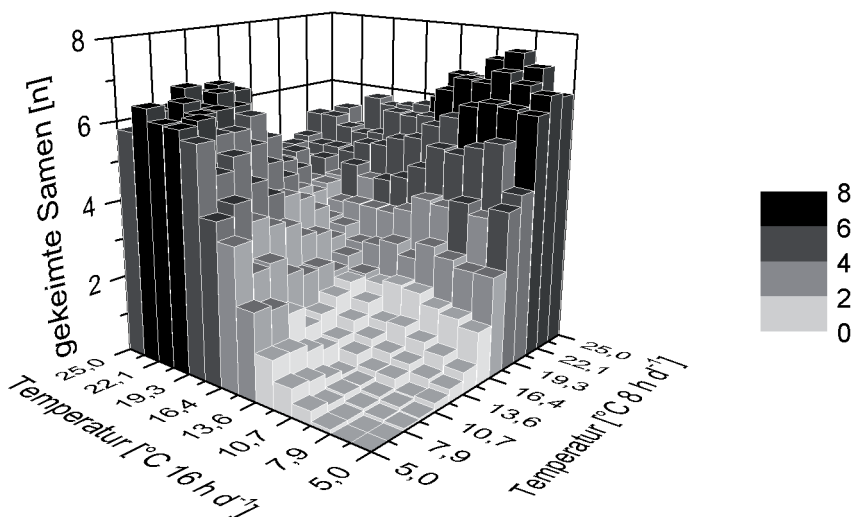


Abb. 1: Darstellung der geglätteten Daten der Anzahl gekeimter Samen der Akelei zu Versuchsende (25. Tag)

Die Steigung der Probitgeraden gibt Aufschluss über die Geschwindigkeit der Keimung. Je steiler eine Gerade verläuft, desto schneller war die Keimung. Die Einheit der senkrechten Achse in Abbildung 2 ist Probit pro Tag.

In Abbildung 2 kann man ein Optimum im Randbereich bei einer Temperatur von 16 h: 15,8°C und 8 h: 25°C erkennen. Das Gebiet, welches die schnellste Keimgeschwindigkeit aufweist, befindet sich in einem Abschnitt des Tisches mit kleineren Temperaturdifferenzen von etwa 10°C.

Die Keimung der Schlüsselblume begann nach elf Wochen und vier Tagen. Die gesamte Keimdauer betrug 23 Tage. Die senkrechte Achse der Abbildung 3 zeigt die aufsummierte Anzahl der gekeimten Samen der Schlüsselblume.

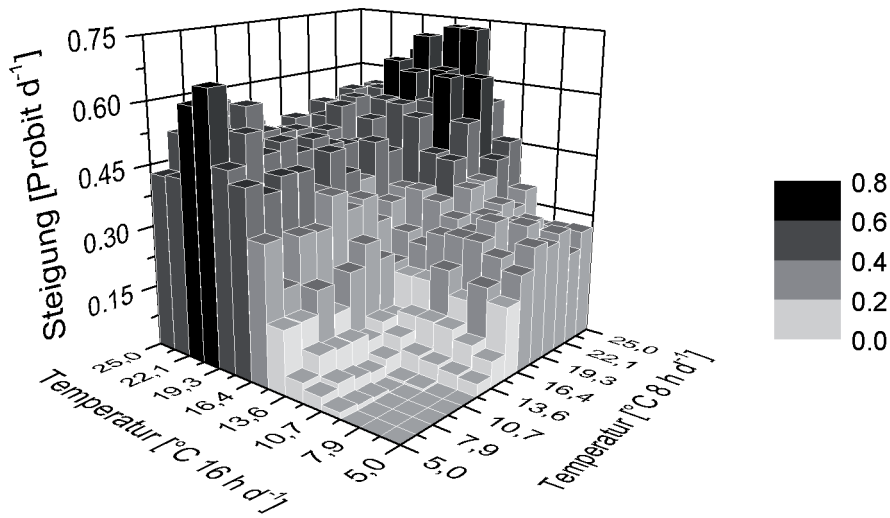


Abb. 2: Darstellung der geglätteten Keimgeschwindigkeiten für die Keimung der Akelei

Es keimten im Kühlschrank zuerst jene Samen der Schlüsselblume, welche zuvor in der kühleren Tischhälfte des Gradiententisches lagen. Dort herrschten während der 16 h Temperaturen unterhalb von 14,2°C. In Abbildung 3 ist zu erkennen, dass über den gesamten Zeitraum der Keimung in diesem Bereich auch die höchsten Keimraten erreicht wurden. Das Optimum liegt bei Wechseltemperaturen zwischen 16 h: 5°C und 8 h: 14,2°C mit sechs gekeimten Samen während der Versuchsdauer. Es ist zu beachten, dass bei der Keimung der Schlüsselblume die höchsten Keimungsraten im Randbereich des auf dem Gradientisch eingestellten Temperaturspektrums liegen.

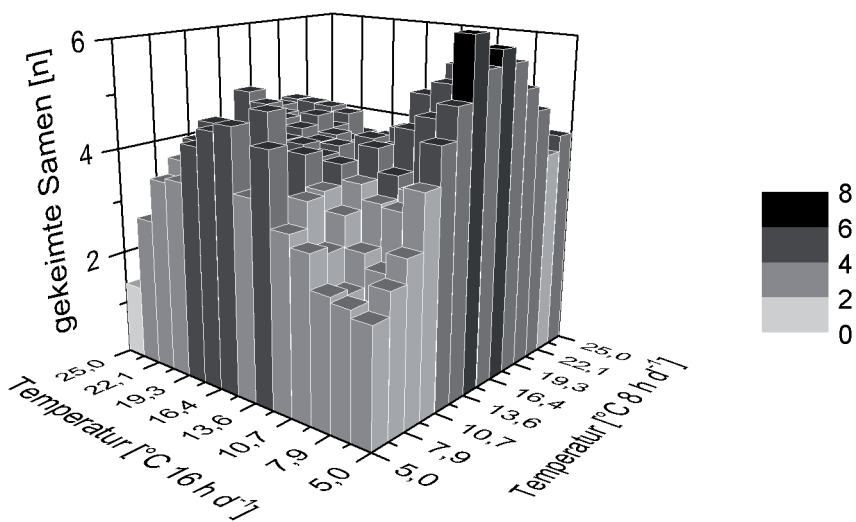


Abb.3: Darstellung der geglätteten Daten der Anzahl gekeimter Samen der Schlüsselblume zu Versuchsende (23. Tag)

4. Diskussion

4.1 Akelei

Das Optimum, bei dem die höchste Keimrate erreicht wurde, war bei der Wechseltemperatur 16 h: 8,1°C und 8 h: 25°C. Auch wenn bei konstanten Temperaturen der Beginn der Keimung früher stattfand, so konnten dort dennoch nicht so hohe Keimraten erreicht werden wie im Bereich der Wechseltemperaturen. Nach Medrano et al. (2006) ist die Akelei eine weit verbreitete, mehrjährige winterannuelle Staude, die in der Natur in eurasischen Bergwäldern, offenen Waldgebieten und Wiesen vorkommt. Da die Keimung der Akelei im Spätsommer stattfindet, zeigt die Akelei mit der besten Keimrate im Bereich von 16 h: 8,1°C und 8 h: 25°C eine gute Anpassung an das gemäßigte Klima im Spätsommer. Auch die Keimgeschwindigkeit war unter Wechseltemperaturen wesentlich höher. Allerdings liegen die optimalen Keimtemperaturen für eine hohe Keimgeschwindigkeit bei 16 h: 15,8°C und 8 h: 25°C. Nach der Reaktionsgeschwindigkeitstemperatur-Regel verdoppeln sich bei einer Temperaturerhöhung um 10°C sämtliche Stoffwechselprozesse (Kleesattel, 2005). So lässt sich die schnellere Keimge-

schwindigkeit bei höheren Temperaturen während der 16 h erklären. Allerdings wurden in diesem Bereich weniger Samen zur Keimung angeregt. Dies könnte damit zusammenhängen, dass weniger Samen bei diesen Wechseltemperaturen keimen können, aber wenn sie keimen, dann schnell.

Ein nicht-dormanter Same, welcher aufgrund der Abwesenheit einer oder mehrerer Umweltfaktoren nicht keimt, wird als quieszent bezeichnet. Dieser Same wird keimen, sobald die Umweltfaktoren für die entsprechende Art passend sind (Baskin und Baskin, 2004). Man kann davon ausgehen, dass die Samen der Akelei, welche im kalten Bereich des Tisches lagen und keine Keimung aufwiesen, quieszent waren. Aufgrund der Diversität der verschiedenen Samen der Probe, verläuft der Übergang zum Temperaturbereich, in welchem die Samen optimale Bedingungen für die Keimung vorfanden, fließend. So war ein Teil der Samen in den Bereichen, wo die Keimtemperaturen ungünstiger wurden, noch in der Lage, unter diesen Bedingungen zu keimen und ein gewisser Teil wiederum unter diesen Bedingungen bereits quieszent. Es ist zu beachten, dass nach der Tetrazoliumuntersuchung 44 % der Samen tot waren und dieser Teil somit ebenfalls keine Keimung aufweisen konnte.

Aus den gezeigten Ergebnissen resultiert die Empfehlung, die Samen der Akelei bei Wechseltemperaturen für 16 h: 12°C und 8 h: 25°C auszulegen. Dazu wurden die optimalen Temperaturen für die höchste Keimrate und die schnellste Keimgeschwindigkeit gemittelt. Wenn allerdings allein eine hohe Keimrate erreicht werden soll und die Zeit bis die Keimung abgeschlossen ist keine Rolle spielt, sollten die Samen für 16 h: bei 8,1°C und für 8 h: bei 25°C ausgelegt werden.

4.2 Schlüsselblume

Während der ersten elf Wochen und vier Tagen fand bei der Schlüsselblume keine Keimung statt. Dies hängt damit zusammen, dass die frischen Samen der Schlüsselblume eine primäre Dormanz aufweisen und erst eine Vorkühlung benötigen um zu keimen (Milberg, 1994). Des Weiteren werden die Samen im späten Frühjahr bis frühen Sommer erneut dormant und weisen somit ab dieser Zeit eine sekundäre Dormanz auf, welche erst in dem folgenden Winter wieder abgebaut wird (Milberg, 1994). Nach Baskin und Baskin (1998) ist dies der typische Dormanzzyklus einer sommerannuellen Art, welcher in erster Linie durch die saisonalen Temperaturschwankungen beeinflusst wird.

Obwohl die Samen der Schlüsselblume während der Zeit im Kühlschrank und danach im Keimschrank alle unter gleichen Bedingungen lagen, wiesen sie eine sehr unterschiedlich hohe Keimung auf. Dies kann nur auf die 3,5 Wochen zurückgeführt werden, die die Samen zu Beginn des Versuchs auf dem Gradiententisch gelegen haben. So wirkten sich Wechseltemperaturen in eingequollenem Zustand der Samen positiver auf die Keimrate aus als konstante gleichbleibende Temperaturen. Milberg (1994) testete in seinem Experiment Schlüsselblumensamen bei zehn unterschiedlichen konstanten Temperaturen zwischen 5°C und 30°C nach einer Vorkühlung von vier Monaten bei 2°C. Bei 15°C konnte er so die höchste Keimrate von 30% erzielen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen dieser Arbeit, in welcher, wenn man nur die konstanten Temperaturen betrachtet, die Keimraten ebenfalls bei 15°C am besten waren und zwischen 30% und 40% lagen. Betrachtet man aber die Keimerggebnisse bei Wechseltemperaturen, so konnten dort die Keimraten der konstanten Temperaturen deutlich übertroffen werden und Keimraten zwischen 60% und 70% erreicht werden. Die Anzahl der gekeimten Samen erreicht unter Wechseltemperaturen fast die zuvor festgestellte Anzahl an lebensfähigen Samen von 78%. Da allein die 3,5 Wochen auf dem Gradiententisch unter Wechseltemperaturen wesentlich höhere Keimraten hervorrufen konnten, besteht die Möglichkeit, dass Wechseltemperaturen während der gesamten Vorkühlungszeit die Keimrate weiter erhöhen könnten.

Aufgrund der bisherigen Ergebnisse kann somit für die Schlüsselblume das Auslegen der Samen zur Vorkühlung unter Wechseltemperaturen bei 16 h: 5°C und 8 h: 15,8°C empfohlen werden. Zur Keimung haben sich Temperaturen im Keimschrank von 16 h: 15°C und 8 h: 25°C bewährt, es besteht aber auch die Möglichkeit die Samen während der gesamten Dauer der Keimung unter den empfohlenen Wechseltemperaturen der Vorkühlung zu belassen.

5. Zusammenfassung

Die Akelei (*Aquilegia vulgaris* L.) erreichte im gezeigten Versuch die höchste Keimrate unter Wechseltemperaturen von 16 h: 8,1°C und 8 h: 25°C und die schnellste Keimgeschwindigkeit bei 16 h: 15,8°C und 8 h: 25°C. Damit zeigt sie eine gute Anpassung an ihr natürliches Verbreitungsgebiet. Auch wenn unter konstanten Bedingungen die Keimung früher begonnen hat, als unter Wechseltemperaturen, so konnten dort nur sehr geringe Keimraten erreicht werden.

Bei der Schlüsselblume (*Primula veris* L.) musste zunächst die primäre Dormanz überwunden werden. Dafür benötigt sie eine Vorkühlung (Milberg, 1994). Wechseltemperaturen von 16 h: 5°C und 8 h: 15,8°C während der 3,5 Wochen auf dem Gradiententisch wiesen die beste Keimrate von sechs Samen auf. Während der Behandlung mit Wechseltemperaturen befanden sich die Samen in dormantem Zustand. Da diese Zeit der Vorbehandlung unter Wechseltemperaturen gemessen an den 11,5 Wochen bis zur ersten Keimung relativ kurz war, kann man davon ausgehen, dass bei längerer Behandlung unter diesen Temperaturen noch bessere Keimraten erzielt werden können. Allein die Lebensfähigkeit der Schlüsselblumensamen von 78 % beweist, dass bisher auch bei den besten Keimraten auf dem Gradiententisch ein Teil der Samen dormant geblieben ist.

6. Literatur

- Baskin, C., Baskin, J., 1998: Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San-Diego.
- Baskin, J., Baskin, C., 2004: A classification System for seed dormancy. Seed Sci. Res. 14, 1-16.
- Kleesattel, W., 2005: Pocket Teacher - Sekundarstufe I: Biologie. Cornelsen Verlag, Berlin.
- Medrano, M., Castellanos, M., Herrera, C., 2006: Comparative floral and vegetative differentiation between two. Plant Syst. Evol. 262, 209-224.
- Milberg, P., 1994: Germination ecology of the polycarpic grassland perennials *Primula veris* and *Trollius europaeus*. Ecography 17, 3-8.

Sauerstoffverbrauch keimender und dormanter Salatsamen

S. Bopper, M. Kruse

Fachgebiet Saatgutwissenschaft und -technologie, Universität Hohenheim

1. Einleitung

Salatsamen nehmen während eines Keimversuchs Sauerstoff und Wasser zunächst durch einfache Diffusion auf. Bereits kurz nach der Quellung beginnt bei keimenden Salatsamen die Aktivierung der Stoffwechselprozesse, welche für eine erfolgreiche Keimung und anschließende Keimlingsentwicklung nötig sind. Sauerstoff ist hierbei als Elektronenakzeptor in der Atmungskette und damit für die Energiegewinnung der Salatsamen und Keimlinge unersetzlich. Dormante Salatsamen nehmen ebenfalls Sauerstoff und Wasser auf, der Keimungsstoffwechsel ist hingegen blockiert. Nach den Internationalen Vorschriften für die Prüfung von Saatgut (ISTA, 2009) werden solche Samen im Kapitel Keimfähigkeitsbestimmung als „Frische Samen“ bezeichnet.

Das Ziel des hier vorgestellten Projekts war es, den Sauerstoffverbrauch keimender und eingequollener, dormanter Salatsamen zu messen und zu vergleichen. Hieraus sollte abgeleitet werden, wie stoffwechselaktiv dormante Samen sind und welchen Sauerstoffbedarf die Keimung (Keimungsstoffwechsel) selbst verursacht. Für diese Versuche wurde die Art Salat (*Lactuca sativa* L.) gewählt, da die Samen (Achänen) durch Dunkelrot-Licht mühelos in eine sekundäre Dormanz gebracht werden können. Dafür war eine Modifikation des Messgeräts Q2-Scanner (ASTEC Global, Niederlande), mit welchem der Sauerstoffverbrauch einzelner keimender Samen gemessen werden kann, notwendig.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an Saatgut von drei Salatpartien aus dem Erntejahr 2010 durchgeführt. Es handelte sich hierbei um Partien dreier auf dem Markt befindlicher Sorten. Die Qualität des Saatguts war generell hoch und miteinander vergleichbar. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Qualitätsparameter.

Tab. 1: Saatgutqualität des verwendeten Saatguts

Sorte	TKM [g]	SFG [%]	Keimfähigkeit [%]	
			normal	anomal
Calmar	0,9	6,2	95	5
Edox	0,9	5,6	97	3
Sylvesta	1,1	5,3	99	1

Mit dem o. g. Messgerät ist es möglich, den relativen Sauerstoffgehalt in einem hermetisch verschlossenen Volumen zu messen. Das Messprinzip beruht hierbei darauf, dass die Fluoreszenz eines Indikators gemessen wird. Der Indikator befindet sich innerhalb des Volumens und durch eine Abnahme des rel. Sauerstoffgehalts ändert sich dessen Fluoreszenz. Eine Software leitet aus dieser Fluoreszenzänderung den rel. Sauerstoffgehalt innerhalb des Messvolumens ab. Bei den hier vorgestellten Versuchen wurde der Sauerstoffgehalt in 30-minütigen Abständen für die Dauer von 140 h gemessen. Weiter erstellt die Software nach Abschluss der Messung für jedes Volumen eine Q2-Verbrauchskurve, der die Abnahme des relativen Sauerstoffgehalts pro Zeiteinheit und Messvolumen zu entnehmen ist.

Es wurden pro Partie für die Messung des Sauerstoffverbrauchs zufällig 192 Samen einzeln in Mikroröhrchen eingeschlossen und zum Keimen gebracht. Als Keimsubstrat diente eine definierte Menge einer 0,8 %igen Agar-Lösung. Das Volumen dieser war so bemessen, dass einem Samen nach Verschließen eines Röhrchens ca. 700 μ l Luft zu Verfügung stand. Die Keimtemperatur betrug ca. $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Für die Messung des Sauerstoffverbrauchs von dormanten Salatsamen wurden diese mit Hilfe einer künstlichen Lichtquelle (GreenPower LED module HF far red, Philips Deutschland GmbH, Hamburg) in einen Zustand der sekundären Dormanz versetzt. Die Lichtquelle emittiert Licht einer Wellenlänge von 740 ± 10 nm (Dunkelrot). Genau auf dieses Licht reagiert ein Photorezeptor-Protein im Samen: das Phytochrom. Dieses Protein kann in zwei verschiedenen Konformationen vorliegen, in einer physiologisch aktiven oder in einer inaktiven Form. Die aktive Form hat ein Absorptionsmaximum bei 730 nm und wechselt in die physiologisch inaktive Form, wenn es mit Licht dieser Wellenlänge bestrahlt wird. Licht der Wellenlänge von 660 nm bewirkt Gegenteiliges. Die inaktive Form verhindert in quellenden Samen eine Aktivierung des Keimungsstoffwechsels

(Devlin, 2006). Durch eine permanente Bestrahlung der Samen während der Messung wurde somit erreicht, dass das Protein überwiegend in der inaktiven Form vorlag und die Samen somit nicht keimten.

Insgesamt wurden drei Q2-Messdurchläufe durchgeführt. Der erste Durchlauf hatte das Ziel, den Sauerstoffverbrauch von toten Samen zu bestimmen. Hierfür wurde Saatgut durch eine Hitzebehandlung bei 130°C für die Dauer von sieben Tagen abgetötet. Anschließend wurde, wie oben beschrieben, eine Q2-Messung unter normalen Lichtbedingungen vorgenommen. Nach Abschluss der Messung wurden die Röhrchen wieder geöffnet und eine visuelle Bonitur der Samen durchgeführt. Teilweise wiesen die Samen einen Pilzbefall auf. Für die weiteren Berechnungen wurden daher nur die Q2-Verbrauchskurven von jenen Samen verwendet, die keinen Pathogenbefall aufwiesen.

Für den zweiten Durchlauf wurde eine Q2-Messung an Saatgut ohne jegliche Vorbehandlung auch unter normalen Lichtbedingungen durchgeführt. Nach Abschluss der Messung wurde wieder eine visuelle Bonitur durchgeführt und nur solche Q2-Kurven von Röhrchen verwendet, in welchen sich ein Keimling entwickelt hatte.

Beim dritten Durchlauf nun wurde das Q2-Gerät mit der oben beschriebenen Lichtquelle modifiziert, so dass die Samen in den Röhrchen ausschließlich und andauernd für ca. 210 h mit dunkelrotem Licht bestrahlt wurden. Nach dieser Zeit wurde die Dunkelrotlichtquelle abgeschaltet und die Messung für einige Stunden unterbrochen. Es wurde dann an den verschlossenen Röhrchen eine visuelle Bonitur durchgeführt, um später nur von solchen Röhrchen die Q2-Kurven zu verwenden, die zu diesem Zeitpunkt keinen Pathogenbefall aufwiesen. Durch die dann herrschenden normalen Lichtbedingungen – u. a. mit Licht der Wellenlänge von 660 nm – wurde die inaktive Form des Phytochroms wieder aktiviert. Die aktive Form verursachte wiederum eine Aktivierung des Keimungsstoffwechsels.

Für alle drei Messdurchläufe wurde jeweils mit Hilfe einer Statistiksoftware eine gemittelte partiespezifische Q2-Verbrauchskurve berechnet. Für die Mittelwertberechnung wurden nur solche Q2-Kurven berücksichtigt, welche nicht durch die Bonituren ausgeschlossen wurden. Im Extremfall mussten in einem Durchlauf bei einer Partie 63 Kurven ausgeschlossen werden. In diesem Fall konnten nur noch 129 der 192 Kurven berücksichtigt werden.

3. Ergebnisse

Die partiespezifischen Q2-Verbrauchskurven der beiden ersten Q2-Messdurchläufe sind in Abbildung 1 dargestellt. Der y-Achse ist der rel. Sauerstoffgehalt in Prozent [%] und der x-Achse die Messdauer in Stunden [h] zu entnehmen. Die drei grauen Kurven der hitzebehandelten Samen zeigen für die Dauer von 140 h eine kaum festzustellende Abnahme des relativen Sauerstoffgehalts. Ihre Kinetik ist beinahe linear ohne Steigung, daraus lässt sich ableiten, dass im Messvolumen kaum Sauerstoff verbraucht wurde. Nur gegen Ende der Versuchszeit ist eine sehr geringe Abnahme zu beobachten. Des Weiteren sind die drei Kurven nahezu deckungsgleich und daher nicht visuell voneinander zu unterscheiden.

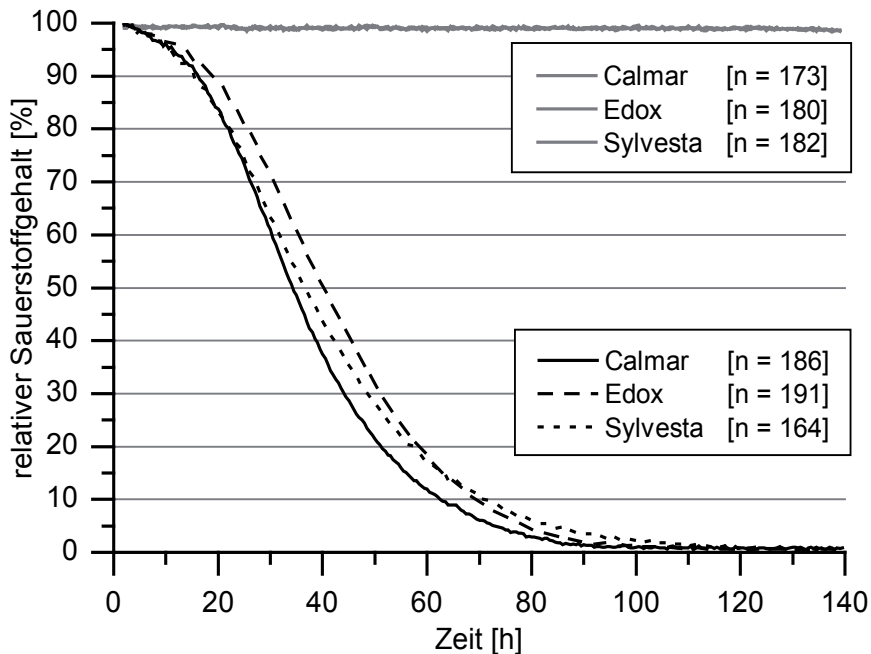


Abb. 1: Gemittelte Q2-Verbrauchskurven dreier Partien Salatsaatgut für zwei verschiedene Versuchsdurchläufe (graue Linien: Versuch mit Samen nach einer Hitzebehandlung, schwarze Linien: unbehandeltes Saatgut; n: Anzahl Beobachtungen)

Die drei schwarzen Kurven in Abbildung 1 zeigen eine typisch sigmoide Kinetik eines biologischen Prozesses. Bereits kurz nach dem Zeitpunkt 0 h – dem Zeit-

punkt des Verschlusses der Röhren und dem Messbeginn – ist eine Abnahme des rel. Sauerstoffgehalts zu beobachten. Die Krümmungen der Kurven halten ca. für 20 h an und gehen dann in einen linear abfallenden Kurventeil über. Dieser lineare Kurventeil endet auch wieder nach ca. 20 h und die Kurven nähern sich beinahe asymptotisch der x-Achse. Nach ungefähr 120 h wurde der gesamte Sauerstoff im Messvolumen verbraucht und die Kurven zeigen einen relativen Sauerstoffgehalt von 0 % an. Zu diesem Zeitpunkt hat sich in den Röhren ein kleiner Salatkeimling entwickelt, der aber auf Grund des hohen Sauerstoffstresses – ihm steht nämlich kein Sauerstoff mehr zur Verfügung – seine Entwicklung weitestgehend eingestellt hat.

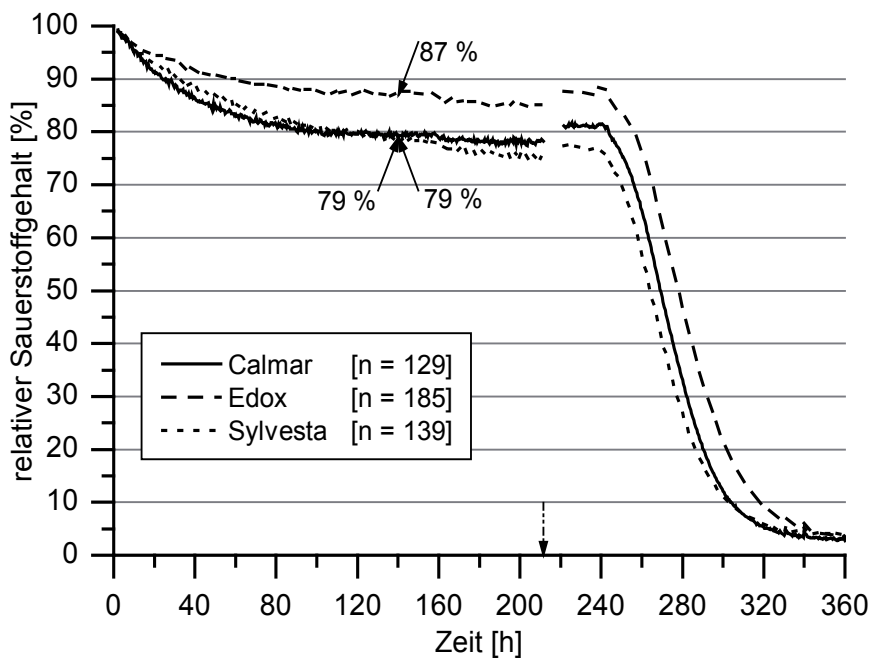


Abb. 2: Gemittelte Q2-Verbrauchskurven dreier Partien Salatsaatgut für die Dauer von 210 h bei Dunkelrotlicht mit anschließender Messung bei normalen Lichtbedingungen bis 360 h (der Strich-Punkt-Pfeil markiert den Zeitpunkt des Abschaltens der Dunkelrotlichtquelle, die übrigen Pfeile zeigen jeweils den rel. Sauerstoffgehalt nach 140 h an; n: Anzahl Beobachtungen)

Es ist festzuhalten, dass hitzebehandelte Salatsamen im gezeigten Versuch kaum Sauerstoff verbrauchen. Hingegen verbrauchen Salatsamen, aus denen sich ein Keimling entwickelt, nach 140 h den gesamten zur Verfügung stehenden Sauerstoff.

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse des dritten Q2-Messdurchlaufs dargestellt. Für die Zeit bis 210 h ist der Sauerstoffverbrauch von eingequollenen, sekundär dormanten Salatsamen zu sehen. Auch hier ist bereits kurz nach dem Zeitpunkt 0 h eine Abnahme des relativen Sauerstoffgehalts bei allen drei Partien ersichtlich. Die Kurven flachen aber nach 80 h ab und gehen in eine Plateau-Phase über. Sie haben in dieser Phase eine sehr geringe negative Steigung. Diese Plateau-Phase ist bis zum Ende der Dunkelrotlichtbestrahlung zu beobachten. Nach Aktivierung des Keimungsstoffwechsels zeigen alle drei Kurven eine sehr ähnliche Kinetik wie die zuvor beschriebenen schwarzen Kurven der keimenden Samen in Abbildung 1. Deutlich ist in Abbildung 2 die total verschiedene Verbrauchskinetik für die Zeit ohne Keimungsstoffwechsel (< 210 h) und die Zeit mit Keimungsstoffwechsel (> 210 h) sichtbar.

Der relative Sauerstoffgehalt keimender Samen, also jener mit aktivem Keimungsstoffwechsel, betrug für alle drei Partien in Abbildung 1 nach 140 h 0 %. Im direkten Vergleich zu diesem Zeitpunkt wiesen die sekundär dormanten Samen mit inaktivem Keimungsstoffwechsel hingegen einen relativen Sauerstoffgehalt von 79-87 % auf (Abb. 2). Infolge der Einquellung sekundär dormanter Samen verbrauchten die Sorten Calmar und Sylvesta 21 % und Edox 13 % Sauerstoff. Dem gegenüber stehen die zuvor beschriebenen Werte von 0 %. Daraus lässt sich ein Sauerstoffverbrauch infolge der Aktivierung des Keimungsstoffwechsels für die drei Sorten ableiten. Dieser betrug für Calmar und Sylvesta 79 % und für die Sorte Edox 87 %.

4. Diskussion

Bewley und Black (1982) beschreiben die Ergebnisse verschiedener Autoren zur Untersuchung des Sauerstoffverbrauchs eingequollener dormanter Salatsamen. Die Methodik der Verbrauchsmessung ist zwar nicht mit der hier vorgestellten vergleichbar – der Verbrauch wurde in $\mu\text{l O}_2 \text{ h}^{-1} 100 \text{ Samen}^{-1}$ gemessen – aber die Verbrauchskinetik ist es durchaus. Die Autoren beschreiben auch kurz nach der Quellung einen Anstieg des Verbrauchs für 2 h mit einer anschließenden

Plateau-Phase mit stagnierendem Verbrauch. Allerdings wurde die Messung nach 12 h beendet. In dem hier vorgestellten Projekt hingegen war eine Messung für die Dauer von 210 h möglich. Der stagnierende Sauerstoffverbrauch konnte in dem hier vorgestellten Versuch ebenfalls beobachtet werden. Dies ist in Übereinstimmung mit den Beobachtungen der Autoren um Powell (1983, 1984), die auch eine Abnahme des Sauerstoffverbrauchs von eingequollenen, sekundär dormanten Samen beschreiben.

Insgesamt ist es schwierig, den hier berechneten Sauerstoffverbrauch infolge des aktivierten Keimungsstoffwechsels in Höhe von 79 bzw. 87 % alleinig diesem Stoffwechselprozess zuzuordnen. Mit dem Q2-Messgerät ist es nicht möglich, zwischen Sauerstoffverbrauch aufgrund von Stoffwechselprozessen und Verbrauch aufgrund von Oxidationsreaktionen zu unterscheiden. Diese Reaktionen sind gerade in totem Gewebe der Salatfrucht nicht auszuschließen. Ebenfalls beschreiben Bewley und Black (1982) diese Unmöglichkeit des Unterscheidens bei den von ihnen vorgestellten Ergebnissen. Weitere Sauerstoffverbraucher sind wachsende Pilze, deren Verbrauch die Q2-Technologie nicht von den übrigen trennen kann. Sporen der Pilze haften am Samen an und gelangen somit in das Messvolumen. Nur wenn die Pilze deutlich in den Röhrchen gewachsen und visuell sichtbar waren, konnten solche Röhrchen von einer weiteren Analyse der Q2-Verbrauchskurven ausgeschlossen werden. Generell ist aber festzuhalten, dass eingequollene dormante Samen Sauerstoff verbrauchen. Dies zeigten die Ergebnisse im vorgestellten Projekt und auch jene der anderen Autoren.

5. Zusammenfassung

Die vorgestellte Modifikation der Q2-Methode ermöglicht eine Messung des Sauerstoffverbrauchs sekundär dormanter Salatsamen während der Quellung. Nach 140 h verbrauchen keimende Salatsamen den gesamten zur Verfügung stehenden Sauerstoff. Im Gegensatz dazu haben eingequollene, sekundär dormante Samen nur einen Teil dessen verbraucht und die Sauerstoffaufnahme deutlich reduziert. Die Verbrauchskinetiken sind erkennbar verschieden. Eingequollene Salatsamen, bei denen der Keimungsstoffwechsel ausgeschaltet ist, verbrauchen ca. 20 % des zur Verfügung stehenden Sauerstoffs. Mit der gezeigten Methode ist es nicht möglich, zwischen dem Sauerstoffverbrauch aufgrund von Stoffwechselprozessen, Oxidationsreaktionen oder Pilzwachstum zu unterscheiden.

6. Literatur

- Bewley, J.D., Black, M., 1982: Metabolism of Dormant and After-ripened Seeds. In: Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination, Band 2, 200-204, Springer-Verlag, Berlin.
- Devlin, P., 2006: Phytochrome. In: The Encyclopedia of Seeds: Science, Technology and Uses. Black, M., Bewley, J.D., Halmer, P. (Hrsg.), CABI, Wallingford.
- International Seed Testing Association (ISTA) (Hrsg.), 2009: Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut. Bassersdorf, Schweiz.
- Powell, A.D., Dulson, J., Bewley, J.D., 1984: Changes in germination and respiratory potential of embryos of dormant Grand Rapids lettuce seeds during long-term imbibed storage, and related changes in the endosperm. *Planta*, 162, 1, 40-45.
- Powell, A.D., Leung, D.W.M., Bewley, J.D., 1983: Long-term storage of dormant Grand Rapids lettuce seeds in the imbibed state: physiological and metabolic changes. *Planta*, 159, 2, 182-188.

Sind die zulässigen Keimfähigkeitsabweichungen für Getreideanbauer relevant?

W. Jackisch¹, L. Boese¹, B. Krellig²

¹Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Bernburg, ²Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen

1. Einleitung

Bei der Saatgutverkehrskontrolle und der betrieblichen Eingangskontrolle von Saatgutlieferungen wird unter anderem die Differenz zwischen zertifizierter und aktuell ermittelter Keimfähigkeit (KF) erfaßt. Die Bewertung erfolgt nach Toleranztabellen die vorwiegend auf statistischen Grundsätzen für die Prüfmethodik unter Laborbedingungen basieren. Aus der Sicht des Getreideanbauers führt diese Bewertung von Keimfähigkeitsdifferenzen zwischen zertifizierten und ermittelten Werten zu Widersprüchen, denn nach den Bewertungsmaßstäben gilt ‚je geringer die Attest-KF desto größer die tolerierte KF-Abweichung‘. Um die maximal zulässigen Abweichungen nicht allein mit statistischen Ansätzen aus der Saatgutprüfung zu begründen, sollten speziell pflanzenbauliche Erkenntnisse der Ertragsabhängigkeit von der Saatstärke berücksichtigt werden. Nachdem bereits quantitative Schätzungen der Ertragseffekte für Weizen bei abweichenden KF-Ergebnissen von den attestierten KF-Werten erfolgten (Jackisch, et al., 2010), werden in diesem Beitrag entsprechende Schätzungen für Wintergerste und Winterroggen vorgenommen. Den Analysen liegen Ergebnisse aus Saatstärken-Feldversuchen von einem Standort in Sachsen-Anhalt zugrunde.

2. Material und Auswertungsmethodik

Ergebnisse von Feldversuchen aus den Jahren 2000 bis 2003 über die Abhängigkeit des Kornertrages von der Saatstärke und Saatzeit mit vier Sorten Wintergerste und zwei Hybridsorten Winterroggen liefern die Datensätze für Sekundärauswertungen (Tab. 1). Das Versuchssaatgutes wies KF $\geq 94\%$ auf.

Tab. 1: Kornerträge (dt/ha) in Abhängigkeit von der Saatstärke (keimfähige Körner/m²) im Mittel der Versuchsjahre bei Wintergerste 2000/02 aus vier Saatzeiten und bei Roggen 2000/03 aus fünf Saatzeiten nach Boese (2007)

Art/Sorte	100 Kö/m ²	200 Kö/m ²	300 Kö/m ²	400 Kö/m ²
Wintergerste				
Aviron	-	89,9	94,0	95,4
Carola	-	95,2	97,8	99,5
Regina	-	86,5	89,4	91,1
Duet	-	82,2	85,5	87,8
Hybrid-Winterroggen				
Avanti	78,7	86,0	88,6	90,1
Ursus	80,2	87,3	90,7	92,8

Der Einfluß der Saatstärke x auf den Kornertrag y der einzelnen Sorten wird mittels Regressionsanalysen aus den Versuchs- und Jahresmitteln quantifiziert. Für die Kalkulation der Beziehungen werden das lineare $y = a + bx$ und ein asymptotisches Modell $y = a e^{-b/x}$ (Myers, 1990) genutzt; die statistische Abhängigkeit zwischen Saatstärke und Kornertrag wird mit der Prüfwahl t und mit der Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,10$ getestet (Rasch, 1988). Die abgeleiteten Regressionsfunktionen dienen der Schätzung der Ertragseffekte bei negativen KF-Abweichungen von dem attestierten KF-Wert.

3. Sekundäranalysen

3.1 Schätzung der Ertragseffekte von abweichenden Keimfähigkeiten gegenüber den Attestwerten bei Gerste

Die Erträge der geprüften Sorten sind signifikant verschieden, bei den mehrzeiligen Sorten (Aviron, Carola) deutlich höher als bei den zweizeiligen Sorten (Regina, Duet). Unabhängig vom Sortentyp gleichen beide Regressionsmodelle die Versuchsdaten für alle vier Sorten gut aus (Abb. 1). Die modellierten Ertragskurven basieren auf den dreijährigen Ertragsmitteln der Versuchsserie unter Einbeziehung aller Saatzeiten. Sowohl Jahre und Saatzeiten veränderten nicht den Wirkungstrend der Saatstärke auf die Erträge. Mit zunehmender Saatstärke erhöhte sich der Kornertrag unabhängig vom Ertragsniveau des Jahres und der

Saatzeit bis 400 Kö/m², wobei mit steigender Saatstärke der Ertragszuwachs ständig kleiner wurde. Das asymptotische Modell weist tendenziell etwas höhere Korrelationskoeffizienten auf als das lineare, der niedrigste Korrelationskoeffizient war $r = 0,962$ bei der Sorte Aviron. Nach den statistischen Tests wird die Ertragsabhängigkeit von der Saatstärke bei allen vier Sorten bestätigt ($t_{\text{beob.}} > t_{\text{krit.}} = 3,08$).

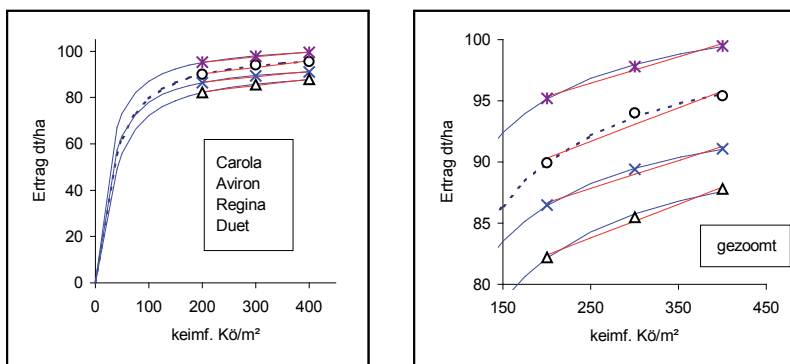


Abb. 1: Abhängigkeit der Kornerträge von der Saatstärke bei vier Sorten Wintergerste im Mittel der Prüffahre 2000-2002 (gestrichelte Linie asymptotisches Modell; durchgehende Linie lineares Modell)

Weicht die tatsächliche Keimfähigkeit des gelieferten Saatgutes negativ vom attestierten KF-Wert ab, so ist die Anzahl keimfähiger Körner/m² geringer als beabsichtigt. Für die Schätzung der Ertragseffekte abweichender Keimfähigkeiten von den etikettierten KF-Werten dienen die ermittelten Regressionsfunktionen.

Fallbeispiel 1: Gegeben sind die Attestwerte einer Saatgutpartie Wintergerste: KF = 95 %, TKM = 35 g. Angestrebte Saatstärke: 380 keimfähige Körner/m². Berechnete Saatmenge: 140 kg/ha. Wenn die Saatgutpartie jedoch tatsächlich eine geringere Keimfähigkeit von beispielsweise 3 %, 5 %, 7 % oder 10 % aufweist, die Aussaat aber gemäß den Attestwerten kalkuliert und mit 140 kg/ha erfolgte, dann werden nicht 380 keimfähige Kö/m² sondern je nach KF-Abweichung 368, 360, 352 bzw. 340 keimfähige Kö/m² gedrillt. Nach den abgeleiteten asymptotischen und linearen Regressionsfunktionen sind die erwarteten negativen Ertragseffekte für die einzelnen Sorten in Tabelle 2 ausgewiesen.

Tab.2: Geschätzte Ertragsminderungen bei abweichenden Keimfähigkeiten vom Attestwert (KF = 95 %) bei vier Sorten Wintergerste nach dem asymptotischen und linearen Regressionsmodell

Sorte	Regressionsgleichung	Attest-KF:		tatsächl. KF der Partie in %		
		95%	92 (- 3%)	90 (- 5%)	88 (- 7%)	85 (-10%)
		Ziel:				
		380 Kö/m ²	368	360	352	340
asymptotische Funktion		dt/ha	geschätzte Ertragsminderung (dt/ha)			
Aviron	$y = 101,53 \cdot e^{-(24,19/x)}$	95,3	0,2	0,3	0,5	0,7
Carola	$y = 103,90 \cdot e^{-(17,61/x)}$	99,2	0,1	0,3	0,4	0,5
Regina	$y = 95,87 \cdot e^{-(20,69/x)}$	90,8	0,2	0,3	0,4	0,6
Duet	$y = 93,43 \cdot e^{-(25,75/x)}$	87,3	0,2	0,3	0,5	0,7
lineare Funktion						
Aviron	$y = 84,81 + 0,0275x$	95,3	0,3	0,5	0,8	1,1
Carola	$y = 91,00 + 0,0217x$	99,2	0,3	0,4	0,6	0,9
Regina	$y = 82,08 + 0,0230x$	90,8	0,3	0,5	0,6	0,9
Duet	$y = 76,83 + 0,0278x$	87,4	0,3	0,6	0,8	1,1

Die Ertragsminderungen durch abweichende Keimfähigkeiten vom Attestwert sind von der Größe der auftretenden KF-Differenz abhängig. KF-Abweichungen von ≤5 % zum Attestwert verursachen Ertragsminderungen von 0,2-0,6 dt/ha, bei KF-Abweichungen von 7 % dürften Ertragsminderungen 0,4-0,8 dt/ha und bei KF-Abweichungen von 10% dürften Ertragsabweichungen von 0,6-1,1 dt/ha bei Wintergerste auftreten. Alle Sorten reagierten im Ertragsabfall einheitlich auf die durch die abweichenden KF-Differenzen reduzierte Saatstärke. Nach dem asymptotischen Modell sind die geschätzten Ertragsminderungen geringer als nach dem linearen Regressionsmodell.

Fallbeispiel 2: Der Einfluß der verschiedenen Jahre auf die Ertragsminderungen durch abweichende Keimfähigkeiten vom Attestwert wird an den Sortenerträgen in den einzelnen Prüffahren analysiert. Bei Zugrundelegung der Saatstärke von 400 keimfähigen Körnern/m² werden aus den Differenzerträgen zwischen der 400er und 300er Saatstärke die Ertragsreduzierungen infolge abweichender Keimfähigkeit von 3 %, 5 %, 7 % und 10 % vom Attestwert für die einzelnen Sorten in den Prüffahren durch lineare Interpolation geschätzt. Die Ertragsminderungen bei den Sorten durch reduzierte Saatstärke infolge KF-Abweichungen vom Attestwert sind in den einzelnen Jahren unterschiedlich (Tab. 3). Im Jahr 2000 sind sie am stärksten, 2001 weniger und 2002 am geringsten ausgeprägt.

Tab.3: Beobachtete Erträge und Ertragsdifferenzen (dt/ha) zwischen der 300er und 400er Saatstärke und interpolierte Ertragsdifferenzen bei KF-Abweichungen der vier Wintergerstensorten in den Prüffahren 2000-2002. Ertragswerte nach Boese (2007)

Jahr Kö/m ² , Sorte	2000				2001				2002				Mittel 2000/02
	Avi	Car	Reg	Due	Avi	Car	Reg	Due	Avi	Car	Reg	Due	
Ertrag dt/ha													
200	77,1	87,4	79,9	77,5	94,4	99,8	91,3	85,1	98,1	98,4	88,3	84,1	88,4
300	82,9	93,0	84,1	82,8	97,5	101,3	93,9	86,6	101,5	99,2	90,3	87,0	91,7
400	86,7	93,8	86,3	87,5	99,8	103,8	95,3	88,7	99,6	101,0	91,7	87,2	93,4
beobachtete Ertragsdifferenzen (dt/ha) zwischen den Saatstärken													
200 u. 300	5,8	5,6	4,2	5,3	3,1	1,4	2,6	1,5	3,4	0,8	2,0	2,9	3,3
300 u. 400	3,8	0,8	2,2	4,7	2,3	2,5	1,4	2,1	-1,9	1,8	1,4	0,2	1,7
geschätzte Ertragsdifferenz bei reduzierter Saatstärke infolge KF-Abweichung von 3%, 5%, 7% und 10%													
388 u. 400	0,5	0,1	0,3	0,6	0,3	0,3	0,2	0,2	-0,2	0,2	0,2	0,0	0,2
380 u. 400	0,8	0,2	0,4	0,9	0,5	0,5	0,3	0,4	-0,4	0,4	0,3	0,0	0,4
372 u. 400	1,1	0,2	0,6	1,3	0,6	0,7	0,4	0,6	-0,5	0,5	0,4	0,1	0,5
360 u. 400	1,5	0,3	0,9	1,9	0,9	1,0	0,6	0,8	-0,8	0,7	0,6	0,1	0,7

Entgegen dem allgemeinen Trend erbrachte die Sorte Aviron im Jahr 2002 den höchsten Ertrag mit der Saatstärke von 300 Kö/m². Nach der Varianzanalyse besteht jedoch keine Wechselwirkung in der Ertragsminderung zwischen Sorte und Jahr. Im Durchschnitt der Jahre sind bei dieser Schätzung mittels linearer Interpolation weitgehend gleiche Ertragsreduzierungen wie mit dem asymptotischen Modell, siehe Tabelle 2, vorhanden.

3.2 Ertragseffekte von abweichenden Keimfähigkeiten gegenüber den Attestwerten bei Hybridroggen

Die Ertragsabhängigkeit zweier Hybridsorten (Avanti, Ursus) von der Saatstärke (100, 200, 300 und 400 Kö/m²) wurde in den Jahren 2000 bis 2003 in fünf verschiedenen Saatzeiten geprüft (Boese 2007). Nach der varianzanalytischen Auswertung besteht keine signifikante Ertragsdifferenz zwischen beiden Sorten, jedoch verändern Saatstärke und Saatzeit die Erträge signifikant. Die Reaktion der Sorten auf die Saatstärken waren in den Jahren und Saatzeiten einheitlich, d.h. die Jahres- und Saatzeiteinflüsse modifizierten nicht den Trend der Ertragsabhängigkeit von der Saatstärke, obwohl die Erträge in den einzelnen Jahren und Saatzeiten sehr unterschiedlich sind (Abb. 2). Die aus den Versuchen abgeleiteten asymptotischen Funktionen für die Ertragsabhängigkeit von

der Saatstärke sind signifikant und dienen der Schätzung der Ertragsminderung durch abweichende Werte von der attestierten Keimfähigkeit.

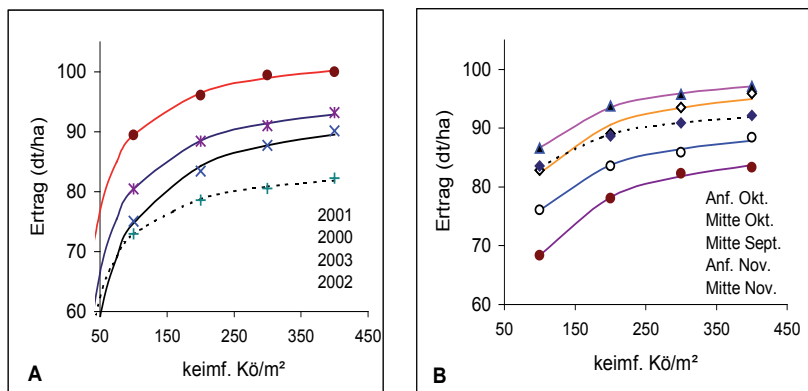


Abb. 2: Asymptotische Abhängigkeit des Hybrid-Roggenertrages (Mittel der Sorten Avanti und Ursus) von der Saatstärke in den Prüffahren (A) und den Saatzeiten (B) nach Boese (2007)

Fallbeispiel 3: Gegeben sind die Attestwerte einer Hybridroggen-Partie: KF = 92 %, TKM = 32 g. Angestrebte Saatstärke: 200 keimfähige Körner/m². Berechnete Saatmenge: 69,5 kg/ha. Wenn die Saatgutpartie jedoch tatsächlich eine abweichende Keimfähigkeit von ±3 %, ±5 %, ±7 % oder ±10 % aufweist, die Aussaat gemäß der Kalkulation mit 69,5 kg/ha erfolgt, so werden nicht die gewünschten 200 keimfähigen Körner/m² sondern es werden je nach Keimfähigkeit 7, 11, 15 oder 20 mehr bzw. weniger keimfähige Körner/m² gedrillt. In Tabelle 4 sind die nach den abgeleiteten Regressionen geschätzten positiven und negativen Ertragseffekte bei abweichender Keimfähigkeit vom Attestwert ausgewiesen.

Bei einer angestrebten Soll-Saatstärke von 200 Kö/m² verursachten in den einzelnen Jahren 5%-ige KF-Abweichungen zum Attestwert Ertragsänderungen von etwa ±0,5 dt/ha, bei 7 %-igen KF-Abweichungen von annähernd ±0,7 dt/ha und bei 10 %-igen KF-Abweichungen von etwa ±1,0 dt/ha.

Tab. 4: Abweichende Keimfähigkeiten vom Attestwert (KF = 92 %) bei Hybrid-Roggen und geschätzte Auswirkungen auf Saatstärke (Kö/m²) und Kornertrag (dt/ha) nach den abgeleiteten Regressionsfunktionen bei einer Soll-Saatstärke von 200 keimfähigen Körnern/m²

Jahr	Regressionsfunktion	KF% - Saatstärke (keimfähige Körner/m ²)							
		82% -178	85% -185	87% -189	89% -193	92% -200	95% -207	97% -211	99% -215
2000	$y = 97,41 e^{-19,14/x}$	-1,0	-0,7	-0,5	-0,3	88,5 dt/ha	0,3	0,4	0,6
2001	$y = 104,09 e^{-15,19/x}$	-0,9	-0,6	-0,4	-0,2	96,5 dt/ha	0,2	0,4	0,5
2002	$y = 85,15 e^{-15,59/x}$	-0,7	-0,5	-0,4	-0,2	78,8 dt/ha	0,2	0,3	0,4
2003	$y = 95,02 e^{-23,93/x}$	-1,2	-0,8	-0,6	-0,3	84,3 dt/ha	0,3	0,5	0,7

4. Diskussion und Schlußfolgerungen

Abweichende Keimfähigkeiten vom Attestwert verursachen unerwünschte Abweichungen von der angestrebte Anzahl keimfähiger Körner/m². Die Stärke dieser Einflüsse auf die Kornerträge von Wintergetreide ist bisher durch Versuchsergebnisse kaum belegt. In der vorliegenden Arbeit wurden deshalb Ergebnisse von mehrjährigen Saatstärken-Feldversuchen genutzt, um Ertragseffekte bei Wintergerste und Winterroggen durch moderat abweichende Keimfähigkeiten vom Attestwert zu schätzen. Das asymptotische Regressionsmodell dürfte der sachlogische Relation zwischen Saatstärke und Kornertrag entsprechen, da dieses bei Saatstärken von 100-400 Kö/m² bei Wintergerste und auch bei Saatstärken von 50-200 Kö/m² bei Hybridweizen (Jackisch et al., 2010) die Krümmung der Regressionslinie gut widerspiegelt. Das heißt jedoch nicht, daß bei der Prüfung von 100 bis 400 Kö/m² die lineare Regression bzw. Interpolation unbrauchbare Schätzwerte liefert. Für die in der Praxis angewandten Saatstärkebereiche wurden an Fallbeispielen die durch KF-Abweichungen vom Attestwert verursachten Ertragsminderungen quantifiziert. Um Effekte des absoluten Ertragsniveaus zu eliminieren wurden die Relativerträge in beiden Versuchserien berechnet, Bezugsbasis war der Kornertrag bei 400 Kö/m². Die 100er Saatstärke brachte im Mittel eine Ertragsleistung von 87 % (83-90 %), die 200er Saatstärke von 94,6 % (91-98 %) und die 300er Saatstärke von 98,1 % (96-100 %) im Vergleich zur 400er Saatstärke. Die Klammerwerte dokumentieren den beobachteten Streubereich in den Prüffahren und bei den Genotypen. Ein Effekt der Ertragshöhe auf die Ertragsminderung ist nicht gegeben. Wenn die Reduzierung der Saatstärke von 400 auf 300 Kö/m² bei Gerste und Hybridroggen

einen Ertragsabfall von etwa 2 % verursacht, dann induziert eine Veränderung der Saatstärke von 400 auf 360 Kö/m² eine Ertragsminderung von etwa 0,8 %. Diese Veränderung der Saatstärke entspricht einer 10%igen KF-Abweichung vom Attestwert. Eine KF-Differenz von 5 % würde demnach eine Ertragsminderung von 0,4 % und eine KF-Differenz von 3 % zum Attestwert nur eine Ertragsminderung von 0,24 % verursachen.

Es erhebt sich die Frage, ob diese engen Beziehungen auch bei Winterweizen und unter anderen Umwelten (Orte/Jahre) auftreten. Versuchsergebnisse aus Bernburg (2003/06) mit zwei Liniensorten Winterweizen weisen in der 300er Saatstärke einen Relativertrag von 97,9 % (95-101 %) gegenüber der 400er Prüfvariante aus (Boese, 2007). Ähnliche Relativerträge fanden Beese und Delling (2000) an zwei Versuchsorten mit drei Weizensorten in den Prüffahren 1999 und 2000 bei der Reduzierung der ortsüblichen Saatstärke. Die um 100 Kö/m² reduzierte Variante erbrachte gegenüber der ortsüblichen Variante im Mittel einen Relativertrag von 98,2 % (94-104 %). Neueste dreijährige Versuchsergebnisse von Vetter und Schwabe (2010) an fünf Versuchsorten mit zwei Weizensorten ergaben bei der Reduzierung der Saatstärke von 300 auf 200 Kö/m² einen Relativertrag von 98,5 % (96-101 %). Nach diesen Versuchsserien aus Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen scheint im Mittel der Jahre eine Reduzierung der Saatstärke um 100 Kö/m² im Saatstärkenbereich von 400-300 Kö/m² einen Ertragsabfall von etwa 2 % zu verursachen. Im Einzelversuch können mehr oder minder starke Ertragsabweichungen auftreten, selbst bei den um 100 Kö/m² reduzierten Variante war in seltenen Fällen kein Abfall, teils sogar ein Anstieg des Ertrages eingetreten. Sind diese durch Versuchsergebnisse belegten Ableitungen allgemein gültig, dann scheinen die durch 3-, 5-, 7- oder 10%-ige KF-Abweichung von attestierten Werten verursachten Ertragsminderungen bei Wintergetreide annähernd ein Zehntel der prozentualen KF-Abweichung zu betragen, also 0,3 %, 0,5 %, 0,7 % bzw. 1 %. Derartige moderate Ertragsdifferenzen sind in Feldversuchen statistisch kaum zu sichern und die Auswirkungen für die Landwirte/Getreideanbauer sind im Vergleich zu Saatzeiten-, Jahres- oder PSM-Einflüssen gering. Warum soll die Lieferung von Saatgetreide (Weizen, Gerste) an einen Landwirt mit einer Attest-KF von 92 % in der Saatgutverkehrskontrolle amtlich beanstandet werden, wenn die ermittelte Keimfähigkeit mit 87 % außerhalb der derzeit zulässigen Toleranz liegt, der negative Ertragseffekt dieser KF-Differenz jedoch nur 0,5 % beträgt. Bei einer Ertragserwartung von 80 dt/ha wäre das eine wahrscheinliche Ertragsdifferenz von 0,4 dt/ha.

Auf Grund der Erkenntnisse aus den analysierten Versuchsreihen ist die Relevanz der derzeitigen KF-Toleranzen für den Saatgutlieferer und für den Getreideanbauer kritisch zu hinterfragen. Bei deren Revision dürfen nicht die Toleranzen der Saatgutprüfung im Mittelpunkt stehen sondern primär die Auswirkungen auf den Kornertrag. Es bieten sich für die aufgezeigten Widersprüche verschiedene Lösungen an. Um bei der Attestierung gleichgroße Risiken für falschpositive und falschnegative Entscheidungen zu berücksichtigen, könnten entsprechende Testverfahren in Abhängigkeit von dem Qualitätslevel genutzt werden, wobei die Irrtumswahrscheinlichkeit für die KF-Bewertung von Wintergetreide in der Saatgutverkehrskontrolle auf die 3-Sigmaregel ($P = 0,3 \%$) umgestellt werden könnte, sie ist für viele Bereichen der industriellen Qualitätskontrolle gültig. Zum anderen scheint aus fachlicher als auch ökonomischer Sicht eine einheitliche Toleranzgrenze für die Keimfähigkeit von Getreide (7 oder 10 %) unabhängig von der Attest-Keimfähigkeit vertretbar zu sein.

5. Literaturangaben

- Beese, G., Delling, M., 2000: Prüfung der optimalen Saatstärke bei Winterweizen. Versuchsbericht 106 841. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (unveröffentlicht).
- Boese, L., 2007: Wann und mit welcher Saatstärke Wintergetreide säen? – Chancen und Risiken der Frühsaat. Bernburger Agrarberichte 2007, H. 1, 19-31.
- Jackisch, W., Boese, L. Krellig, B., 2010: Einbeziehung pflanzlicher Aspekte bei der Festlegung zulässiger Keimfähigkeitsabweichungen von Saatgetreide. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 66, 536-545, Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Miles, S. R., 1963: Handbook of tolerances and of measures of precision for seed testing. Proc. Int. Seed Test. Ass., Vol. 28, 525-686.
- Myers, R.H., 1990: Classical and modern regression with application. PWS-Kent. Publishing Company.
- Rasch, D., 1988: Biometrie – Einführung in die Biostatistik. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.
- Vetter, A. und Schwabe, J., 2010: Prüfung der Reduzierung von Saatstärke und Fungizid bei Winterweizen und Wintertriticale zur Bioethanolproduktion (Projekt-Nr. 4235). Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. www.tll.de/ainfo/pdf/etha0710.pdf

Unterscheidung von zwei- und mehrzeiliger Gerste mittels Pyrosequenzierung von Punktmutationen

B. Killermann, M. Diethelm, A. Jestadt, G. Schweizer, B. Voit
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising

1. Einleitung

Die Unterscheidung von zwei- und mehrzeiliger Gerste ist ein altes Problem, das immer wieder aktuell werden kann, insbesondere dann, wenn im Nachkontrollanbau von Vorstufen- und Basissaatgut anderszeilige Gersten gefunden werden.

Obwohl in der Saatgutverordnung (SaatgutV) die zulässigen Grenzwerte für anderszeilige Gersten im Rahmen der Feldbesichtigung und Beschaffenheitsprüfung festgelegt sind, werden sowohl in der Feldbesichtigung als auch in der Beschaffenheitsprüfung im Saatgutlabor Vermischungen von zwei- und mehrzeiliger Gerste festgestellt. Die Ursachen hierfür sind das Nicht-Erkennen bei der Feldbesichtigung, der überbetriebliche Maschineneinsatz (z. B. Mähdrescher) und eine zu geringe Sorgfalt bei der Aufbereitung von zwei- und mehrzeiliger Gersten im gleichen Betrieb.

Zeiligkeit ist ein wichtiges Ertragsmerkmal in der Gerstenzüchtung, das von 5 rezessiv vererbten Genen festgelegt wird, wobei die 5 Genloci *vrs1* (2HL), *vrs2* (5HL), *vrs3* (1HL) *vrs4* (3HL) und *vrs5* (int-c; 5HS) auf unterschiedlichen Chromosomen liegen. Mehrere unterschiedliche Mutationen im Wildtyp-Allel des *Vrs1*-Gens führen zu fertilen Lateralblütchen und damit zum Habitus einer mehrzeiligen Gerste (Komatsuda et al., 2007). Sequenzmutationen im genetischen Code des *Vrs1*-Gens sind hierbei die Ausgangsbasis des vorgestellten Markertests. Die Analyse der Zeiligkeitsbestimmung erfolgt über die Mini- oder Pyrosequenzierung, sie stellt eine sehr sichere Methode zum Nachweis von Punktmutationen im Genom der Pflanzen dar. Zunächst wird das *Vrs1*-Genfragment über PCR vervielfältigt und das entsprechende Allel in einem zweiten Schritt per Pyrosequenzierung sequenziert.

Eine Unterscheidung von zwei- und mehrzeiligen Gersten ist anhand morphologischer, biochemischer und genetischer 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.

Kommen biochemische und genetische Marker zum Einsatz sind die Proteinelektrophorese der Speicherproteine und die genetische Analyse des VRS1-Locus zu nennen. Da die Gerste ein diploides Genom hat, ist der Polymorphismus der Speicherproteine relativ begrenzt und man stößt ziemlich schnell an die Grenzen der Unterscheidbarkeit. Eine neue Methode zur Unterscheidung von genetischen Unterschieden am VRS1-Lokus ist die Pyrosequenzierung von Punktmutationen innerhalb des HD-ZIP1 Gens.

2. Genetischer Hintergrund

Bei der Gerste werden auf jeder Spindelstufe 3 Blütchen ausgebildet, bei der zweizeiligen Gerste ist nur das mittlere Blütchen fertil. Die Eigenschaft "Zweizeiligkeit" wird genetisch determiniert durch das dominante Allel *Vrs1* (= Wildtyp), es codiert für einen Transkriptionsfaktor der ausschließlich in den Primordien sich entwickelnder lateraler Ährchen aktiv ist und die Entwicklung der Ährchen unterdrückt. Alle zweizeiligen Gersten müssen somit auf allen drei Allelen den Wildtyp für *Vrs1* aufweisen.

Drei voneinander unabhängige rezessive Mutationen (*vrs1.a1*, *vrs1.a2* und *vrs1.a3*) in *Vrs1* führen zum Funktionsverlust dieses Transkriptionsfaktors, d. h. die Ährchen entwickeln sich und es entsteht eine mehrzeilige Gerste. Mehrzeilige Gersten haben zwei bis drei fertile Blütchen. Das Allel *vrs1.a1* kommt weltweit vor, *vrs1.a2* kommt aus dem westlichen Mittelmeerraum und *vrs1.a3* stammt aus Ostasien (Komatsuda et al., 2007).

Die vollständigen Sequenzen der Allele, die im Internet in der NCBI Datenbank hinterlegt sind, dienen zur Markerentwicklung.

3. Pyrosequenzierung

Für die Pyrosequenzierung wird DNA aus 1-2 cm langen Sprosssteilen eingesetzt. Dazu werden Keimpflanzen in Petrischalen 3-5 Tage angezogen. Die anschließende Extraktion der DNA erfolgt in Deepwell Platten. Nach dem Gefriertrocknen über Nacht, erfolgt das Mahlen, Extrahieren, Zentrifugieren und schließlich das Ausfällen der DNA im Überstand. Bei der nachfolgenden PCR wird die DNA zum Einzelstrang denaturiert, die Vir1 spezifischen Primer angelagert und mittels Taq-Polymerase ein Vir1-Genfragment amplifiziert.

Bei der Pyrosequenzierung (Fa. Qiagen) dient eine DNA-Polymerase zur Synthese des DNA-Gegenstranges. Die DNA-Polymerase wird quasi „in Aktion“ beobachtet, wie sie nacheinander einzelne Nukleotide an einen neusynthetisierten DNA-Strang anhängt. Der erfolgreiche Einbau eines Nukleotids wird durch ein ausgeklügeltes Enzymsystem unter Beteiligung einer Luziferase in eine Lichtreaktion umgesetzt und von einem Detektor erfasst. Die zu sequenzierende DNA (Vir1-Genfragment) dient als Matrizenstrang und liegt einzelsträngig vor. Ausgehend von einem spezifischen Sequenzierprimer, der unmittelbar vor der nachzuweisenden Mutation liegt, erfolgt die Strangverlängerung durch Zugabe von jeweils einem der vier Arten Desoxynukleosidtriphosphate (dNTP). Bei Einbau eines komplementären Nukleotids durch die DNA-Polymerase wird Pyrophosphat (PPi) freigesetzt. Das Pyrophosphat wird durch die ATP-Sulfurylase zu Adenosintriphosphat (ATP) umgesetzt. Das ATP treibt die Luziferase-Reaktion an, wodurch Luziferin in Oxyluziferin umgesetzt wird. Dies resultiert wiederum in einem detektierbaren Lichtsignal – dessen Stärke proportional zum verbrauchten ATP ist. Das Lichtsignal wird in einem Detektor zu einem Peak umgewandelt, wobei die Peakhöhe proportional zur Anzahl der eingebauten dNTPs ist. Nicht eingebauten dNTPs werden über das Enzym „Apyrase“ abgebaut. Passt das angebotene Nukleotid nicht zur DNA-Sequenz, dann wird entsprechend eine Leerstelle angezeigt (Fa. Qiagen).

4. Ergebnisse

Zur Untersuchung wurden 148 Gersten aus 12 verschiedenen Ländern verwendet, wovon 61 Gersten mehrzeilig und 87 zweizeilig waren (Tab. 1). Der größte Teil der Sorten stammte aus Deutschland, gefolgt von Österreich und Großbritannien.

Von den 148 Sorten konnte bei 138 Sorten die Zeiligkeit allein über die DNA-Sequenz der Punktmutation im Allel *vrs1.a2* bestimmt werden (93%). Zeigte sich hierbei das rezessive Allel dann lag auch in 93% der Fälle eine mehrzeilige Sorte vor.

Tab. 1: Untersuchte zwei- (zz) und mehrzeilige (mz) Gersten aus 12 verschiedenen Ländern, differenziert mit den Allelen *vrs1.a1*, *vrs1.a2* und *vrs1.a3*.

Herkunft	Anzahl Sorten	Anzahl mz	Anzahl zz
Österreich	16	9	7
Australien	2	-	2
Brasilien	3	-	3
Kanada	1	-	1
Deutschland	88	36	52
Dänemark	3	1	2
Frankreich	4	3	1
Großbritannien	14	5	9
Norwegen	4	4	-
Polen	1	-	1
Slowakei	3	-	3
Amerika	9	3	6
Summe	148	61	87

Von den 88 deutschen Sorten konnte bei 85 Sorten (97%), die Zeiligkeit allein durch das Allel *vrs1.a2* bestätigt werden. Alle 52 zweizeiligen Sorten zeigten das Wildtyp-Allel auf allen 3 loci. Von den 36 mehrzeiligen Sorten trugen 33 das *vrs1.a2* und 3 Sorten das *vrs1.a3* Allel. Das *vrs1.a1* Allel konnte im vorliegenden Gerstensortiment bislang nur in der mehrzeiligen Sorte Morex gefunden werden. Grundsätzlich haben alle zweizeiligen Gersten auf allen 3 Allelen (*vrs1.a1*, *vrs1.a2*, *vrs1.a3*) das Wildtyp-Allel und die mehrzeiligen Gersten haben wenigstens in einem der drei Allele die entsprechende Punktmutation.

Werden weitere *vrs*-Allele über entsprechende Pre-Breeding-Züchtungsprogramme und Neuzulassungen in das aktuelle Gerstensortiment aufgenommen, kann der Test auch auf diese Allele erweitert werden.

5. Zusammenfassung

Mit der Pyrosequenzierung können von den 88 untersuchten deutschen Gersten bereits 85 Sorten (97 %) aufgrund des entsprechenden *vrs.a2*-Allels bezüglich ihrer Zeiligkeit richtig eingestuft werden. Die Pyrosequenzierung ist eine sehr sichere Methode, gut automatisierbar und eignet sich damit sehr gut zur parallelen Analyse von DNA Proben im 96er Plattenformat. Die Ergebnisbereitstellung kann in Abhängigkeit der Keimpflanzenanzucht nach ca. 3-5 Tagen erfolgen. Das Ergebnis ist keine Bandenreaktion, sondern eine quantitative Sequenzreaktion, d. h. man bekommt als Ergebnis die direkte DNA-Sequenzinformation des entsprechenden *vrs1*-Allels. Die Pyrosequenzier-Technik bietet zudem große Flexibilität beim „Setzen“ der Primer, dadurch ist es relativ einfach für fast jeden genetischen Marker einen entsprechenden Pyrosequenzierungs-Assay zu planen

Gegenüber anderen Markertechnologien (z. B. CAPS = Cleaved Amplified Polymorphic Sequences) ist die Pyrosequenzierung teurer, jedoch weniger aufwändig in der Durchführung. Die Kosten für eine Pyro-Reaktion (1 Marker, 96iger Format, Chemikalien) liegen derzeit bei knapp 2,- EUR pro Probe (zzgl. Kosten für DNA Isolation und Personal). Für drei Marker (drei Allele) würden die Kosten für die Untersuchung einer Probe folglich bei 6,- EUR liegen. Der Hauptkostenfaktor für die Pyrosequenzierung liegt bei den Gerätekosten, die derzeit mit ca. 100 000,- EUR zu veranschlagen sind.

Ziel ist die Entwicklung und Etablierung eines praxisreifen „Multiplex-Tests“, bei dem alle 3 Allele in einer Reaktion zu 1/3 der Kosten abgearbeitet werden sowie die Prüfung kostengünstiger alternativer SNP-Markertechniken (SNP = Single Nucleotid Polymorphisms).

6. Literaturangaben

Komadsuda, T., Pourkheirandish, M., He, C., Azhaguvel, P., Kanamori, H., Perovic, D., Stein, N., Graner, A., Wicker, Th., 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, No. 4, 1424-1429.

Fa. Qiagen: nach Protokoll des Herstellers.

Mein herzlicher Dank geht an Manuela Diethelm, Alexandra Jestadt und Günther Schweizer von Arbeitsgruppe Genomanalyse an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, die diese Untersuchungen ermöglicht und durchgeführt haben.

Mehrfährige Ergebnisse zur Strategie gegen Zwergsteinbrand (*Tilletia controversa*) und Steinbrand (*Tilletia caries*) im Ökologischen Getreidebau

M. Dressler¹, B. Voit¹, P. Büttner², B. Killermann¹

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising, ²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Freising

1. Einleitung

In Jahren mit günstigen Infektionsbedingungen treten verstärkt der regional vorkommende Zwergsteinbrand (*Tilletia controversa*) und der Steinbrand (*Tilletia caries*) auf. Im Rahmen eines dreijährigen Forschungsprojektes wurde untersucht, inwieweit die Schwellenwerte für Zwergsteinbrand und Steinbrand am Saatgut ausreichend sind, oder ob künftig das Sporenpotenzial im Boden beim Weizen- und Dinkelanbau stärker berücksichtigt werden muss. Bei Steinbrand liegt der Schwellenwert für Saatgut in Bayern bei 20 Sporen/Korn, während für Zwergsteinbrand noch kein Schwellenwert existiert. Für den Boden gibt es für beide Brände noch keinen Schwellenwert.

2. Material und Methoden

Die Versuche wurden auf Öko-Praxisflächen durchgeführt, die bereits ein Brandsporenpotenzial im Boden aufwiesen. Die Zwergsteinbrandversuche wurden an drei und die Steinbrandversuche an vier Standorten angelegt. Die mehrfaktorielle Anlage der Feldversuche (Saatzeit, Sorte, Infektionsstufe) erfolgte als randomisierte Streifenanlage, bei einer Parzellengröße von 10-13 m². Mit einer anfälligen Winterweizen- und Dinkelsorte (Sorte A) sowie einer weniger anfälligen Sorte B bzw. E wurden die Versuche mit unterschiedlichen Infektionsstufen (Kontrolle, 20 und 100 Sporen/Korn) und vier Wiederholungen durchgeführt. Da die Zwergsteinbrandinfektion hauptsächlich über das Sporenpotenzial des Bodens erfolgt, wurde zusätzlich eine Variante mit künstlicher Bodeninfektion (0,5 g Sporen/m²) angelegt.

Die Steinbrandinfektion findet während der Auflaufphase des Getreides statt. Daher wurde der Einfluss der Saatzeit auf den Befall mit einer Früh- und Spätsaat untersucht.

Nach dem Ährenschieben wurde jede Parzelle auf befallene Ähren bonitiert. Am Erntegut wurde der Brandsporenbesatz mit der ISTA Methode (Handbook on Seed Health Testing, Working Sheet No 53) bestimmt. Da es für die Ermittlung des Sporenpotenzials im Boden bisher keine Untersuchungsmethode gab, musste erst ein Untersuchungsverfahren dafür entwickelt werden. Als geeignet erwies sich das Auswaschen der Sporen aus dem Boden mittels Nassfiltration und anschließender Bestimmung nach ISTA unter dem Lichtmikroskop.

Die Beschreibende Sortenliste gibt keine Auskunft über die Brandanfälligkeit der Sorten, deshalb wurden in den letzten beiden Jahren zusätzlich Sortenanfälligkeitsversuche durchgeführt.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Zwergsteinbrand (*Tilletia controversa*)

Die Hauptinfektion bei Zwergsteinbrand findet über den Boden während der Bestockung statt. Daher hatte die Variante Bodeninfektion den höchsten Befall, der sich in Bayern und Oberösterreich signifikant von den Saatgutinfektionsstufen unterschied, während sich die Kontrolle und die beiden Saatgutinfektionsstufen nicht signifikant voneinander unterschieden (Abb. 1). Verhältnisse, wie sie unter einer langandauernden Schneedecke bei gleichzeitig nicht gefrorenem Boden vorliegen, begünstigen den Befall. Diese Bedingungen lagen in Baden-Württemberg im Winter 2008/2009 vor, sodass bei Winterweizen und Dinkel sowohl in der Kontrolle als auch bei den Saatgutinfektionsstufen ein sehr hoher Befall auftrat. Durch zeitweilig gefrorenem Boden waren die Bedingungen für einen hohen Befall in Bayern und Oberösterreich nicht gegeben.

Überraschend war, dass es im schneelosen Winter 2007/2008 zu einem leichten Befall kam. Offenbar führten bereits trübe Lichtverhältnisse an allen Standorten sowohl bei Weizen als auch bei Dinkel zu einer Infektion.

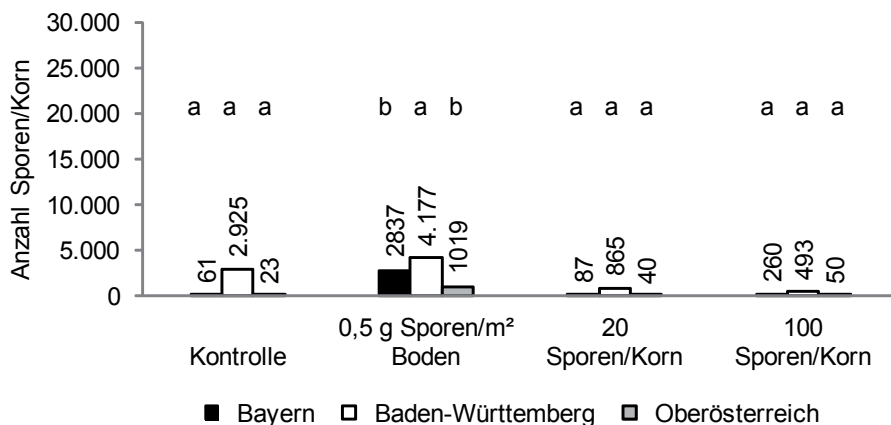


Abb. 1: Durchschnittlicher Zwergsteinbrandbesatz am Erntegut bei Winterweizen an den Standorten Bayern, Baden-Württemberg und Oberösterreich bei der Bodeninfektion und den unterschiedlichen Saatgutinfektionsstufen in den Jahren 2008-2010, Versuchsglieder ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($\alpha \leq 0,05$)

Der Sporenbesatz am Saatgut zeigte keinen signifikanten Einfluss auf die Befallshöhe am Erntegut. Obwohl für die Versuche jeweils eine anfällige und nicht anfällige Sorte zum Anbau kamen, zeigten sich beim Befall am Erntegut keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten. Das Sporenpotenzial im Boden lag zum Saatzeitpunkt im Durchschnitt zwischen 12 und 97 Sporen in 10 g Boden mit Ausnahme der Variante Bodeninfektion (Tab. 1). Auf allen Parzellen war nach der Ernte ein Anstieg des Sporenpotenzials zu beobachten. Die starke Zunahme des Sporenpotenzials im Boden am Standort Baden-Württemberg wurde durch das starke Befallsjahr 2008/2009 hervorgerufen. Von ca. 50 Sporen zum Saatzeitpunkt stieg das Sporenpotenzial auf rund 7 900 Sporen in 10 g Boden an.

Tab. 1: Durchschnittliches Zwergsteinbrandpotenzial im Boden bei Winterweizen zum Zeitpunkt der Saat und nach der Ernte auf den Standorten Bayern, Baden-Württemberg und Oberösterreich bei der Bodeninfektion und den unterschiedlichen Saatgutinfektionsstufen in den Jahren 2007-2010

Behandlung	Bayern		Baden-Württemberg		Oberösterreich	
	Anzahl Sporen in 10g Boden zur Saat	nach Ernte	Anzahl Sporen in 10g Boden zur Saat	nach Ernte	Anzahl Sporen in 10g Boden zur Saat	nach Ernte
Kontrolle	93 Aa	128 Aa	94 Aa	2 486 Ba	13 Ba	80 Ba
Bodeninfektion	608 Ab	2 678 Ab	133 Aa	10 476 Bb	310 Ab	411 Ab
20 Sporen/Korn	79 Aa	526 Bbc	97 Aab	2 586 Aa	12 Aa	90 Ba
100 Sporen/Korn	89 Aa	257 Bac	63 Aa	1 530 Ba	15 Aa	44 Ba

Versuchsglieder ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($\alpha \leq 0,05$). Die Großbuchstaben A und B in einer Zeile, zeigen die Signifikanz zwischen dem Sporenpotenzial zur Saat und nach der Ernte. Mit den Kleinbuchstaben a, b und c in einer Spalte wird der signifikante Unterschied zwischen den Behandlungen ausgewiesen.

3.2 Steinbrand (*Tilletia caries*)

Die Steinbrandinfektion findet während des Auflaufens des Winterweizens statt. Das Temperaturoptimum für die Infektion liegt zwischen 5 und 10°C.

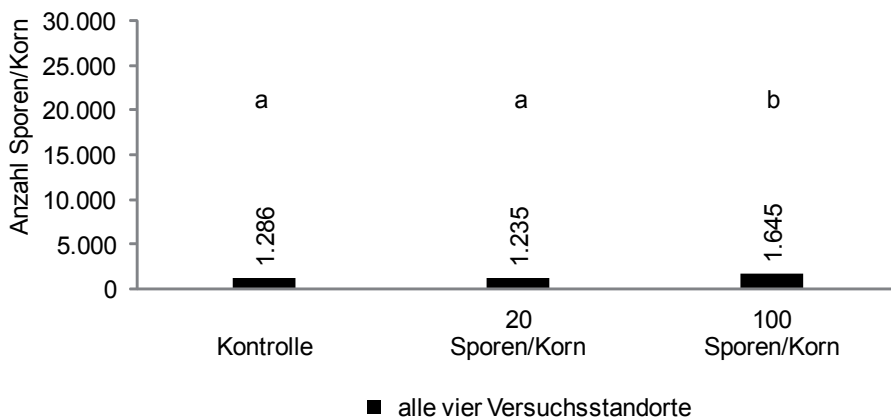


Abb. 2: Durchschnittlicher Steinbrandbesatz am Erntegut bei Winterweizen auf den vier Standorten (Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Sachsen) bei unterschiedlichen Saatzgutinfektionsstufen in den Jahren 2008-2010

Den signifikant höchsten Befall am Erntegut hatte die Variante 100 Sporen/Korn (Abb. 2). Anhand der Kontrollvariante wurde bestätigt, dass auch bei Steinbrand eine Infektion über den Boden erfolgt (Dressler et al., 2010). Mittels der weniger anfälligen Sorte E war eine signifikante Befallsreduzierung im Vergleich zur anfälligen Sorte A feststellbar. Bei der Spätsaat lagen die Temperaturen bereits unterhalb des Infektionsoptimums, damit war der Befall am Erntegut gegenüber der Frühsaat signifikant geringer.

Von allen Standorten hatte zur Saat im Mittel der drei Jahre der sächsische Standort mit über 600 Sporen in 10 g Boden das höchste Sporenpotenzial im Boden (Tab. 2). Entscheidend für den Befall war nicht zwangsläufig das hohe Sporenpotenzial im Boden, sondern die Witterung während der Auflaufphase des Getreides. Trockene Bodenverhältnisse nach der Saat und/oder günstige Infektionstemperaturen während der Keimung führten zu einem hohen Befall.

Durch den Steinbrandbefall gelangten bei der Ernte erneut wieder Sporen auf den Boden. Dies führte zu einer Zunahme des Sporenpotenzials im Boden nach der Ernte, das sich aber nicht immer signifikant unterschied.

3.3 Anfälligkeitsprüfung von Winterweizensorten gegenüber Zwergstein- und Steinbrand

Der starke Befall mit Zwergsteinbrand im Erntejahr 2011 ermöglichte eine gute Bonitur in den Sortenanfälligkeitsversuchen. Drei Winterweizensorten fielen dabei mit einem vergleichsweise niedrigen Befall auf. Die Züchtung weniger anfälliger Sorten ist nötig, denn neben einem geringeren Weizenanteil in der Fruchtfolge, scheint nur der Anbau von Sorten mit geringer Anfälligkeit eine wirk-same Möglichkeit zur Befallsreduzierung bei Zwergsteinbrand zu sein.

Der Sporenbesatz beim Steinbrand am Erntegut zeigte bei der anfälligen und weniger anfälligen Winterweizensorte große Befallsunterschiede. Im Sortenanfälligkeitsversuch wiesen im Erntejahr 2010 drei Sorten keinen Befall auf. Bei den anderen Sorten wurde ein Befall zwischen 1 500 bis 20 000 Sporen/Korn ermit-telt. Im darauffolgenden Jahr 2011 waren die Infektionsbedingungen für Stein-brand nicht gegeben, sodass der Versuch nicht gewertet werden konnte.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Beim Zwergsteinbrand zeigte sich, dass auch im schneelosen Winter diffuse Lichtverhältnisse (Bewölkung, Nebel) und gleichzeitig nicht gefrorener Boden zu einem leichten Befall führten, der sich auch in einer Zunahme des Sporenpotenzials im Boden widerspiegelt. Bei einer langandauernden Schneedecke und frostfreiem Boden reichten bereits weniger als 50 Sporen in 10 g Boden für einen hohen Befall aus. Da die Hauptinfektion über den Boden erfolgt und die Saatgu-tinfektionsstufen keinen signifikanten Einfluss zeigten, ist nach den derzeitigen Ergebnissen auch für Zwergsteinbrand ein Schwellenwert von 20 Sporen/Korn aus phytosanitären Gründen ausreichend.

Tab. 2: Durchschnittliches Steinbrandpotenzial im Boden bei Winterweizen zum Zeitpunkt der Saat und nach der Ernte auf den Standorten Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Sachsen bei unterschiedlichen Saatgutinfektionsstufen in den Jahren 2008-2010

Behandlung	Bayern		Baden-Württemberg		Nordrhein-Westfalen		Sachsen	
	Anzahl Sporen in 10g Boden zur Saat	nach Ernte	Anzahl Sporen in 10g Boden zur Saat	nach Ernte	Anzahl Sporen in 10g Boden zur Saat	nach Ernte	Anzahl Sporen in 10g Boden zur Saat	nach Ernte
Kontrolle	28 Aa	96 Ba	46 Aa	365 Ba	67 Aa	24 Aa	610 Aa	1 214 Aa
20 Sporen/Korn	42 Aa	94 Ba	42 Aa	509 Ba	29 Aa	42 Aa	444 Aa	1 075 Aa
100 Sporen/Korn	44 Aa	48 Ba	62 Aa	638 Ba	9 Ba	49 Ba	762 Aa	2 402 Aa

Versuchsglieder ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($\alpha \leq 0,05$). Die Großbuchstaben A und B in einer Zeile, zeigen die Signifikanz zwischen dem Sporenpotenzial zur Saat und nach der Ernte. Mit den Kleinbuchstaben a und b in einer Spalte wird der signifikante Unterschied zwischen den Behandlungen ausgewiesen.

Solange keine weniger anfälligen oder resistenten Sorten zur Verfügung stehen, ist ein Schwellenwert für den Boden von 50 Sporen in 10 g Boden diskussionswürdig.

Der Steinbrandbefall wird wesentlich durch die Witterung während der Auf-
laufphase beeinflusst. Trockene Bodenverhältnisse nach der Saat und/oder
Temperaturen zwischen 5 und 10°C sind ideale Infektionsbedingungen für
den Steinbrand. Den Saattermin nach der Bodenfeuchte anzupassen ist mög-
lich. Schwieriger gestaltet sich die Einschätzung der Keimtemperatur. Im Mittel
der drei Jahre wurde bei der Fröhsaat im Vergleich zur Spätsaat ein viermal so
hoher Befall festgestellt. Ist im Boden bereits ein Sporenpotenzial vorhanden,
so erfolgt auch bei Steinbrand eine bodenbürtige Infektion. Das Saatgut mit
der höchsten Infektionsstufe (100 Sporen/Korn) wies signifikant den höchsten
Befall auf, daher sollte nur gesundes Z-Saatgut zur Aussaat verwendet werden.
Einen signifikanten Einfluss auf die Befallshöhe hatte die Sorte, sodass durch
eine gezielte Sortenwahl dem Steinbrandbefall oder zumindest der Befallshöhe
entgegengewirkt werden kann. Da eine Befallsreduktion über Saatgut, Saatzeit-
und Sortenwahl möglich ist, besteht bei Steinbrand derzeit keine Notwendigkeit
eines Schwellenwertes für den Boden. Trotzdem sollte selbstverständlich sein,
das Sporenpotenzial im Boden und am Erntegut so gering wie möglich zu halten,
um die Gefahr eines Befalls dauerhaft gering zu halten.

5. Literatur

Dressler, M., Voit, B., Büttner, P., Killermann, B., 2010: Strategien gegen Zwerg-
steinbrand (*Tilletia controversa*) und Steinbrand (*Tilletia caries*) im
ökologischen Getreidebau. In: Berichte über die 60. Tagung der Ver-
einigung der Pflanzenzüchter und Saatkaufleute Österreichs, LFZ
Raumberg-Gumpenstein, 24.-26. November 2009, 115-120.

Besonderer Dank geht an die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernäh-
rung (BLE) in Bonn für die finanzielle Förderung.

Pflanzenschutzmittelrückstände in Bio-Saatgut

T. G. Nagel

Landwirtschaftliches Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg, Karlsruhe

1. Einleitung

Lebensmittel-Einzelhandelsketten lassen die sich in ihrem Sortiment befindlichen ökologisch erzeugten Lebensmittel als qualitätssichernde Maßnahme regelmäßig auf Kontaminanten wie z. B. Pflanzenschutzmittelrückstände untersuchen. Im Herbst 2009 dehnte eine große, deutsche Einzelhandelskette ihre Untersuchung auf weitere ökologisch erzeugte Produkte - u. a. Bio-Saatgut - aus. Es stellte sich heraus, dass ein Teil der untersuchten, als ökologisch/biologisch erzeugt gekennzeichneten Saatgutpartien in z. T. deutlichem Ausmaß mit Pflanzenschutzmittelrückständen belastet war.

Die EG-Öko-Basisverordnung (EG, 2007) bildet den gesetzlichen Rahmen für die ökologische/biologische Produktion. Als Produktionsmittel erlaubt die Verordnung im Wesentlichen Produktionsmittel aus der ökologischen/biologischen Produktion, natürliche oder naturgemäß gewonnene Stoffe sowie schwer lösliche mineralische Düngemittel. Im Pflanzenschutz dürfen bei einer festgestellten Bedrohung der Kulturen lediglich für die Verwendung in der ökologischen/biologischen Produktion zugelassene Mittel eingesetzt werden. Nur sehr wenige Wirkstoffe „natürlichen Ursprungs“ sind hierfür verfügbar, z. B. Azadirachtin (Neem), Bienenwachs, pflanzliche und mineralische Öle, Pyrethrine, Spinosad, Eisen- und Kupfersalze, Kaliseife, Schwefel, Calciumhydroxid.

Der Verbraucher erwartet von einem ökologisch erzeugten Produkt, dass es frei von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und anderen Kontaminanten ist. Geringe Rückstände („Spuren“) von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen lassen sich jedoch auch in der Bio-Saatgutproduktion aufgrund möglicher Abdrift von benachbarten, konventionell bewirtschafteten Ackerflächen und Kreuzkontaminationen während der Verarbeitung nicht gänzlich vermeiden. Wenn Rückstände bei Saatgut, das als ökologisch erzeugt gekennzeichnet ist, in einem Gehaltsbereich vorliegen, der auf eine direkte Anwendung chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel schließen lässt, so bedeutet dies eine Täuschung des Verbrauchers, die nicht tolerabel ist, und einen Verstoß gegen die EG-Öko-Basisverordnung.

2. Monitoring

Als Folge der Funde von Pflanzenschutzmittelrückständen in Bio-Saatgut initiierte das Land Baden-Württemberg im Frühjahr 2010 erstmals ein Monitoring von Bio-Saatgut für den Gemüse- und Kräuteraanbau. Die Untersuchungen hierzu wurden am Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Referat 21 - Organische Analytik, durchgeführt und im Jahr 2011 fortgeführt. Das zu untersuchende Wirkungsspektrum bildeten folgende 46 Wirkstoffe bzw. Metaboliten, die aufgrund bisheriger Funde, einer aktuellen oder in der nahen Vergangenheit liegenden Zulassung für den Gemüsebau oder wegen ihrer Verwendung in Saatgutbeizmitteln ausgewählt wurden: Azoxystrobin, alpha-Cypermethrin, Bifenthrin, Boscalid, Chlorpyrifos-ethyl, Cyfluthrin, lambda-Cyhalothrin, Cyprodinil, o,p-DDD, p,p-DDD, o,p-DDE, p,p-DDE, o,p-DDT, p,p-DDT, Diazinon, Dichlorvos, Dieldrin, Dimethoat, Dimethomorph, alpha-Endosulfan, beta-Endosulfan, Endosulfan-sulfat, Epoxiconazol, Fenpropimorph, Fludioxonil, Flusilazol, gamma-HCH (Lindan), Heptachlor, cis-Heptachlorepoxyd, trans-Heptachlorepoxyd, Hexachlorbenzol, Imazalil, Imidacloprid, Iprodion, Metalaxyl, Methidation, Permethrin, Phoxim, Pirimiphos-methyl, Procymidon, Propamocarb, Pyraclostrobin, tau-Fluvalinat, Tebuconazol, Thiacloprid und Tolclofos-methyl.

3. Analysenmethodik

Da die Analytik von Pflanzenschutzmittelrückständen in Saatgut in der Literatur bisher wenig beschrieben war und nur für lebensmittelidentisches Saatgut (z. B. Koriander-, Anis- oder Kümmelsamen) Erfahrungen vorlagen, musste zunächst eine geeignete Analysenmethode gefunden werden. Als Erstes wurde auf die in der Lebensmittelanalytik weit verbreitete QuEChERS-Methodik zurückgegriffen (BVL, 2007). Wiederfindungsexperimente mit dotierten Saatgutproben zeigten jedoch sehr schnell, dass bei einigen Arten Saatgut (z. B. Möhrensaatgut) gerade bei der Detektion mittels Single-Quadrupole-MS nach gaschromatographischer Trennung (GC-MS) viele Störpeaks im Chromatogramm vorhanden sind, die eine empfindlichen Messung nahezu unmöglich machen. Bei der Detektion mittels Triple-Quadrupole-MS nach flüssigkeitschromatographischer Trennung (LC-MS/MS) bewegen sich die durch die Matrix verursachten Störungen in einem akzeptablen Rahmen. Zur Reduzierung der Störeinflüsse wurde als Zweites die für die Futtermittelanalytik konzipierte VDLUFA-Methode

3.3.7.1 - Module Ex1, GPC, D1, D2, D5 - (VDLUFA, 2008) herangezogen. Die mit dieser Methode gewonnenen Extrakte sind deutlich weniger gefärbt als die QuE-ChERS-Extrakte. Die Störeinflüsse im Chromatogramm fallen deutlich geringer aus. Es zeigt sich, dass die VDLUFA-Methode 3.3.7.1 die Methode der Wahl bei schwierigen Matrices wie Futtermittel und Saatgut ist. Die nachfolgend aufgeführten Analysenergebnisse basieren auf dieser Methodik.

4. Ergebnisse

Im Rahmen des Monitoring wurden in den Jahren 2010 und 2011 (Stand: September 2011) in Baden-Württemberg 45 Bio-Saatgutproben (Basilikum, Bohne (2), Dill (3), Endivie, Erbse (2), Feldsalat (5), Karotte (8), Kerbel, Knollensellerie, Kohlrabi, Kopfsalat, Koriander, Kresse, Kürbis, Lauch (5), Radieschen (3), Rote Beete (2), Rotkohl, Spinat (2), Wirsing, Weißkohl, Zwiebel) untersucht. In 15 Proben wurden Pflanzenschutzmittelrückstände gefunden; maximal 2 pro Probe. Die Tabellen 1 und 2 zeigen die Analysenergebnisse dieser Proben im Einzelnen für die beiden Untersuchungsjahre. Höhere Gehalte, die möglicherweise auf eine direkte Anwendung in der zur Saatgutgewinnung genutzten Kultur hindeuten, sind fett gedruckt dargestellt.

Tab. 1: Rückstände in Bio-Saatgut2010

Saatgut	Wirkstoff 1	Gehalt [mg/kg]	Wirkstoff 2	Gehalt [mg/kg]
Basilikum	Phoxim	0,027	-	-
Dill	Dimethomorph	0,024	-	-
Feldsalat	Azoxystrobin	0,520	Boscalid	5,17
Feldsalat	Boscalid	2,84	Iprodion	1,33
Kürbis	Pyraclostrobin	0,016	-	-
Möhre	Bifenthrin	0,026	Iprodion	0,840
Rote Beete	Iprodion	0,055	Pyraclostrobin	0,029
Rote Beete	Lindan	0,012	-	-
Rotkohl	Chlorpyrifos-ethyl	0,041	-	-
Weißkohl	Boscalid	0,021	Procymidon	0,373
Wirsing	Metalaxyl	0,016	-	-

Tab. 2: Rückstände in Bio-Saatgut2011

Saatgut	Wirkstoff 1	Gehalt [mg/kg]	Wirkstoff 2	Gehalt [mg/kg]
Feldsalat	Azoxystrobin	0,761	Boscalid	7,11
Feldsalat	Boscalid	1,31	Iprodion	1,93
Knollensellerie	Metalaxyl	0,112	-	-
Lauch	Metalaxyl	0,057	-	-

5. Zusammenfassung und Bewertung

Im Handel befanden sich in den Jahren 2010 und 2011 Saatgutpartien, die als Bio-Saatgut gekennzeichnet waren, aber nicht aus ökologischer, sondern aus konventioneller Produktion stammten. Es wurden u. a. hohe Gehalte der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe Azoxystrobin, Boscalid, Iprodion und Procymidon in verschiedenen Proben gefunden. Alle diese Wirkstoffe sind Fungizide. Ihr Einsatz in der Saatgutproduktion macht Sinn - speziell in Kulturen, die eine lange Zeit bis zur Reife des Samens benötigen und in dieser Zeit von pilzlichen Schaderregern bedroht sind. In der Produktion von Bio-Saatgut bedeutet ihr Einsatz jedoch eine Täuschung des Verbrauchers, die nicht hingenommen werden kann. Bei nachgewiesenem Verstoß gegen die EG-Öko-Basisverordnung wird den Erzeugern und Händlern der betroffenen Parteien untersagt, diese als Bio-Ware zu vermarkten.

6. Literaturangaben

BVL 2007: Methode L 00.00-115, 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: Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB, § 35 Vorläufiges Tabakgesetz, § 28b GenTG, Beuth Verlag, Berlin.

EG 2007: Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91, ABI. Nr. L 189 vom 20.07.2007, geändert durch: Verordnung (EG) Nr. 967/2008 des Rates vom 29. September 2008, ABI. Nr. L 264 vom 03.10.2008.

Verband deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.) 2008: Methode 3.3.7.1, Bestimmung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen in ausgewählten be- und verarbeiteten Futtermitteln mittels chromatographischer Verfahren und massenspektrometrischer Detektion. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. VII Umweltanalytik, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Anwendung neuer Prognosebereiche zur Beurteilung von Blutanalysen bei der Milchkuh

M. Steyer, T. Ettle, H. Spiekers

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Poing/Grub

1. Einführung

Für die Beurteilung der Stoffwechselsituation und der damit verbundenen Tiergesundheit wird häufig auf die Untersuchung bestimmter Stoffwechselfparameter im Blut zurückgegriffen. Die diagnostische Interpretation dieser Parameter wird allerdings durch das Fehlen einheitlicher Referenzwerte beeinträchtigt. In einem Beitrag von Kronschnabl et al. (2011) wurden zu dieser Problematik für die Parameter Aspartat-Aminotransferase (AST), Glutamatdehydrogenase (GLDH), γ -Glutamyltransferase (γ -GT), Bilirubin, Gesamtprotein, Harnstoff, Cholesterol, Glukose, Beta-Hydroxybutyrat (BHB) und freie Fettsäuren (NEFA) neue tierindividuelle Referenzwerte in Form von laktationsverlaufstypischen 95 %-Prognosebereichen vorgestellt (Kronschnabl, 2010). Diese beruhen auf einem umfangreichen Datenmaterial aus verschiedenen Einrichtungen und Versuchen und berücksichtigen die Faktoren Rasse (Fleckvieh und Deutsch Holstein), Laktationsnummer (einkalbig bzw. mehrkalbig), Energiesaldo zur Probenahme und Laktationswoche. Für die Anwendung in der Praxis wurden zusätzlich Prognosebereiche ohne Energiesaldo berechnet. Die Ergebnisse beider Prognosebereiche wurden in sogenannten prognosebereichsspezifischen Anwendungstabellen zusammengefasst. Im vorliegenden Beitrag sollte die Anwendung dieser neuen Prognosebereiche anhand eines Datensatzes von 30 frischlaktierenden Fleckviehkühen geprüft werden.

2. Material und Methoden

Im Rahmen eines Fütterungsversuchs über die ersten 100 Laktationstage hinweg wurden 10 Färsen und 20 Kühen der Rasse Fleckvieh jeweils 8 Blutproben entnommen (Tab. 1). In den Laktationswochen 1 bis 4, 8 und 11 wurden dabei folgende Blutparameter untersucht: AST, GLDH, NEFA, BHB und Glukose (BHB

und Glukose zusätzlich in den Wochen 5 und 6). Die Entnahme der Blutproben erfolgte präprandial an der V. jugularis externa (Halsvene) durch einen Veterinäringenieur. Die Analyse der verschiedenen Blutparameter wurde anschließend beim Tiergesundheitsdienst Bayern e.V. (TGD) durchgeführt. Die Tiere erhielten bedarfsgerechte Rationen entsprechend den Vorgaben der GfE (2001). Die Berechnung der Energiegehalte der Rationen erfolgte dabei unter Zugrundelegung der nach Standardmethoden (GfE, 1991) am Hammel ermittelten Verdaulichkeiten. Die für die Berechnung der Energiebilanz benötigten Parameter Futteraufnahme (automatische Wiegetröge), Milchleistung und Lebendmasse wurden täglich erfasst, während die Bestimmung der Milchinhaltsstoffe (Tagesgemelk) in einem wöchentlichen Rhythmus erfolgte. Die Berechnung der täglichen Energiesalden wurde anschließend aus der Differenz zwischen Energieaufnahme und dem Bedarf der Tiere für Erhaltung und Milchbildung berechnet (GfE, 2001).

Bei der Auswertung der Daten wurden gemäß der Vorgehensweise von Kronschnabl (2010) nur die Proben berücksichtigt, für die eine mittlere Energiebilanz über 7 Tage vor der Probenahme vorlag. Um die Vergleichbarkeit der beiden Prognosebereiche für die jeweiligen Blutparameter zu gewährleisten, wurden ausschließlich die Ergebnisse verwendet, für die Prognosebereiche mit und ohne Energiebilanz vorlagen. Eine Ausnahme bildete das GLDH, für das bei Kronschnabl (2010) generell keine Prognosebereiche mit Energiebilanz angegeben werden.

Tab. 1: Übersicht über die Untersuchung der verschiedenen Blutparameter in den Laktationswochen 1 bis 11 (30 Tiere)

Parameter	Laktationswoche										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AST	x	x	x	x				x			x
GLDH	x	x	x	x				x			x
Glukose	x	x	x	x	x	x		x			x
BHB	x	x	x	x	x	x		x			x
NEFA	x	x	x	x				x			x

3. Ergebnisse und Diskussion

Zur Einordnung der Leistung der Versuchstiere sind in Tabelle 2 die wichtigsten Produktionsparameter im Mittel der ersten 100 Laktationstage zusammengefasst. Die Kühe hatten mit 37 kg Milch (ECM) eine für Fleckvieh hohe Leistung mit einem entsprechend ausgedehnten Energiedefizit. Sie erreichten erst nach 12 Laktationswochen ein positives Energiesaldo. Dabei streute das mittlere Energiesaldo der Tiere deutlich zwischen +16 und -36 MJ NEL/d.

Tab. 2: Die wichtigsten Leistungsparameter der Versuchstiere im Mittel der ersten 100 Laktationstage (Mittelwert \pm Standardabweichung)

Parameter	ECM	Futtermittelaufnahme	Energiebilanz	Energiebilanz > 0
	[kg/d]	[kg TM/d]	[MJ NEL/d]	Laktationswoche
Färsen (n=10)	26,1 \pm 5,6	17,9 \pm 3,9	-3 \pm 25	6
Kühe (n=20)	36,8 \pm 7,4	21,8 \pm 4,5	-12 \pm 31	12

In Tabelle 3 wird die bereits angesprochene Bandbreite an Referenzbereichen von verschiedenen Laboratorien verdeutlicht. Als Ursachen hierfür sind die Vorgaben der Hersteller der jeweiligen Analysengeräte und unterschiedliche fachliche Vorgaben zu nennen. Insgesamt ist der vom TGD für die verschiedenen Parameter aufgeführte Referenzwert mit dem von anderen Laboratorien angegebenen Schwellenwert vergleichbar.

Tab. 3: Übersicht über Referenzbereiche von Blutparametern für Rinder aus diagnostisch tätigen Laboratorien (in Anlehnung an Kronschnabl 2010)

Parameter		TGD*	Metabovet	VetMed	Synlab	LVL
AST	U/l	<102	<78	15-105	<35	<78
GLDH	U/l	<17	<16	<25	<10	<16
BHB	mmol/l	<0,7	<1,5	<0,9	-	<1,5
NEFA	mmol/l	<0,5	<0,6	<0,7	-	<0,6
Glukose	mmol/l	2,5-3,3	>2,2	2,6-4,2	-	>2,2

* Tiergesundheitsdienst Bayern e.V., Grub

Die Anzahl der ausgewerteten Proben der verschiedenen Blutparameter, deren Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Tabelle zusammengefasst. Zusätzlich sind neben dem Referenzwert vom TGD die Spanne der Obergrenzen der neuen 95 %-Prognosebereiche (Kronschnabl, 2010) aufgelistet. Im Vergleich zum Referenzwert vom TGD liegen die neuen Prognosebereiche auf einem deutlich höheren Niveau. Die individuelle Berücksichtigung von Energiebilanz und Laktationswoche führte bei den Parametern AST, GLDH, BHB und Glukose (Obergrenze) zu einer deutlichen Erhöhung der Schwellenwerte um bis zu 218% (AST). Dieser Anstieg war auch bei den Prognosebereichen ohne Energiebilanz zu verzeichnen, allerdings in einem geringeren Ausmaß. Im Gegensatz dazu wurden mit fortschreitender Laktation und verbesserter Energiebilanz für NEFA und Glukose (Untergrenze) auch Verringerungen der Schwellenwerte beobachtet, so dass die 95 %-Prognosebereiche der beiden Parameter um den Referenzwert vom TGD streuten.

Tab. 4: Übersicht über die Anzahl (n) der ausgewerteten Proben, deren Mittelwert und Standardabweichung sowie die Referenzwerte vom Tiergesundheitsdienst (TGD) und die 95 %-Prognosebereiche mit und ohne Energiebilanz (EB)

Parameter	AST	GLDH	BHB	NEFA	Glukose
	[U/l]	[U/l]	[mmol/l]	[mmol/l]	[mmol/l]
n	162	187	147	162	215
Mittelwert	100	21	0,44	0,38	3,7
Standardabw.	±31	±23	±0,22	±0,29	±0,4
Referenzwerte:					
TGD	<102	<17	<0,7	<0,5	>2,5/<3,3
Obergrenzen der 95 %-Prognosebereiche:					
mit EB	129-222	-	0,75-0,94	0,40-1,09	2,1-2,9*/ 3,4-4,3
ohne EB	128-169	35- 70	0,91-1,02	0,44-0,78	2,3-2,8*/ 3,6-4,2

* Untergrenze

Im Mittel lagen die ermittelten Konzentrationen der verschiedenen Blutparameter sehr nah am Referenzwert vom TGD und im Fall von GLDH und Glukose sogar darüber (Tab. 4). Dementsprechend wurde ein großer Teil der Proben als

erhöht eingestuft (TGD). Das Ergebnis der Beurteilung der ermittelten Blutkonzentrationen mit den verschiedenen Bewertungssystemen ist dazu in Tabelle 5 zusammengefasst. Abweichungen vom Prognosebereich gelten als signifikant erfasst, wenn über 5 % der Proben außerhalb des entsprechenden Bereichs liegen (Kronsnabl, 2010), d. h. herdenbezogen gilt der entsprechende Parameter als auffällig. Demnach wurden vom TGD alle untersuchten Blutparameter als erhöht bewertet und mit den neuen Prognosebereichen die Konzentrationen von NEFA, Glukose und GLDH (Prognosebereich ohne Energiebilanz). Insgesamt konnte für die neuen Prognosebereiche eine deutlich geringere Anzahl an Grenzwertüberschreitungen verzeichnet werden (Tab. 5). Dabei wurden die Konzentrationen der Blutparameter mit wenigen Ausnahmen von beiden Prognosebereichen (mit und ohne Energiebilanz) gleich bewertet, ein für die Anwendung in der Praxis wichtiger Punkt.

Tab. 5: Einordnung der ermittelten Blutkonzentrationen der verschiedenen Parameter mit den Referenzwerten vom TGD und den 95 %-Prognosebereichen mit und ohne Energiebilanz (EB): Anzahl (n) und prozentualer Anteil der Grenzwertüberschreitungen

Parameter		AST [U/l]	GLDH [U/l]	BHB [mmol/l]	NEFA [mmol/l]	Glukose [mmol/l]
TGD**	n	63	76	12	47	184/1*
	%	39	41	8	29	86/1*
mit EB	n	7	-	3	22	50/1*
	%	4	-	2	14	23/1*
ohne EB	n	8	16	2	26	42/1*
	%	5	9	1	16	20/1*

* Untergrenze, ** Tiergesundheitsdienst Bayern e.V., Grub

Der Bewertung der Blutparameter stehen die erhobenen Tierdaten gegenüber. Über den gesamten Versuchsverlauf musste nur eine Kuh auf Stoffwechselstörungen (Ketose) behandelt werden, ansonsten wurde kein Tier klinisch auffällig oder zeigte Leistungsdepressionen. Daher müssen die Referenzwerte vom TGD als zu scharf eingestuft werden, denn herdenbezogen wurde ein Handlungsbedarf impliziert, der anhand der beobachteten Tiergesundheit nicht bestätigt werden konnte. Dies unterstreicht die Notwendigkeit der Überprüfung und Vereinheitlichung der gegenwärtig genutzten Referenzwerte.

Besonders auffällig war der hohe Anteil der Überschreitungen der Obergrenze bei Glukose deren biologische Relevanz allerdings fraglich ist, da die Blutglukose auch stressbedingt ansteigen kann. Unterschreitungen der vorgegebenen Blutglukosekonzentrationen waren insgesamt kein Problem und traten nur bei einer Probe auf. Von den neuen Prognosebereichen wurden neben der Glukose vor allem die NEFA als erhöht bewertet. Um zu prüfen, ob die Beurteilung der NEFA-Konzentrationen auf Grund gesteigerter Mobilisation von Körperfett berechtigt war, wurde der Verlauf der Körperkondition in Abhängigkeit der NEFA-Gehalte untersucht (Abb. 1). Dazu wurden die Tiere entsprechend ihrer NEFA-Konzentrationen (Versuchsmittel) in drei Gruppen eingeteilt. Gruppe 1 umfasste die fünf Tiere, mit den niedrigsten NEFA-Gehalten, während Gruppe 3 die fünf Tiere mit den höchsten Konzentrationen und Gruppe 2 die übrigen 20 Tiere beinhaltete. Die mittlere NEFA-Konzentration der Blutproben der Tiere aus Gruppe 3 war mit 0,70 mmol/l nahezu doppelt bzw. dreifach so hoch wie die der Tiere aus den Gruppen 2 (0,41 mmol/l) und 1 (0,26 mmol/l). Im Gegensatz dazu konnten bei den Verläufen der Körperkondition in Form des Body Condition Score (BCS) aber keine Unterschiede festgestellt werden. Es handelte sich bei den Tieren mit den hohen NEFA-Werten (Gruppe 3) zwar tendenziell um die fetteren Tiere, dennoch wurde kein exzessiver Fettabbau beobachtet der den erhöhten Anstieg der NEFAs begründen könnte. Da der BCS nur subkutane Fettreserven beurteilen kann, ist ein vermehrter Abbau viszeraler Speicher nicht ausgeschlossen. Ein übermäßiger Fettabbau, der den Stoffwechsel der Tier überlastete scheint aber unwahrscheinlich, da die Tiere hinsichtlich der BHB-Konzentrationen nicht auffällig wurden.

Einzeltierbezogen wurden auch mit den neuen Prognosebereichen Beispiele mit erhöhten Konzentrationen an AST, GLDH und NEFA beobachtet, die sich nicht in Form von Leistungsminderung oder gesundheitlichen Problemen äußerten. Kronschnabl (2010) beschrieb minimale Erhöhungen als diagnostisch unbedeutend, allerdings bleibt offen, wie geringfügige Erhöhungen konkret quantifiziert werden können. Die Größenordnung der Überschreitungen im vorliegenden Versuch schwankte deutlich, so dass ein Ausschluss der diagnostischen Relevanz nicht generell diskutiert werden konnte. Außerdem wurden die durch die Blutproben angedeuteten erhöhten Stoffwechselbelastungen bei einem Teil der Tiere durch erhöhte Fett-Eiweiß-Quotienten in der Milch untermauert. Da bei der Berechnung der neuen Prognosebereiche theoretisch auch Werte von subklinisch belasteten Tieren eingeflossen sind, sollten Überschreitungen der Prognosebereiche demnach auch über das subklinische Maß hinaus gehen.

Dies konnte im vorliegenden Versuch nicht bestätigt werden, zeigte aber, dass die Einordnung von Blutwerten nur als (evtl. frühzeitiger) Hinweis auf kritische Stoffwechselsituationen zu verstehen ist und eine genauere Untersuchung der betreffenden Einzeltiere nicht ersetzen kann.

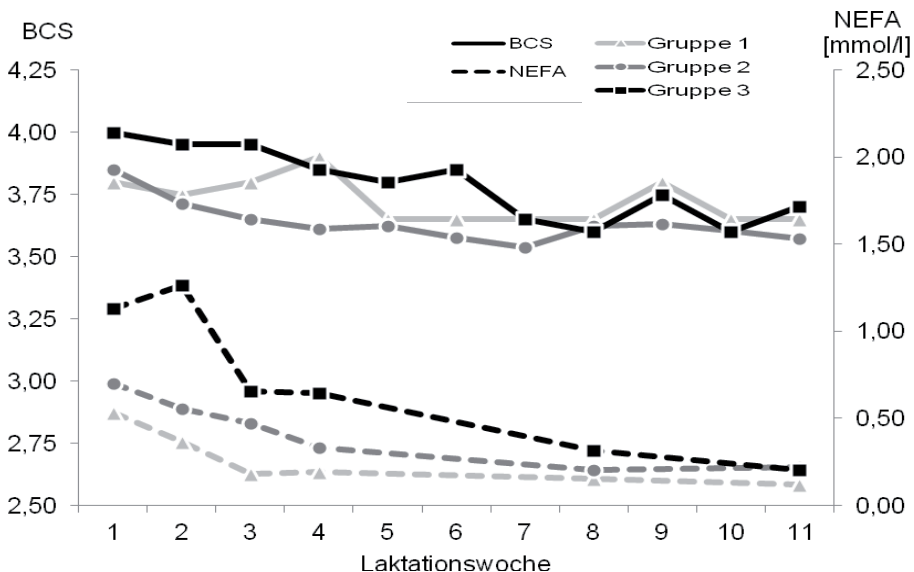


Abb. 1: Verlauf des Body Condition Score (BCS) und der NEFA-Konzentrationen im Serum im Laktationsverlauf (Gruppe 1: 5 Tiere mit der niedrigsten mittleren NEFA-Konzentration, Gruppe 2: 20 Tiere mit einer mittleren NEFA-Konzentration, Gruppe 3: 5 Tiere mit den höchsten mittleren NEFA-Gehalten)

4. Fazit

Die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen der ermittelten Konzentrationen der untersuchten Blutparameter AST, GLDH, BHB, NEFA und Glukose wurde mit den neuen Prognosebereichen deutlich reduziert. Damit passt die Einordnung der Blutwerte besser zum Gesamtbild der klinisch unauffälligen Versuchstiere. Dennoch konnten die als erhöht beurteilten Konzentrationen an NEFA (und Glukose) nicht mit den vorliegenden Tierdaten erklärt werden. Insgesamt konnten keine falsch-negativen Ergebnisse beobachtet werden. Die untersuchten Prognosebereiche ohne Energiebilanz zeigten sich als empfindlich genug und sind daher für die Anwendung in der Praxis als ausreichend genau zu betrachten.

Die Anwendbarkeit der neuen Prognosebereiche selbst ist durch das Füllen von Datenlücken, insbesondere die fehlenden Prognosebereiche für Gesamtprotein und BHB ohne Energiebilanz zu verbessern. Insgesamt ist sie mit einer entsprechenden Software zum ansonsten recht aufwendigen Auslesen der entsprechenden Prognosebereiche aus den Anwendungstabellen möglich. Um konkretere Aussagen zur Anwendung und Aussagekraft ableiten zu können, müssten Untersuchungen in problematischen Herden unter Einbeziehung klinisch kranker Tiere erfolgen.

Die Untersuchung unterstreicht noch einmal die Notwendigkeit einer sachlichen Festlegung zur Anwendung und Interpretation von Blutwerten bei der Milchkuh. Sie sollte in die Empfehlungen zur Anwendung von Blutproben der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft (DVG) und der DLG, welche auch die präanalytischen Bereiche umfassen, einfließen.

5. Literaturangaben

GfE, 1991: Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Roh Nährstoffen am Wiederkäuer. *J. Anim. Phys. Anim. Nutr.*, 65, 229-234.

GfE, 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 8, Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.

Kronschnabl, C., Spiekers, H., Preißinger, W., Stangassinger, M., Mahlkow-Nerge, K., Pries, M., Jilg, T., Losand, B., Schwarz, F., 2011: Ermittlung von laktationsspezifischen Prognosebereichen zur Beurteilung der Konzentration von Blutparametern beprobter Milchkühe. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 67/2011, in Druck.

Kronschnabl, C., 2010: Ermittlung von laktationsspezifischen Prognosebereichen zur Beurteilung der Konzentration von Blutparametern beprobter Milchkühe. Dissertation, LMU München: Tierärztliche Fakultät.

Entwicklung eines Strukturindexes aus der physikalisch effektiven NDF

K. Rutzmoser, T. Ettle

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Grub, Poing

1. Hinführung

Wiederkäuer sind auf eine hinreichende Versorgung mit strukturwirksamen, faserigen Futtermitteln angewiesen, um über die puffernde Wirkung des Speichels beim Wiederkauen die Säuerung im Pansen abzufangen. Zu tiefe pH-Werte im Pansen über längere Zeit führen zu einer verminderten Pansenmotorik und verringern die Futteraufnahme bis hin zur Futterverweigerung. Um solche gesundheitsschädlichen und leistungsmindernden Auswirkungen zu vermeiden, ist es hilfreich, die Strukturwirkung einer Futtermischung möglichst gut einzuschätzen. Bisher gebräuchliche Maßstäbe sind die strukturwirksame Rohfaser (Piatkowski et al., 1990) und der Strukturwert nach de Brabander et al. (1999), welche beide jedoch erkennbare Schwachpunkte aufweisen (Steingass und Zebeli, 2008).

Von der Arbeitsgruppe Hohenheim wurde herausgearbeitet, dass der pH-Wert die Fermentationsbedingungen im Pansen am besten beschreibt. Um subklinische Azidosen zu vermeiden, ist ein pH-Wert über 6,15 als Tagesmittenwert erforderlich (Zebeli et al., 2008). Als wirksame Kennwerte zeigte sich die physikalisch effektive NDF (peNDF) sowie die im Pansen abbaubare Stärke.

Das Ziel der hier vorgestellten Überlegungen ist eine Kennzahl, hier als Strukturindex bezeichnet, welche sowohl die Wirkung der strukturwirksamen Faserfraktion (peNDF) wie auch der im Pansen abbaubaren Kohlenhydrate auf die Pansenfermentation aufnimmt und damit die Strukturversorgung beschreibt. Ein solcher Strukturindex soll einfach anzuwenden sein und eine klare Aussage liefern. Die Herleitungen und Berechnungen werden am Beispiel eines Fütterungsversuches mit Milchkühen dargestellt.

2. Futterfaktoren und Pansen-pH

Die Arbeitsgruppe Hohenheim hat vorwiegend aus veröffentlichten Studien zu Fermentationsabläufen im Pansen abgeleitet, wie azidotische Zustände im Pansen von stabilen abzugrenzen sind. Ausgedrückt als Tagesmittenwert ergab sich ein pH-Wert von 6,15 als Schwellenwert, der zur Vermeidung von Pansezidose nicht unterschritten werden sollte. Als strukturwirksame Faserfraktion wurde in diesen Arbeiten die physikalisch effektive NDF (neutrale Detergentienfaser, peNDF) verwendet. In Futtermischungen wird dafür der Anteil an NDF über einem 1,18 mm-Sieb in der Schüttelbox angesetzt. Für die Abschätzung des pH-Wertes im Pansen als Tagesmittenwert wird nach Steingass und Zebeli (2008) neben der peNDF (% i. TM) der Anteil an abbaubarer Stärke (% i. TM, im Pansen abgebaut), sowie die Trockenmasseaufnahme (kg TM/Tag) heran gezogen und durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$\text{pH} = 6,05 + 0,044 * \text{peNDF}\% - 0,0006 * \text{peNDF}\%^2 - 0,017 * \text{abbaubare Stärke}\% - 0,016 * \text{TM-Aufnahme kg}$$

Dabei wird ein Zielwert von $\text{pH} > 6,15$ bis $6,27$ zur Vermeidung schädlicher, azidotischer Verhältnisse im Pansen angestrebt.

3. Daten aus Fütterungsversuch

Die Herleitung eines Strukturindex soll mit den Ergebnissen eines Fütterungsversuches mit Milchkühen in Grub vorgenommen werden. In diesem Fütterungsversuch wurde an eine Gruppe Grassilage verabreicht, in der anderen Gruppe diese gegen Luzernesilage ausgetauscht. Die Grundmischung als Mischration von Grund- und Kraftfutter wurde in Wiegetrögen verabreicht, zusätzliches Leistungskraftfutter wurde im Melksystem (Melkroboter) zugeteilt. In diesem Melksystem wurde auch die tägliche Milchmenge der Einzelkühe erfasst, die Milchhaltsstoffe wurden in 2-wöchigem Abstand gemessen. Insgesamt wurden 49 Einzelkühe mit 291 2-Wochenperioden in die Auswertung aufgenommen.

Die Nährstofffraktionen wurden aus den Gehalten in den Einzelfuttermitteln und deren Mischungsanteilen berechnet. Von den Einzelfuttermitteln lagen überwiegend Werte der Weender Analyse vor. Die Gehalte an Stärke, Zucker, NDFom und ADFom wurden mangels derzeit verfügbarer Einzelanalysen mit Tabellen-

werten besetzt. Mit den gespeicherten Aufnahmen an Futtermischung (Grundmischung als Mischration von Grund- und Krafftutter) aus den Wiegetrögen und dem im Melksystem zugeteilten und aufgenommenen Leistungskraftfutter wurde die Gesamtaufnahme an Rohnährstoffen berechnet. Die strukturwirksamen Faserfraktionen wurden als deren Anteile in Grobfuttermitteln (Gras-, Luzerne-, Maissilage, Stroh) definiert, somit die physikalisch effektive NDF (peNDF) als NDFom im Grobfutter gewertet (Steingass und Zebeli, 2010). Die im Pansen abbaubare Stärke (pab Stärke) wurde aus dem Stärkegehalt der Futtermittel und den zugehörigen Abbauraten der Stärke im Pansen nach DLG (2001) berechnet.

4. Strukturindex

Das Berechnungsprinzip eines Strukturindex wird hier allgemein festgelegt aus einer Faserfraktion im Zähler und der Summe dieser Faserfraktion und Kohlenhydraten im Nenner, ausgedrückt als Index von 100:

$$\text{Strukturindex} = \text{Faserfraktion} / (\text{Faserfraktion} + \text{Kohlenhydrate}) * 100$$

Ein derartig aufgebauter Index kann nur Werte zwischen 0 und 100 erreichen. Sind Faserfraktion und Kohlenhydrate gleich, ergibt der Index den Wert 50. Ist die Faserfraktion größer als die Kohlenhydrate, ergeben sich Indexwerte über 50, bei mehr Kohlenhydraten entsprechend kleinere Indexzahlen unter 50. Die Rechengrößen sollen so gestaltet sein, dass als Richtwert ein Index von 50 die kritische Schwelle zwischen azidotischen und stabilen Pansenbedingungen darstellt.

5. Anwendung auf den Fütterungsversuch

Aus den berechneten Mengen (kg/Tag) und Anteilen (% i.TM) wurden für die 2-Wochenperioden der Einzelkühe die aufgenommenen Menge an peNDF (NDForg im Grobfutter) und an abbaubaren Stärke (pab Stärke) in kg je Tag gegenübergestellt, wie in Abb. 1 aufgetragen.

Im Bereich höherer Stärkemengen bei niedrigeren Mengen an peNDF muss mit möglichen azidotischen Bedingungen im Pansen gerechnet werden. Wenn

sich aus der angeführten Schätzgleichung pH-Werte $\leq 6,15$ ergeben, wurden diese Fälle mit Rauten bezeichnet (pH-Klasse 1 im oberen Bereich in der Grafik). Wenn andererseits geringe Mengen an Stärke mit mehr peNDF verbunden sind, kann von stabilen Pansenbedingungen ausgegangen werden. Die Fälle mit pH-Schätzungen über 6,15 sind in der Abbildung 1 mit Quadraten beschrieben (pH-Klasse 2 im unteren Teil).

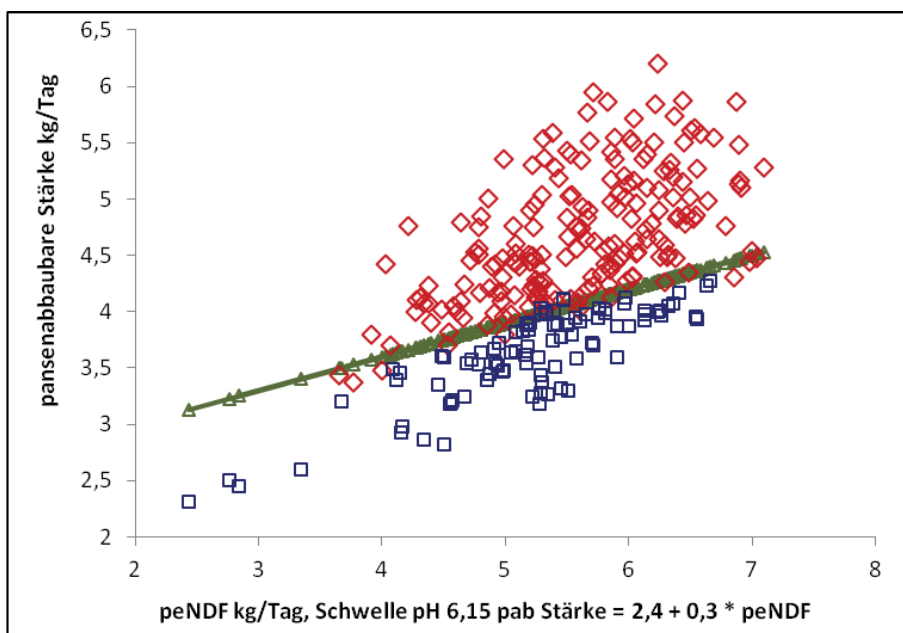


Abb. 1: peNDF und pansenabbaubare Stärke nach pH-Klassen

Die mit unterschiedlichen Symbolen bezeichneten beiden pH-Klassen lassen sich mit einer Schwellenlinie gut abtrennen. Diese Linie kann mit der folgenden approximativ abgeleiteten Gleichung beschrieben werden:

$$\text{pab Stärke (Schwelle pH 6,15)} = 2,4 + 0,3 * \text{peNDF}$$

Mit dieser Schwellenlinie ergibt sich die Menge an pab Stärke, welche bei der betreffenden peNDF einen pH-Wert von 6,15 erwarten lässt. Bei höheren Mengen an pab Stärke (oberhalb der Schwellenlinie) muss mit azidotischen Bedingungen gerechnet werden. Aus der Schwellengleichung lässt sich erkennen, dass der Anstieg an „verträglicher“ Stärke relativ gering ist, je kg peNDF beträgt die Steigerung an pab Stärke 0,3 kg.

Zu einem aussagefähigen Index lassen sich peNDF und pab Stärke in dieser Form aber nicht verrechnen, weil auf der Schwellenlinie der Wert sich verändert und nicht den angezielten Betrag von 50 ergibt.

6. Ableiten des Strukturindex

Um die angestrebten Eigenschaften des Strukturindex zu erzielen, wird die Schwellengleichung so umgeformt, dass die Schwellenlinie durch den 0-Punkt geht und gleichzeitig die Diagonale bildet.

Dies kann erreicht werden, wenn die Werte auf der Y-Achse, die pab Stärke in geeigneter Weise umgeformt (transformiert) werden. Ausgehend von der Schwellengleichung der pab Stärke bei pH 6,15:

$$\text{pab Stärke (pH-Schwelle 6,15)} = 2,4 + 0,3 * \text{peNDF}$$

wird die pab Stärke in folgender Weise in die umgeformte Stärke (umf Stärke) umgerechnet:

$$\text{umf Stärke} = (\text{pab Stärke} - 2,4) / 0,3$$

Es wird also die pab Stärke um das Absolutglied (2,4) vermindert und dann durch den Wert der Steigung (0,3) geteilt.

In der Abbildung 2 ist die Umformung dargestellt, indem die umgeformte Stärke mit größeren Symbolen der aufgenommenen Menge an peNDF (in kg je Tag) zugeordnet wird. Dabei sind wie in Abbildung 1 die Symbole für die pH-Klassen unterschieden. Die beiden pH-Klassen werden durch die eingezeichnete Schwellenlinie der umgeformten Stärke gut getrennt. Die Schwellenlinie der umgeformten Stärke stellt die Diagonale dar, die Werte auf der X-Achse (peNDF) sind gleich der Y-Achse (umf Stärke). Um die Umformung zu verdeutlichen, sind in Abbildung 2 die Ausgangswerte der pab Stärke mit der zugehörigen Schwellenlinie mit kleinen Symbolen enthalten.

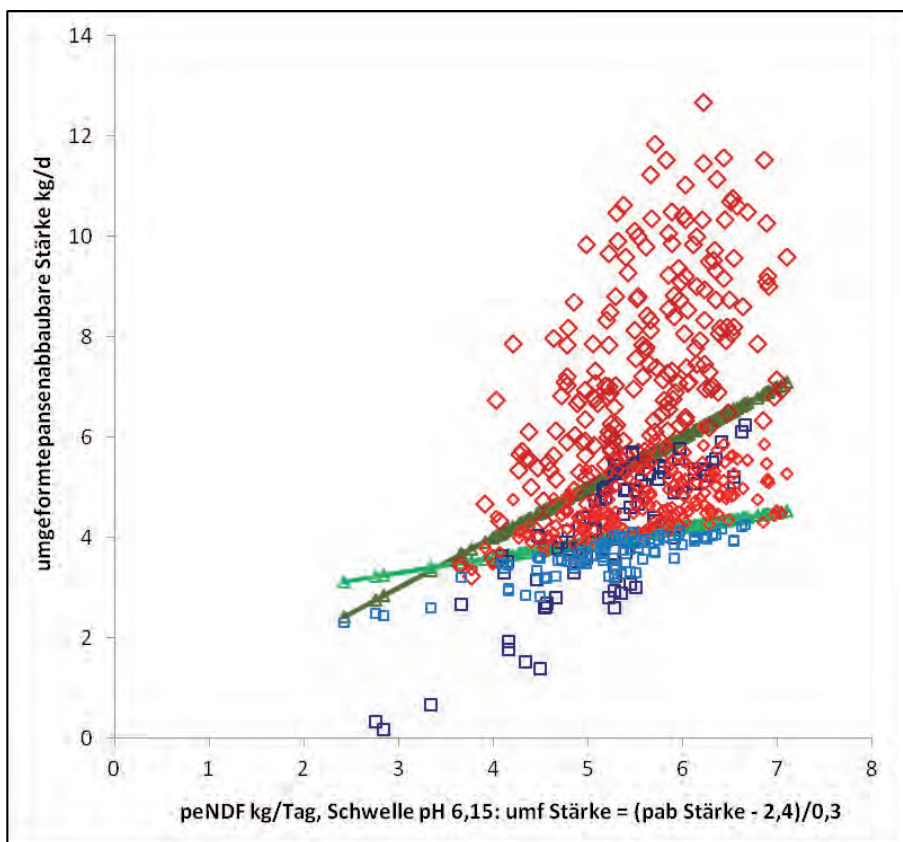


Abb.2: peNDF und umgeformte pansenabbaubare Stärke

Mit der umgeformten Stärke und der peNDF kann der Strukturindex berechnet werden. Entsprechend der vorher genannten Rechenregel für den Index ergibt sich diese Formel:

$$\text{Strukturindex} = \text{peNDF} / (\text{peNDF} + \text{umf Stärke}) * 100.$$

Es kann auch die Umrechnungsformel der umf Stärke aus der pab Stärke in die Indexberechnung eingesetzt werden:

$$\text{Strukturindex} = \text{peNDF} / (\text{peNDF} + (\text{pab Stärke} - 2,4) / 0,3) * 100.$$

Bei den Werten auf der Schwellenlinie ist die umf Stärke gleich der peNDF und der Index ist gleich 50. Liegt der Wert der umf Stärke über der Schwellenlinie,

wird der Nenner in der Indexformel größer und der Strukturindex kleiner 50. In solchen Fällen ist davon auszugehen, dass die aufgenommene pansenabbaubare Stärke im Verhältnis zur strukturwirksamen Faserfraktion (peNDF) zu groß ist und eine Pansenübersäuerung (pH unter 6,15) entstehen kann. Liegt die umf Stärke unter der Schwellenlinie, ergibt sich ein Strukturindex über 50 und es sind entsprechend stabile Pansenverhältnisse wahrscheinlich.

7. Weiterführung

Die hier dargestellten Ableitungen zum Strukturindex beziehen sich auf die von der Arbeitsgruppe Hohenheim verwendete physikalisch effektive NDF (peNDF) und pansenabbaubare Stärke. Im Grundsatz können die Ableitungen zum Strukturindex auf andere Faser- und Kohlenhydratfraktionen angewendet werden. Entsprechend der Datenlage zur Analytik der Futtermittel kann beispielsweise die Rohfaser im Grobfutter (GF-Rohfaser) als strukturwirksame Faser und die Summe von pansenabbaubarer Stärke und Zucker als pansenabbaubare Kohlenhydrate (pab KH) verwendet werden. Bei dieser Abwandlung wird das Grundprinzip der Abtrennung der pH-Klassen an der Schwellenlinie pH 6,15 auf das Diagramm von (strukturwirksamer) GF-Rohfaser und pansenabbaubaren Kohlenhydraten (pab Stärke + Zucker) in kg/Tag angewendet.

Aus den Daten des bisher verwendeten Fütterungsversuches läßt sich für GF-Rohfaser und pab KH die folgende Gleichung für die Schwelle des Pansen-pH von 6,15 ableiten:

$$\text{pab KH (pH-Schwelle 6,15)} = 2,7 + 0,7 \text{ GF-Rohfaser}$$

Für die Verrechnung im Strukturindex müssen in diesem Fall die pab KH so umgeformt werden, dass diese auf der Schwellenlinie die Diagonale darstellen, was der GF-Rohfaser entspricht. Die Umformung auf die Schwellengleichung von GF-Rohfaser und pab KH angewendet, ergibt diese Gleichung:

$$\text{umf KH} = (\text{pab KH} - 2,7) / 0,7$$

In diesem Fall werden die pab KH um das Absolutglied 2,7 vermindert und dann durch den Steigungswert 0,7 geteilt.

Für den Strukturindex aus GF-Rohfaser und pab KH werden deren Aufnahmemengen in kg/Tag in die Indexberechnung eingesetzt. Dazu können die umgeformten pansenabbauren KH verwendet werden:

$$\text{Strukturindex} = \text{GF-Rohfaser} / (\text{GF-Rohfaser} + \text{umf KH}) * 100.$$

Es kann auch die Umrechnungsformel der umf KH aus den pab KH in die Indexberechnung eingesetzt werden:

$$\text{Strukturindex} = \text{GF-Rohfaser} / (\text{GF-Rohfaser} + (\text{umf KH} - 2,7) / 0,7) * 100.$$

Die Aussagen dieses Strukturindexes aus GF-Rohfaser und pab KH sind der vorher gezeigten Ableitung (peNDF und pab Stärke) gleich zusetzen: Der Richtwert soll über 50 liegen, was auf eine hinreichende Versorgung mit strukturwirksamer Faser hinweist und stabile Pansenbedingungen erwarten lässt. Bei den Werten unter 50 sind in gleicher Weise Pansenübersäuerungen nicht auszuschließen. Aus den verwendeten Versuchsdaten ergeben sich nahezu identische Ergebnisse bei den beiden Varianten des Strukturindexes, so dass Berechnung und Anwendung des Strukturindexes zur Bewertung der Strukturversorgung an der verfügbaren Datenlage ausgerichtet werden kann.

8. Literatur

- De Brabander, D.L., De Boever, J.L., De Smett, A.M., Vanacker, J.M., Boucque, Ch.V., Bottermann, S.M., 1999: Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. In: Garnsworthy, P.C., Wiseman, J. (Eds.): Recent advances in animal nutrition. Nottingham Univ. Press, 111-145.
- DLG, 2001: Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh. DLG-Informationen 2/2001.
- Ettle, T., 2011: Luzernesilage im Austausch gegen Grassilage bei der Milchkuh. 123. VDLUFA-Kongress, Kurzfassungen der Referate, 56.
- Piatkowski, B., Gürtler, H., Voigt, J., 1990: Grundzüge der Wiederkäuerernährung. Gustav-Fischer-Verlag, Jena-Stuttgart.
- Steingass, H., Zebeli, Q., 2008: Strukturbewertung von Rationen für Milchkühe. 36. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 9.-10. April 2008, 19-25. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning.

Steingass, H., Zebeli, Q., 2010: Futterstruktur, Anforderungen an das Grobfutter für Milchkühe. BAT-Beratertagung Freising-Weihenstephan, Fachtagung 2010, Aktuelle Fragen der Fütterungsberatung. Tagungsunterlage, 53-64.

Zebeli, Q., Dijkstra, J., Tafaj, M., Steingass, H., Amataj, B.N., Drochner, W., 2008: Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of diet. J. Dairy Sci. 91, 2046-2066.

Einfluss von Menge und Abbaurate des Kraftfutters auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen bei unterschiedlichem Wachstumsstadium des Wiesenfutters

L. Gruber¹, A. Schauer¹, J. Häusler¹, S. Kirchhof², M. Urdl¹, A. Adelwöhrer¹, K.-H. Südekum³

¹ Institut für Nutztierforschung, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning, ² Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie, Universität Kiel, ³ Institut für Tierwissenschaften, Universität Bonn

1. Einleitung und Literaturübersicht

Um den Energie- und Nährstoffbedarf genetisch hochveranlagter Milchkühe decken zu können, sind sowohl eine hohe Grobfutterqualität als auch ein ausreichender Kraftfutteranteil der Ration erforderlich. Die Überschreitung pansenphysiologischer Grenzen durch zu hohe Kraftfutteranteile, rasch fermentierbare Kohlenhydrate, nicht ausreichende Partikelgröße und zu junges Wiesenfutter führt zu (subakuter) Pansenazidose (Ørskov, 1986; Nocek, 1997; Stone, 2004; Graf et al., 2005; Krause und Oetzel, 2005; Beauchemin und Yang, 2005; Yang und Beauchemin, 2007; Bramley et al., 2008; Dohme et al., 2008; Zebeli et al., 2008; Doepel et al., 2009; Colman et al., 2010). Neben dem Gehalt an strukturwirksamer, physikalisch effektiver Faser (peNDF; Mertens, 1997) wirkt auch die ruminale Abbaubarkeit der Stärke und die Höhe der Futteraufnahme auf die Säureproduktion im Pansen und somit auf den pH-Wert (De Visser, 1996; Steingäß und Zebeli, 2008; Gruber, 2009).

Kraftfutter mit Stärke von geringer Abbaubarkeit und/oder langsamer Abbaurrate bzw. mit einem hohen Gehalt an leicht abbaubarer Faser verringern die Säurebelastung im Pansen und somit das Auftreten von (subakuter) Pansenazidose (Van Vuuren et al., 1986; Steg et al., 1988; De Visser et al., 1992; De Visser, 1996; Keady und Mayne, 2001). Zu diesen Kraftfuttern zählen vor allem getrockneter Mais und Sorghum-Hirse. Zu den Kraftfuttern mit leicht abbaubarer Faser gehören insbesondere Trockenschnitzel, Sojaschalen sowie Rückstände von Zitrusfrüchten etc. (Sauvant et al., 2004; Gruber et al., 2005). Es ist auf Grund dieser positiven Wirkungen auf den Pansenstoffwechsel zu erwarten und wurde in

Versuchen mehrfach bestätigt, dass solche Kraffutter die Futteraufnahme und Milchleistung sowie auch den Milchfettgehalt erhöhen (Meijs, 1985; Jackson et al., 1991; Spörndly, 1991; Huhtanen, 1993; Huhtanen et al., 1995; Sutton et al., 1993; Aston et al., 1994; Weiss, 1995; Doherty und Mayne, 1996; Moorby et al., 1996; Keady et al., 1998; Dewhurst et al., 1999; Romney et al., 2000; Khalili et al., 2000 und 2001; Ipharraguerre et al., 2002; Cherney et al., 2003; Delahoy et al., 2003; Sayers et al., 2003; Silveira et al., 2007). Allerdings bedeutet der Rückgang von im Pansen fermentierbarer OM auch, dass die Menge an Mikrobenprotein und damit auch der Milcheiweißgehalt verringert werden. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, über die Energie- und Proteinversorgung hinausgehend, die im Zuge von Verdauung und Stoffwechsel entstehenden Vorstufen der in der Milchdrüse gebildeten Milchinhaltsstoffe zu berücksichtigen. Dabei wird in ketogene, aminogene sowie glukogene Nährstoffe unterschieden, welche die „Precursor“ für Fett, Protein und Laktose in der Milch darstellen (Tamminga, 2000). Die Versorgung an ketogenen, aminogenen und glukogenen Nährstoffen für die Milchsynthese wird durch den Typ der Kohlenhydrate (Faser- und Nichtfaser-Kohlenhydrate), deren Abbaurate und Abbaubarkeit sowie durch das Abbauverhältnis von Kohlenhydraten zu Protein im Pansen gesteuert (De Visser, 1996).

Im vorliegenden Versuch wurde daher der Einfluss von Menge und Abbaurate des Kraffutters auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen bei unterschiedlichem Vegetationsstadium des Wiesenfutters untersucht.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsplan und Futtrationen

Der Versuchsplan sah drei Kraffutter-Niveaus vor (0, 25, 50 % der Trockenmasse-Aufnahme [TM]) sowie zwei Abbauraten der Kraffutter im Pansen (Hoch „H“ und Niedrig „N“). Dies ergibt die fünf Kraffuttergruppen 0, H25, N25, H50, N50. Die Kraffutter waren folgendermaßen zusammengesetzt:

Kraffutter H

25% Gerste
25% Weizen
25% Roggen
25% Hafer

Kraffutter N

45% Mais
30% Sorghum-Hirse
10% Sojaschalen
10% Trockenschnitzel
5% Weizenkleie

Das Grobfutter setzte sich aus 75 % Grünfutter, 15 % Maissilage und 10 % Heu (1. Schnitt) zusammen (auf TM-Basis). Das Grünfutter wurde zwei Mal täglich *ad libitum* angeboten. Dieses Grünfutter wurde während der gesamten Vegetationsperiode in drei Aufwüchsen je 7 Wochen lang verfüttert. Der Einfluss des Vegetationsstadiums auf den Futterwert (Rohnährstoffe, Gerüstsubstanzen, ruminale Abbaubarkeit *in situ* und Verdaulichkeit *in vivo*) sowie auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen ist Gegenstand der Veröffentlichung von Gruber et al. (2010). In jener Arbeit ist auch Material und Methodik dieses dreijährigen Forschungsprojektes (2000, 2001, 2002, 2003) zum Einfluss des Vegetationsstadiums von Wiesenfutter sowie der Kraftfutterergänzung bei Milchkühen im Detail beschrieben. Auf Grund von Hagel (2. Aufwuchs 2000) und Hochwasser (3. Aufwuchs 2002) mussten diese zwei Aufwüchse im Jahr 2003 nachgeholt werden.

2.2 Fütterungsversuch mit Milchkühen

Von jedem Aufwuchs wurde während der 7 Wochen ein Fütterungsversuch mit 15 Milchkühen durchgeführt (Rasse Fleckvieh, Brown Swiss, Holstein Friesian). Die Kühe wurden für die weiteren Aufwüchse nicht verwendet, um den Einfluss des Laktationsstadiums auf Futteraufnahme und Milchleistung möglichst gering zu halten. Das Wiesenfutter wurde täglich ein Mal geerntet und in frischem Zustand an die Kühe (und Hammel des kontinuierlichen Verdauungsversuches; Nehring, 1963; Ombabi et al., 1999) gefüttert. Die Ergänzung mit Mineralstoffen erfolgte bedarfsgerecht als Differenz zwischen Bedarf (GfE, 2001) und dem Angebot an Mineralstoffen aus Grob- und Kraftfutter. Als Mineralfutter wurde kohlenaurer Futterkalk (38 % Ca), Viehsalz (37 % Na) und eine phosphorreiche Mineralstoffmischung (9,2 % Ca, 12,6 % P, 4,3 % Mg, 11,7 % Na) verwendet. Die Ergänzung an Spurenelementen und Vitaminen erfolgte konstant mit einer Vormischung (120 g je Tag). Die mit dem Vegetationsstadium und Kraftfutterniveau sich ändernde ruminale N-Bilanz (RNB; GfE, 2001) wurde mit Futterharnstoff ausgeglichen. Die 15 Kühe wurden jeweils 5 Kraftfutter-Gruppen möglichst gleicher Milchleistung und Futteraufnahme zu je 3 Tieren zugeteilt.

Die Milchleistung wurde in der 2. Woche vor Versuchsbeginn bei bedarfsgerechtem Kraftfutareinsatz erhoben und die Futteraufnahme in der 1. Woche vor Versuchsbeginn bei einem konstanten Kraftfutteranteil von 25 % der TM. Beide Parameter wurden als Basis für die Gruppeneinteilung verwendet und auch als Kovariable im statistischen Modell berücksichtigt. Die Futteraufnahme wurde

individuell für jedes Tier zu jeder Mahlzeit erhoben, indem von jedem Futtermittel die Ein- und Rückwaage inklusive TM-Gehalt festgestellt wurde. Die Fütterungszeit dauerte 8 Stunden (04:30-08:30 Uhr und 15:00-19:00 Uhr). Die Futtermittel wurden in der Reihenfolge (1) Kraftfutter inkl. Mineralstoffe, (2) Heu, (3) Maissilage und (4) Grünfutter angeboten. Die Milchleistung wurde bei jeder Melkung (05:00 und 16:00 Uhr) erhoben (mittels Tru-Test von Westfalia). Die Milchanalyse erfolgte mit einem MilcoScan MSC-605, Foss Electric) aus einer Sammelprobe pro Tag. Die Kühe wurden ein Mal pro Woche um die gleiche Tageszeit (13:00 Uhr) gewogen.

2.3 Statistische Auswertung

Die Daten wurden mit dem Programm SAS (2010) nach der Prozedur GLM statistisch ausgewertet. In den Ergebnistabellen werden die LS means und die gepoolte Standardabweichung innerhalb Gruppen (RSD, Wurzel Durchschnitts-quadrat Rest) sowie die P-Werte für die Effekte und das Bestimmtheitsmaß R^2 angeführt.

$$y_{ijklmn} = A_i + W_j + J_k + K_l + R_m + L_n + (A \times W)_{ij} + (A \times K)_{il} + (W \times K)_{jl} + b_1 T_{vVb} + b_2 I_{vVb} + b_3 M_{vVb} + b_4 F_{vVb} + b_5 E_{vVb} + e_{ijklmn}$$

A_i = fixer Effekt Aufwuchs i , $i = 1, 2, 3$
 W_j = fixer Effekt Woche j , $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$
 J_k = fixer Effekt Jahr k , $k = 1, 2, 3, 4$
 K_l = fixer Effekt Kraftfutter-Gruppe l , $l = 1, 2, 3, 4, 5$
 R_m = fixer Effekt Rasse m , $m = 1, 2, 3$
 L_n = fixer Effekt Laktationszahl n , $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$
 $(A \times W)_{ij}$ = Interaktion Aufwuchs $i \times$ Woche j
 $(A \times K)_{il}$ = Interaktion Aufwuchs $i \times$ Kraftfutter-Gruppe l
 $(W \times K)_{jl}$ = Interaktion Woche $j \times$ Kraftfutter-Gruppe l
 $b_1 T_{vVb}$ = Kovariable Laktationstag vor Versuchsbeginn
 $b_2 I_{vVb}$ = Kovariable Futteraufnahme vor Versuchsbeginn
 $b_3 M_{vVb}$ = Kovariable Milchleistung vor Versuchsbeginn
 $b_4 F_{vVb}$ = Kovariable Milchfettgehalt vor Versuchsbeginn
 $b_5 E_{vVb}$ = Kovariable Milcheiweißgehalt vor Versuchsbeginn
 e_{ijklmn} = Restkomponente

Im statistischen Modell zur Auswertung des Versuches waren die Effekte „Aufwuchs“, „Woche“ und „Jahr“ sowie die Interaktion „Aufwuchs x Woche“ und die „Krafftutter-Gruppe“, „Rasse“ und „Laktationszahl“ sowie die Interaktionen „Aufwuchs x Krafftutter-Gruppe“, „Woche x Krafftutter-Gruppe“ und die Kovariablen „Laktationstag vor Versuchsbeginn“, „Futteraufnahme vor Versuchsbeginn“, „Milchleistung vor Versuchsbeginn“, „Milchfettgehalt vor Versuchsbeginn“ und „Milcheiweißgehalt vor Versuchsbeginn“ enthalten:

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Charakterisierung der Versuchsfuttermittel

Die im Fütterungsversuch eingesetzten Futtermittel (Grünfütter, Heu, Maissilage, Krafftutter H und N) sind in Tabelle 1 beschrieben. Der Einfluss von Aufwuchs und Vegetationsstadium auf den Futterwert von Wiesenfutter wird bei Gruber et al. (2010) ausführlich diskutiert, hier wird nur Mittelwert, Streuung und Spannweite angeführt.

Der Rohproteingehalt [XP] des **Wiesenfutters** betrug im Durchschnitt 170 g, mit einer Spannweite von 84-235 g/kg TM. Einen ebenfalls weiten Streubereich ergaben die Rohfaser [XF] (283 g, 203-356 g/kg TM) sowie die Gerüstsubstanzen [NDFom] (581 g, 494-667 g/kg TM). Über einen entsprechend weiten Bereich spannten sich auch die Verdaulichkeit [dOM] (Mittelwert 71,1 %, 58,0-81,2 %) und die Parameter der *in situ*-Abbaubarkeit nach Ørskov und McDonald (1979). Die Abbauraten [c] der organischen Masse [OM] des Wiesenfutters betrug im Durchschnitt 6,6 %/h, mit einer Spannweite von 3,9-10,2 %/h (nach Kirchhof, 2007). Die potenzielle Abbaubarkeit [a + b] belief sich auf 79,5 % (71,1-88,9 %). Die Verdaulichkeit der Rohfaser [XF] und Gerüstsubstanzen [NDFom] verringerte sich im Lauf der Vegetation noch deutlicher als die OM. Dementsprechend wies der Energiegehalt einen Bereich von 4,53-6,78 MJ NEL/kg TM auf, bei einem Mittelwert von 5,68 MJ NEL. Auch die Mineralstoffe zeigten eine starke Abhängigkeit von Vegetationsstadium sowie von Aufwuchs.

Der mit fortschreitender Vegetation einhergehende Anstieg der Gerüstsubstanzen und die intensive Lignifizierung sind in vielen Futterwert-Tabellen (u. a. INRA, 1989 und 2007; DLG, 1997; RAP, 1999; NRC, 2001; ÖAG-Futterwerttabellen, 2006) und Untersuchungen dokumentiert. Die Ursache für die verminderte Abbaubarkeit liegt in der zunehmenden Lignifizierung der Gerüstsubstanzen, die den Zutritt der fibrolytischen Enzyme an den Lignin-Kohlenhydrat-Komplex räumlich behindert (Jung und Deetz, 1993).

Tab. 1: Beschreibung der Versuchsfuttermittel

Parameter	Einheit	Wiesenfutter frisch				Heu 1. Aw.	Mais- silage	Krafftutter	
		Mittel	± s	Min	Max			H	N
Rohnährstoffe (Weender Analyse; nach VDLUFA, 1976)									
TM	g/kg FM	171	23	133	262	871	303	875	878
XP	g/kg TM	170	32	84	235	129	87	133	116
XL	g/kg TM	22	3	17	33	18	31	19	35
XF	g/kg TM	283	34	203	356	300	241	57	73
XX	g/kg TM	419	26	352	466	469	591	766	743
XA	g/kg TM	107	14	88	141	84	50	25	33
Gerüstsubstanzen und Nichtfaser-Kohlenhydrate (Van Soest et al., 1991)									
NDFom	g/kg TM	581	47	494	667	568	476	236	221
ADFom	g/kg TM	339	39	251	428	336	275	72	98
ADLom	g/kg TM	42	8	22	57	35	32	14	13
NFC	g/kg TM	121	33	35	190	201	357	586	595
Parameter der <i>in situ</i> -Abbaubarkeit OM (nach Dissertation Kirchhof, 2007)									
a	%	17,5	5,2	9,0	29,9	22,1	14,3	7,9	9,7
b	%	62,0	4,7	51,9	72,1	59,7	59,4	74,5	83,3
c	%/h	6,6	1,7	3,9	10,2	4,6	3,6	27,9	4,3
a+b	%	79,5	4,6	71,1	88,9	81,8	73,8	82,4	93,0
ED2	%	64,1	6,3	53,2	77,4	62,8	52,0	76,6	66,3
ED5	%	51,5	6,8	38,8	66,4	49,2	38,4	69,2	47,8
ED8	%	44,1	6,6	31,4	59,4	42,1	31,9	63,1	38,4
Verdaulichkeit der Nährstoffe und Gerüstsubstanzen									
dOM	%	71,1	5,4	58,0	81,2	68,8	70,5	82,5	86,8
dXP	%	71,9	5,9	49,5	87,2	61,6	54,1	67,6	59,0
dXL	%	21,9	12,8	0,0	48,5	27,7	76,7	61,9	68,6
dXF	%	73,0	6,5	48,7	86,1	68,7	62,4	49,1	71,4
dXX	%	72,0	6,2	56,5	85,2	72,2	75,9	93,3	99,8
dNDF	%	72,3	7,3	52,9	84,5	67,6	56,3	52,5	75,6
dADF	%	68,9	6,6	51,2	81,2	62,7	54,6	41,4	67,4
dNFC	%	73,3	5,1	65,0	82,6	80,7	92,9	98,6	97,5
Proteingehalt (nXP-System) und Energiekonzentration (nach GfE, 2001)									
degXP	g/kg TM	84,7	0,7	83,2	86,6	78,6	75,0	81,1	56,3
nXP	g/kg TM	131	12	104	152	127	127	157	168
RNB	g/kg TM	6,2	3,7	-3,1	13,2	0,3	-6,5	-3,8	-8,4
DOMD	g/kg TM	635	47	528	725	631	670	805	840
ME	MJ/kg TM	9,59	0,75	7,94	11,09	9,43	10,27	12,31	12,95
NEL	MJ/kg TM	5,68	0,53	4,53	6,78	5,55	6,13	7,66	8,16
Mengenelemente									
Ca	g/kg TM	7,6	1,7	4,2	11,1	5,6	2,2	1,1	2,1
P	g/kg TM	2,9	0,4	2,1	3,9	2,4	2,1	3,5	3,4
Mg	g/kg TM	2,9	0,8	1,7	4,6	2,4	1,7	1,3	1,6
K	g/kg TM	29,1	4,3	18,3	37,8	25,8	13,1	6,2	7,8
Na	g/kg TM	0,72	0,63	0,23	2,90	0,27	0,07	0,08	0,56

Zur Stabilisierung der Fermentationsvorgänge im Pansen wurde das Wiesenfutter im Fütterungsversuch mit 10 % **Heu** und 15 % **Maissilage** ergänzt. Das Heu (1. Aufwuchs) wies einen Gehalt an Rohfaser von 300 g/kg TM auf und an NDFom von 568 g/kg TM. Verdaulichkeit und Energiekonzentration beliefen sich auf 68,8 % dOM bzw. 5,55 MJ NEL. Entsprechend der Grenzlage für Silomais im alpinen Raum betrug der Gehalt an Rohfaser 241 g/kg TM und an NDFom 476 g/kg TM. Der Energiegehalt war mittelmäßig und betrug 6,13 MJ NEL und die Verdaulichkeit [dOM] wies 70,5 % auf. Bei ähnlicher Verdaulichkeit (68,8 vs. 70,5 %) unterschieden sich Heu und Maissilage deutlich in der Abbaubarkeit (49,2 vs. 38,4 % effektive Abbaubarkeit ED5) sowie Abbauraten (4,6 vs. 3,6 %/h). Die Verdauung des Heus erfolgte also zu größeren Anteilen in den Vormägen, während Maissilage in stärkerem Maß im hinteren Verdauungstrakt verdaut wurde.

Entsprechend dem Versuchsplan unterschieden sich die **Krafftutter H** und **N** grundsätzlich in ihrem Abbauverhalten im Pansen (Tab. 1). Die Abbauraten [c] der OM machte in Krafftutter H 27,9 und in N 4,3 %/h aus. Bei einer Passagerate von 5 % bedeutet dies eine effektive Abbaubarkeit [ED5] von 69,2 bzw. 47,8 %. Dagegen war die potenzielle Abbaubarkeit sowie die Verdaulichkeit der OM in Krafftutter H niedriger als in N (82,4 vs. 93,0 % [a + b] sowie 82,5 vs. 86,8 % [dOM]). Somit wird offensichtlich, dass die Abbauraten und die Passageraten den Ort und das Ausmaß der Verdauung maßgeblich steuern (Waldo et al., 1972; Russell et al., 1992; Sniffen et al., 1992). Da bei der Fermentation durch die Mikroorganismen gänzlich andere Stoffwechselprodukte entstehen (nämlich die flüchtigen Fettsäuren Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure) als bei der enzymatischen Verdauung im unteren Verdauungstrakt (im wesentlichen Glukose, Aminosäuren und langkettige Fettsäuren) kommt es zu einer deutlich unterschiedlichen Anflutung an ketogenen, aminogenen und glukogenen Nährstoffen für die Milchsynthese (Tamminga, 2000).

3.2 Ergebnisse des Fütterungsversuches mit Milchkühen

Die Ergebnisse des Fütterungsversuches mit Milchkühen sind in Tabelle 2 und den Abbildungen 1 bis 4 angeführt. Es sind die LS-Mittelwerte der 5 Krafftuttergruppen [0, H25, N25, H50, N50] (Haupteffekt **Krafftutter**) sowie die P-Werte des Haupteffektes **Krafftutter** und dessen Wechselwirkung zu Aufwuchs (**KF** × **Aw**) und Vegetationswoche (**KF** × **Wo**) angegeben.

Mit steigendem Krafftutterniveau ging die Grobfutteraufnahme nahezu linear von 15,5 auf 9,8 bzw. 10,4 kg TM in den Gruppen H und N zurück (hohe und niedrige Abbauraten des KF). Daraus errechnet sich eine mittlere Grobfutterverdrän-

gung von 0,54 kg TM (0,60 vs. 0,50 kg TM in H bzw. N). Die mit steigenden Kraftfuttergaben abnehmende Grobfutteraufnahme lässt sich einerseits mit erhöhter Säurebelastung im Pansen erklären und andererseits mit der durch Kraftfutter verbundenen Energieübersorgung der Kühe (Faverdin et al., 1991; Gruber, 2007). Die geringere Grobfutterverdrängung und somit höhere Gesamtfutteraufnahme bei niedriger Abbaurate des Kraftfutters (N) bestätigt die in der Literaturübersicht diskutierten Arbeiten (Abschnitt 1), wonach in vielen Fällen mit Kraftfutter von niedriger Abbaurate bzw. Abbaubarkeit eine höhere Gesamtfutteraufnahme erzielt wurde (Meijs, 1985; Jackson et al., 1991; Spöndly, 1991; Huhtanen, 1993; Huhtanen et al., 1995; Sutton et al., 1993; Aston et al., 1994; Weiss, 1995; Doherty und Mayne, 1996; Moorby et al., 1996; Keady et al., 1998; Dewhurst et al., 1999; Romney et al., 2000; Khalili et al., 2000 und 2001; Ipharraguerre et al., 2002; Cherney et al., 2003; Delahoy et al., 2003; Sayers et al., 2003; Silveira et al., 2007). Die Aufnahme an NDF (g/kg Lebendmasse) war in den Gruppen N ebenfalls etwas höher und betrug im Durchschnitt 13,2 g. Mertens (1994) gibt die mittlere Aufnahme an NDF mit 12,5 g/kg LM an, wenn die Futteraufnahme der Tiere vorrangig physikalisch reguliert wird. Verbunden mit dem höheren Energiegehalt des Kraftfutters N resultierte die höhere Futteraufnahme in einer signifikant höheren Energieaufnahme der Tiere mit Kraftfutter N. Mit Ausnahme der NDF-Aufnahme bestand zwischen **Kraftfutter** und **Aufwuchs** bzw. **Vegetationswoche** in allen Parametern der Futter- und Nährstoffaufnahme eine signifikante Wechselwirkung (Abb. 3 und 4).

Mit steigendem Kraftfuttelniveau ging der Proteingehalt der Gesamtration von 16 auf 15 % zurück. Allerdings waren die Pansenmikroben in allen Gruppen ausreichend mit RDP (rumen degradable protein) versorgt, wie die positiven Werte der ruminalen N-Bilanz [RNB] zeigen (GfE, 2001). Die Kühe erhielten durchschnittlich 35, 31, 37, 69 bzw. 90 g Harnstoff pro Tag (Werte nicht in Tab. 2 angeführt).

Die Milchleistung stieg mit zunehmendem Kraftfutterangebot an, allerdings nicht linear, sondern in degressiver Form. Im Mittel beider Kraftfutter (H, N) erhöhte sich die Milchleistung bis zum Kraftfutteranteil von 25 % um 0,87 kg pro kg TM Kraftfutter und nur um 0,43 kg im Kraftfutterbereich 25 bis 50 %. Hinsichtlich Kraftfuttertyp war Gruppe N in beiden Kraftfuttelniveaus überlegen (21,7 vs. 23,1 kg Milch (25 % KF) bzw. 23,6 vs. 25,6 kg Milch (50 % KF)). Die mit steigendem Kraftfutterangebot abnehmende „Response“ an Milchleistung haben Coulon und Remond (1991) in einer Meta-Analyse umfangreicher Literaturdaten bestätigt und die Energiebilanz als die wesentliche Ursache für die abnehmende

Milchleistungssteigerung herausgearbeitet. Im vorliegenden Versuch war die Energiebilanz in KF0 negativ (-9,9 MJ NEL), in KF25 etwa ausgeglichen (im Mittel -1,4 MJ NEL) und in KF50 stark positiv (im Mittel +19,0 MJ NEL pro Tag).

Aus der Meta-Analyse von Coulon und Remond (1991) sowie der zusammenfassenden Auswertung der in Gumpenstein durchgeführten Fütterungsversuche (Gruber, 2007) und der vorliegenden Arbeit ist abzuleiten, dass ein steigendes Energieangebot über Kraffutter zu einer abnehmenden Steigerung der Milchleistung führt. Die Ursache dafür liegt einerseits in der sogenannten Grobfutterverdrängung, die umso größer ist, je höher die Energiebilanz einer Kuh ist (Faverdin et al., 1991). Weiters reduziert sich der tatsächliche Energiegehalt einer Ration gegenüber dem theoretischen, wenn das Futterniveau und/oder der Kraffutteranteil ansteigen (sog. negative associative effects zwischen Grund- und Kraffutter; INRA, 1989). Andererseits kann zusätzlich zugeführte, über den Bedarf hinausgehende Energie nicht vollständig in Milchleistung umgesetzt werden, wenn das genetisch festgelegte Leistungspotenzial ausgeschöpft ist. Somit wird überschüssige Energie in verstärktem Maß als Körperansatz verwertet, was die Kraffutthereffizienz zusätzlich vermindert.

Tab. 2: Ergebnisse des Fütterungsversuches mit Milchkühen

Parameter	Einheit	Kraftfutter-Gruppe					RSD	P-Werte		R ²
		0	H25	N25	H50	N50		KF	KF × Aw KF × Wo	
Lebendmasse	kg	629	652	637	639	622	38	0,000	0,000	0,631
Futter- und Nährstoffaufnahme (pro Tag)										
Grobfutter	kg TM/d	15,5	12,8	13,4	9,8	10,4	1,0	0,000	0,000	0,878
Kraffutter	kg TM/d	0,0	4,4	4,6	9,5	10,3	0,8	0,000	0,000	0,964
Gesamtfutter	kg TM/d	15,7	17,5	18,3	19,7	21,0	1,3	0,000	0,000	0,781
NDF pro LM	g/kg	14,0	12,8	13,6	12,4	13,2	1,3	0,000	0,000	0,553
XP	g/d	2499	2669	2730	3021	3083	223	0,000	0,000	0,818
nXP	g/d	2023	2375	2545	2796	3101	193	0,000	0,000	0,854
NEL	MJ/d	89,1	107,9	115,6	130,3	144,3	9,1	0,000	0,000	0,864
Nährstoffkonzentration (in der TM)										
XP	g/kg TM	159	152	148	154	147	7	0,000	0,000	0,838
XF	g/kg TM	275	220	223	168	173	9	0,000	0,018	0,961
NDF	g/kg TM	558	475	471	399	388	15	0,000	0,025	0,952
ME	MJ/kg TM	9,58	10,26	10,43	10,88	11,22	0,18	0,000	0,244	0,932
NEL	MJ/kg TM	5,68	6,17	6,30	6,63	6,89	0,13	0,000	0,248	0,935
RNB	g/kg TM	4,8	2,6	1,5	1,8	-0,2	1,0	0,000	0,000	0,849
Milchleistung (pro Tag)										
Milchleistung	kg/d	18,5	21,7	23,1	23,6	25,6	2,0	0,000	0,000	0,881
Fettgehalt	%	4,33	4,38	4,28	3,97	4,16	2,02	0,000	0,000	0,881
Proteingehalt	%	3,16	3,28	3,24	3,42	3,36	2,02	0,000	0,000	0,881
Harnstoff	mg/kg	28,0	23,3	19,9	18,3	13,1	5,0	0,000	0,001	0,670
ECM	kg/d	18,9	22,4	23,5	23,4	25,9	2,3	0,000	0,000	0,854
Milch aus GF	kg/d	16,4	11,3	12,6	6,1	7,3	2,0	0,000	0,000	0,865
Milch aus GES	kg/d	16,4	21,9	24,5	29,1	33,7	2,9	0,000	0,000	0,861
NEL-Bilanz	MJ/d	-9,9	-3,8	1,1	15,7	22,3	9,4	0,000	0,088	0,769

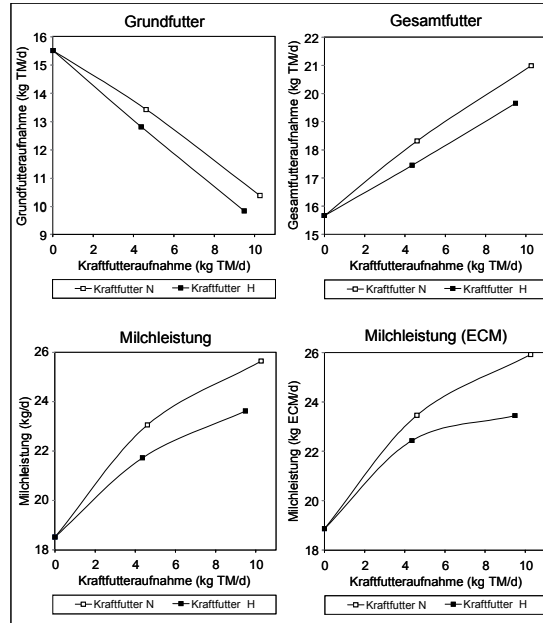


Abb. 1: Einfluss von Menge und Abbaurrate des Kraftfutters auf Futteraufnahme und Milchleistung (Haupteffekt Kraftfutter)

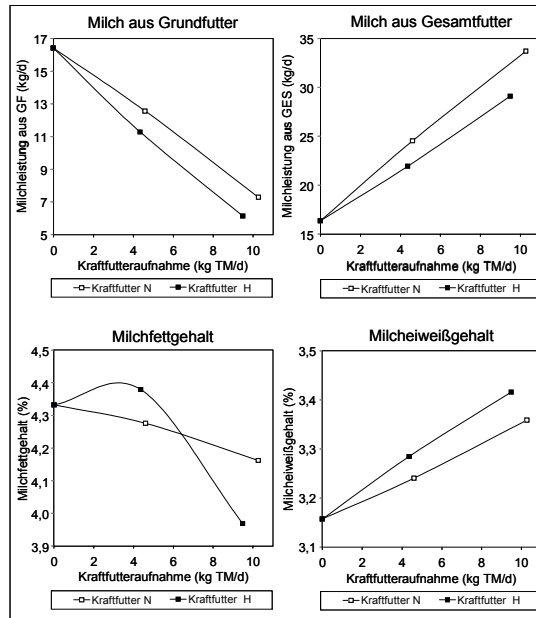


Abb. 2: Einfluss von Menge und Abbaurrate des Kraftfutters auf Milcherzeugungswert und Milch Inhaltsstoffe (Haupteffekt Kraftfutter)

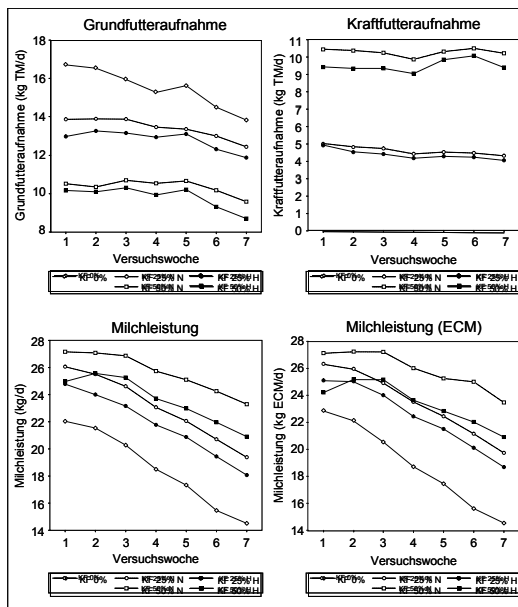


Abb.3: Einfluss von Menge und Abbaurrate des Krafftutters auf Futteraufnahme und Milchleistung (Wechselwirkung Krafftutter x Woche)

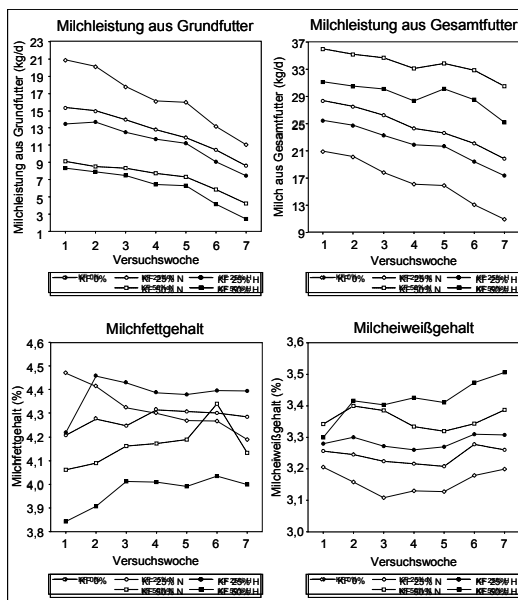


Abb.4: Einfluss von Menge und Abbaurrate des Krafftutters auf Milcherzeugungswert und Milch Inhaltsstoffe (Wechselwirkung Krafftutter x Woche)

Als ganz entscheidender Einflussfaktor der Krafftutterwirkung hat sich auch die Dauer eines Fütterungsregimes (Krafftutterniveaus) erwiesen. Bei kurzfristiger Unterversorgung mit Krafftutter mobilisieren Kühe ihre Körperreserven. Die dabei festgestellte, nur relativ geringe Verminderung der Milchleistung ergibt dadurch gegenüber normversorgten Tieren eine scheinbar geringe Verwertung der mit dem Krafftutter zugeführten Energie. Nachdem das Mobilisationsvermögen (bis zum vollständigen Verbrauch der Körperreserven) zeitlich begrenzt ist, wird die tatsächliche Krafftutterwirkung erst bei langfristiger Anwendung (bzw. Betrachtung) sichtbar.

Neben der Menge des Krafftutters hat auch der Typ (hohe vs. niedrige Abbaurate) einen Einfluss auf die Milchleistung und Milchinhaltsstoffe. Wenn auch die in der Literatur vorliegenden Ergebnisse (siehe Literaturübersicht in Abschnitt 1) nicht in allen Fällen eine Steigerung der Milchleistung zeigen, so ist doch zu erwarten, dass im Falle von erhöhter Futteraufnahme – durch günstigere Pansenbedingungen – auch die Milchleistung ansteigt sowie durch einen höheren Anteil an Azetat auch ein höherer Milchfettgehalt festzustellen ist. Dem steht allerdings ein Rückgang von im Pansen fermentierbarer OM gegenüber, der zu einer geringeren mikrobiellen Proteinsynthese führt, was häufig auch den Milcheiweißgehalt vermindert. Im vorliegenden Versuch erzielten die Kühe mit Krafftutter N gegenüber H eine um 1,4 kg (25 % KF) bzw. 2,0 kg (50 % KF) höhere Milchleistung. Besonders bei hohem Krafftutteranteil fiel die Gruppe H gegenüber N deutlich in der ECM-Leistung ab, was auch vom bemerkenswerten Rückgang des Fettgehaltes herrührt. Mit steigendem Krafftutteranteil ging – wie zu erwarten – der Milchfettgehalt zurück, ganz besonders beim stärkereichen Krafftutter H (Abb. 2). Demgegenüber stieg der Milcheiweißgehalt mit höheren Krafftuttergaben an, was über die – energieabhängige – mikrobielle Proteinsynthese eindeutig zu erklären ist. Der Milcheiweißgehalt in Gruppe N war im Durchschnitt beider Krafftutterniveaus um 0,05 % niedriger, wofür ebenfalls die geringere Proteinsynthese im Pansen als Ursache zu diskutieren ist.

Es ist zusammenfassend festzuhalten, dass sowohl die Verdrängung des Grobfutters als auch die Steigerung der Milchleistung durch Krafftutter wesentlich von der Energiebilanz der Milchkuh abhängen, d. h. von der Differenz an Aufnahme und Bedarf an Energie. Bei Energiemangel tritt eine geringe Grobfutter-Verdrängung und hohe Krafftutter-Effizienz auf, weil der Organismus nach einer ausgeglichenen Energie-Bilanz strebt (Wangsness und Muller, 1981). Dagegen führt ein Energieüberschuss zu einer hohen Grobfutter-Verdrängung und gerin-

gen Kraftfutter-Effizienz, da die mit dem Kraftfutter zusätzlich aufgenommene Energie durch geringere Grobfutteraufnahme zum Teil kompensiert wird, um die Energie-Bilanz nicht weiter zu erhöhen. Außerdem sind der Milchleistung von Seiten des genetischen Potenzials der Kühe Grenzen gesetzt, die zu einer immer geringeren Steigerung der Milchleistung führt, während ein zunehmender Teil der mit dem Kraftfutter aufgenommenen Energie in den Körperansatz geleitet wird. Die Verwendung von Kraftfutter mit geringer Abbaurate bzw. Abbaubarkeit (hochverdauliche Faser-Kohlenhydrate an Stelle von Stärke) verringert die Säurebelastung im Pansen und kann somit sowohl die Futteraufnahme als auch die Milchleistung erhöhen. Durch Verschiebung der Fermentation in Richtung Azetat wird in vielen Fällen der Milchfettgehalt erhöht (Tammenga, 2000). Da allerdings bei geringerer Abbaubarkeit auch die Fermentation und das Mikrowachstum eingeschränkt werden, verringert sich häufig auch der Milcheiweißgehalt. Die angesprochenen Effekte auf Futteraufnahme und Milchleistung sowie Milchinhaltsstoffe werden umso deutlicher sein, je kritischer die pH-Situation bei Verwendung eines stärkereichen Kraftfutters ist, d. h. bei hohen Kraftfuteranteilen und geringer Strukturwirkung des Grobfutters.

9. Literaturangaben

- Aston, K., Thomas, C., Daley, S.R., Sutton, J.D., 1994: Milk production from grass silage diets: Effects of the composition of supplementary concentrates. *Anim. Prod.* 59, 335-344.
- Beauchemin, K.A., Yang, W.Z., 2005: Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage. *J. Dairy Sci.* 88, 2117-2129.
- Bramley, E., Lean, I.J., Fulkerson, W.J., Stevenson, M.A., Rabiee, A.R., Costa, N.D., 2008: The definition of acidosis in dairy herds predominantly fed on pasture and concentrates. *J. Dairy Sci.* 91, 308-321.
- Cherney, D.J.R., Cherney, J.H., Chase, L.E., 2003: Influence of dietary nonfiber carbohydrate concentration and supplementation of sucrose on lactation performance of cows fed fescue silage. *J. Dairy Sci.* 86, 3983-3991.
- Colman, E., Fokink, W.B., Craninx, M., Newbold, J.R., DeBaets, B., Fievez, V., 2010: Effect of induction of subacute ruminal acidosis on milk fat profile and rumen parameters. *J. Dairy Sci.* 93, 4759-4773.
- Coulon, J.B., Remond, B., 1991: Variations in milk output and milk protein content in response to the level of energy supply to the dairy cow: a review.

- Livest. Prod. Sci. 29, 31-47.
- Delahoy, J.E., Muller, L.D., Bargo, F., Cassidy, T.W., Holden, L.A., 2003: Supplemental carbohydrate sources of lactating dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.* 86, 906-915.
- De Visser, H., 1996: Characterization of carbohydrates in concentrates for dairy cows. In: *Recent Developments in Ruminant Nutrition 3* (P.C. Garnsworthy, D.J.A. Cole, Eds.), Nottingham University Press, 155-174.
- De Visser, H., Van der Togt, P.L., Tamminga, S., 1990: Structural and non-structural carbohydrates in concentrate supplements of silage-based dairy cow rations. 1. Feed intake and milk production. *Neth. J. Agric. Sci.* 38, 487-498.
- De Visser, H., Van der Togt, P.L., Huisert, H., Tamminga, S., 1992: Structural and non-structural carbohydrates in concentrate supplements of silage-based dairy cow rations. 2. Rumen degradation, fermentation and kinetics. *Neth. J. Agric. Sci.* 40, 431-445.
- Dewhurst, R.J., Aston, K., Fisher, W.J., Evans, R.T., Dhanoa, M.S., McAllan, A.B., 1999: Comparison of energy and protein sources offered at low levels in grass-silage-based diets for dairy cows. *Anim. Sci.* 68, 789-799.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 1997: DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer, 7. Auflage, DLG-Verlag Frankfurt am Main, 212 S.
- Doepel, L., Cox, A., Hayirli, A., 2009: Effects of increasing amounts of dietary wheat on performance and ruminal fermentation of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 92, 3825-3832.
- Doherty, J.G., Mayne, C.S., 1996: The effect of concentrate type and supplementary lactic acid or soya oil on milk production characteristics in dairy cows offered grass silages of contrasting fermentation type. *Anim. Sci.* 62, 187-198.
- Dohme, F., DeVries, T.J., Beauchemin, K.A., 2008: Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Ruminal pH. *J. Dairy Sci.* 91, 3554-3567.
- Faverdin, P., Dulphy, J.P., Coulon, J.B., Verite, R., Garel, L.P., Rouel, L., Marquis, B., 1991: Substitution of roughage by concentrates for dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 27, 137-156.
- 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.

- Graf, C.M., Kreuzer, M., Dohme, F., 2005: Effects of supplemental hay and corn silage versus full-time grazing on ruminal pH and chewing activity of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 711-725.
- Gruber, L., Stögmüller, G., Taferner, K., Haberl, L., Maierhofer, G., Steiner, B., Steinwidder, A., Schauer, A., Knaus, W., 2005: Protein- und Kohlenhydrat-Fractionen nach dem Cornell-System sowie ruminaler Trockenmasseabbau *in situ* von energie- und proteinreichen Kraffuttermitteln. *Übers. Tierernährg.* 33, 129-143.
- Gruber, L., 2007: Einfluss der Kraffuttermenge auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen. 34. Viehwirtschaftliche Fachtagung 2007, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 19.-20. April 2007, 35-51.
- Gruber, L., 2009: Chemische Zusammensetzung, Analytik und Bedeutung pflanzlicher Gerüstsubstanzen in der Ernährung der Wiederkäuer. *Übers. Tierernährg.* 37, 45-86.
- Gruber, L., Schauer, A., Häusler, J., Adelwöhrer, A., Südekum, K.-H., Wielscher, F., Urdl, M., Kirchhof, S., 2010: Einfluss des Wachstumsstadiums von Dauerwiesenfutter auf Ertrag, Futterwert, Futteraufnahme und Leistung bei Milchkühen im Laufe einer ganzen Vegetationsperiode. *VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 66, 633-671, Kongressband 2010 Kiel, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.*
- Huhtanen, P., 1993: The effects of concentrate energy source and protein content on milk production in cows given grass silage ad libitum. *Grass and Forage Sci.* 48, 347-355.
- Huhtanen, P., Jaakkola, S., Saarisalo, E., 1995: The effects of concentrate energy source on the milk production of dairy cows given a grass silage-based diet. *Anim. Sci.* 60, 31-40.
- Ipharraguerre, I.R., Shabi, Z., Clark, J.H., Freeman, D.E., 2002: Ruminal fermentation and nutrient digestion by dairy cows fed varying amounts of soy-hulls as a replacement of corn grain. *J. Dairy Sci.* 85, 2890-2904.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 1989: Ruminant Nutrition. Recommended Allowances and Feed Tables (R. Jarrige, Ed.), John Libbey Eurotext Paris-London-Rome, 389.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 2007: Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins. Besoins des Animaux – Valeurs des Aliments. Tables INRA 2007. Editions Quae, c/o INRA, RD 10, 78026 Versailles Cedex, 307.
- Jackson, D.A., Johnson, C.L., Forbes, J.M., 1991: The effect of compound com-

- position and silage characteristics on silage intake, feeding behaviour, production of milk and live-weight change in lactating dairy cows. *Anim. Prod.* 52, 11-19.
- Jung, H.G., Deetz, D.A., 1993: Cell wall lignification and degradability. In: *Forage Cell Wall Structure and Digestibility* (H.G. Jung, D.R. Buxton, R.D. Hatfield and J. Ralph, Eds.), ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, 315-346.
- Keady, T.W.J., Mayne, C.S., Marsden, M., 1998: The effects of concentrate energy source on silage intake and animal performance with lactating dairy cows offered a range of grass silages. *Anim. Sci.* 66, 21-33.
- Keady, T.W.J., Mayne, C.S., 2001: The effects of concentrate energy source on feed intake and rumen fermentation parameters of dairy cows offered a range of grass silages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 90, 117-129.
- Khalili, H., Sairanen, A., Hissa, K., Huhtanen, P., 2001: Effects of type and treatment of grain and protein source on dairy cow performance. *Anim. Sci.* 72, 573-584.
- Kirchhof, S., 2007: Kinetik des ruminalen *in situ*-Nährstoffabbaues von Grünlandaufwüchsen des Alpenraumes unterschiedlicher Vegetationsstadien sowie von Maissilagen und Heu – ein Beitrag zur Weiterentwicklung der Rationsgestaltung für Milchkühe. Dissertation Universität Kiel, 132 S.
- Krause, K.M., Oetzel, G.R., 2005: Inducing subacute ruminal acidosis in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 3633-3639.
- Meijs, J.A.C., 1985: Comparison of starchy and fibrous concentrates for grazing dairy cows. In: *Grazing Occasional Symposium No. 19* (J. Frame, Ed.), British Grassland Society, Malvern, Worcestershire, 5-7 November 1985, 129-137.
- Mertens, D.R., 1994: Regulation of forage intake. In: *Forage Quality, Evaluation, and Utilization* (G.C. Fahey, M. Collins and L.E. Moser, Eds.), National Conference on Forage Quality, Evaluation, and Utilization. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, 450-493.
- Mertens, D.R., 1997: Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1463-1481.
- Moorby, J.M., Dewhurst, R.J., Thomas, C., Marsden, S., 1996: The influence of dietary energy source and dietary protein level on milk protein concentration from dairy cows. *Anim. Sci.* 63, 1-10.
- Nehring, K., 1963: Methodik zur kontinuierlichen Bestimmung der Verdaulichkeit von Grünfütter. *Sitzungsberichte AdL*, Bd. 12 (Heft 11), Rostock.

- NRC (National Research Council), 2001: Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Rev. Ed., National Academy Press, Washington, DC, USA, 381.
- Nocek, J.E. 1997: Bovine acidosis: Implications on laminitis. *J. Dairy Sci.* 80, 1005-1028.
- ÖAG (Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau), 2006: Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. Hrsg.: R. Resch, T. Guggenberger, L. Gruber, F. Ringdorfer, K. Buchgraber, G. Wiedner, A. Kasal und K. Wurm. *Der fortschrittliche Landwirt* 84 (Heft 24/2006), Sonderbeilage 20.
- Ombabi, A., Südekum, K.-H., Taube, F., Rave, G., 1999: Kurzfristige wachstumsbedingte Veränderungen im Futterwert zweier Weidelgräser: Kontinuierliche Verdauungsversuche an Schafen. *Agribiol. Res.* 52, 171-181.
- Ørskov, E.R., 1986: Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63, 1624-1633.
- Ørskov, E.R., McDonald, I., 1979: The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 92, 499-503.
- RAP (Eidgenössische Forschungsanstalt für Nutztiere), 1999: Fütterungsempfehlungen und Nährwerttabellen für Wiederkäuer. 4. überarb. Auflage. Verlag landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, CH-3052 Zollikofen, 327.
- Romney, D.L., Blunn, V., Sanderson, R., Leaver, J.D., 2000: Feeding behaviour, food intake and milk production responses of lactating dairy cows to diets based on grass silage of high or low dry-matter content, supplemented with quickly and slowly fermentable energy sources. *Anim. Sci.* 71, 349-357.
- Russell, J.B., O'Connor, J.D., Fox, D.G., Van Soest, P.J., Sniffen, C.J., 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. I. Ruminal fermentation. *J. Anim. Sci.* 70, 3551-3561.
- SAS Institute Inc., 2010: SAS/STAT 9.22 User's Guide. Cary, NC (USA): SAS Institute Inc., 8460.
- Sauvant, D., Perez, J.-M., Tran, G. (Eds.), 2004: Tables of composition and nutritional value of feed materials. 2nd revised and corrected edition Wageningen Academic Publishers, Wageningen und INRA, Paris, 304 S.
- Sayers, H.J., Mayne, C.S., Bartram, C.G., 2003: The effect of level and type of supplement offered to grazing dairy cows on herbage intake, animal performance and rumen fermentation characteristics. *Anim. Sci.* 76, 439-454.

- Silveira, C., Oba, M., Beauchemin, K.A., Helm, J., 2007: Effect of grains differing in expected ruminal fermentability on the productivity of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 2852-2859.
- Sniffen, C.J., O'Connor, J.D., Van Soest, P.J., Fox, D.G., Russell, J.B., 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70, 3562-3577.
- Spörndly, E., 1991: Supplementation of dairy cows offered freshly cut herbage ad libitum with starchy concentrates based on barley or fibrous concentrates based on unmolassed sugar beet pulp and wheat bran. *Swedish J. agric. Res.* 21, 131-139.
- Steg, A., Van der Honing, Y., De Visser, H., 1988: Effect of fibre in compound feeds on the performance of ruminants. In: *Recent Developments in Ruminant Nutrition 2* (W. Haresign, D.J.A. Cole, Eds.), Butterworths, 113-129.
- Steingass, H., Zebeli, Q., 2008: Strukturbewertung von Rationen für Milchkühe. 35. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 9.-10. April 2008, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2008, 19-25.
- Stone, W.C., 2004: Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 87, E13-E26.
- Sutton, J.D., Morant, S.V., Bines, J.A., Napper, D.J., Givens, D.I., 1993: Effect of altering the starch:fibre ratio in the concentrates on hay intake and milk production by Friesian cows. *J. Agr. Sci. (Camb.)* 120, 379-390.
- Tamminga, S., 2000: Issues arising from genetic change: Ruminants. In: *The challenge of genetic change in animal production* (W.G. Hill, S.C. Bishop, B. McGuirk, J.C. McKay, G. Simm, A.J. Webb, B. Hilton, Eds.), BSAS occasional Publ. 27, Edinburgh, 53-62.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991: Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- Van Vuuren, A.M., Van der Koelen, C.J., Vroons-de Bruin, J., 1986: Influence of level and composition of concentrate supplements on rumen fermentation patterns of grazing dairy cows. *Neth. J. Agric. Sci.* 34, 457-467.
- VDLUFA (Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), 1976 inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997: *Methodenbuch Band III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln*. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Waldo, D.R., Smith, L.W., Cox, E.L., 1972: Model of cellulose disappearance from the rumen. *J. Dairy Sci.* 55, 125-129.

- Wangsness, P.J., Muller, L.D., 1981: Maximum forage for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 64, 1-13.
- Weiss, W.P., 1995: Full lactation response of cows fed diets with different sources and amounts of fiber and ruminal degradable protein. *J. Dairy Sci.* 78, 1802-1814.
- Yang, W.Z., Beauchemin, K.A., 2007: Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Digestion and milk production. *J. Dairy Sci.* 90, 3410-3421.
- Zebeli, Q., Dijkstra, J., Tafaj, M., Steingass, H., Ametaj, B.N., Drochner, W., 2008: Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. *J. Dairy Sci.* 91, 2046-2066.

Einfluss eines exogenen NSP-spaltenden Enzyms auf Leistungsparameter hochleistender Milchkühe

J. J. Gross, F. J. Schwarz

Lehrstuhl für Tierernährung, Freising-Weihenstephan

1. Einleitung

Futterenzyme mikrobieller Herkunft werden heute weltweit erfolgreich bei monogastriden landwirtschaftlichen Nutztieren angewandt. Erste Einsätze von Enzymen an Wiederkäuern erfolgten in den 1960er Jahren. Aber aufgrund inkonsistenter Ergebnisse wurde die Wirkungsweise dieser Enzyme nicht weiter untersucht (McAllister et al., 2001). Fortschritte in der Biotechnologie und Kostensenkungen bei der Herstellung, zusammen mit aktiveren und genauer definierten Enzympräparaten waren Anlass, nochmals die Rolle von exogenen Enzymen in der Wiederkäuerfütterung aufzugreifen (Beauchemin et al., 1997).

Die vorliegende Arbeit will unter diesem Gesichtspunkt übersichtsartig die Wirkungsweise von exogenen NSP (Nonstarch Polysaccharides)-spaltenden Enzymen und unter Einbeziehung eines durchgeführten Versuchs die Auswirkungen einer Endo-1,4-beta-Xylanase auf Leistungsparameter laktierender Milchkühe untersuchen.

2. Material und Methoden

In der vorliegenden Arbeit wurden die Auswirkungen eines exogenen NSP-spaltenden Enzyms (Endo-1,4-beta-Xylanase aus *Bacillus subtilis* (Fa. Beldem, Belgien)) mit einer Enzymaktivität von 100 IU/g auf Leistungsparameter von Milchkühen überprüft. Hierzu wurden an insgesamt 41 Kühen der Rasse Red Holstein über 12 Versuchswochen tierindividuell die Leistungsparameter Futteraufnahme (täglich), Milchmenge (täglich) und -inhaltsstoffe (wöchentlich) erfasst.

Zu Beginn des Versuchs wurden die Versuchskühe in Abhängigkeit von Milchleistung, Laktationsstand und -zahl gleichmäßig in eine Behandlungsgruppe mit Enzymzulage (im Mittel 102 Laktationstage) und eine Kontrollgruppe (im Mittel

116 Laktationstage) aufgeteilt. Allen Versuchskühen wurde eine teilaufgewertete Mischration (zur Erzeugung von 20 kg Milch) ad libitum vorgelegt (51,0 % Grassilage, 35,5 % Maissilage, 2,5 % Heu, 11,0 % Ausgleichskrafftutter in der TM). Ab einer Milchleistung von 22 kg/d erfolgte eine leistungsabhängige Zuteilung von Leistungskrafftutter. Das Leistungskrafftutter bestand aus 59 % Getreideschlempe (ProtiGrain), 39 % Gerste und 2 % Mineralfutter (TM-Basis), das bis zu 4 kg FM/Tier und Tag verabreicht wurde. Beiden Gruppen wurde jeweils leistungsabhängig dieselbe Menge dieses Leistungskrafftutters verfüttert, wobei bei der Behandlungsgruppe 1 kg FM/Tier und Tag durch 1 kg mit dem eingemischten Enzym (6 g/kg FM) ersetzt wurde. Daneben wurde allen Tieren bei Milchleistungen über 30 kg/d ein weiteres Krafftutter (37,5 % Weizen, 25,0 % Körnermais, 20,0 % Sojaextraktionsschrot, 10,0 % Trockenschnitzel, 7,5 % Mineralfutter, Futterkalk und Viehsalz, TM-Basis) leistungsabhängig verfüttert.

3. Wirkungsweise exogener NSP-spaltender Enzyme beim Wiederkäuer

Eine direkte oder indirekte Beeinflussung des Nährstoffabbaus durch exogene NSP-spaltende Enzyme erfolgt an den drei potentiellen Hauptwirkungsorten: Futter, Pansen und postruminal im Intestinum.

3.1 Enzymeffekte im Futter

Strukturveränderungen der Futterpartikel durch Wirkung der Enzyme vor der Futteraufnahme können die mikrobielle Abbaubarkeit des Futters im Pansen verbessern. Zum anderen wird der Effekt einer zusätzlichen Bereitstellung von löslichen Kohlenhydraten, die das mikrobielle Wachstum und einen schnelleren Beginn der mikrobiellen Kolonisation durch die Zellwandhydrolyse vor der Futteraufnahme bewirkt, diskutiert (Wang und McAllister, 2002). Der Grad der Zuckerfreisetzung bei der Hydrolyse von Zellwandkohlehydraten ist sowohl vom Enzympräparat als auch von der Struktur, dem Aufbau und der Zusammensetzung der Zellwände abhängig (Böning et al., 2007).

3.2 Enzymeffekte im Pansen

Die Stabilität exogener Enzyme gegen den sofortigen Abbau durch Proteasen ist Voraussetzung für deren Wirkung im Pansen. Der Umfang einer direkten Wir-

kung zugesetzter Enzyme im Pansen scheint insgesamt sehr gering bei einem lediglich marginalen Anstieg der Enzymaktivität im Vergleich zur natürlicherweise im Pansen vorhandenen Enzymaktivität.

Eine weitere Hypothese zur Wirkungsweise von Enzymzulagen ist die synergistische Wirkung mit den Pansenmikroorganismen. Newbold et al. (1992) zeigten, dass Extrakte aus *Aspergillus oryzae* die Zahl der Pansenbakterien erhöhen können und synergistisch mit Extrakten aus Pansenmikroorganismen zusammenwirken, um die Freisetzung löslicher Zucker aus Heu zu unterstützen. Die Freisetzung löslicher Zucker durch exogene Enzyme scheint die Anheftung von Bakterien an die Partikeloberflächen zu erhöhen, dürfte die Oberflächenstruktur verändern und die mikrobielle Kolonisierung anregen (Newbold et al., 1992).

3.3 Postruminale Enzymeffekte

Die Senkung der Digestivviskosität und damit eine Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit begründen den Einsatz von NSP-spaltenden Enzymen bei monogastriden Nutztieren. Hristov et al. (2000) beobachteten bei Milchkühen bei einer erhöhten Xylanaseaktivität im Dünndarm ebenfalls einen Rückgang der intestinalen Viskosität. Insgesamt scheinen postruminale Effekte bei der Wirkung von exogenen Enzymen bei Wiederkäuern von untergeordneter Bedeutung zu sein.

3.4 Einfluss auf die Nährstoffverdaulichkeit

Zehn von 22 durch Böning et al. (2007) ausgewerteten Versuchen zur Gesamtverdaulichkeit der Nährstoffe bei Enzymzulagen beziehen sich auf laktierende Rinder. Im Mittel aller Milchkuhversuche verbesserte sich die T- und OS-Verdaulichkeit um $2,2 \pm 2,7$ bzw. $2,7 \pm 2,2$ % sowie die NDF- und ADF-Verdaulichkeit um $2,7 \pm 3,4$ bzw. $3,5 \pm 3,9$ % in den enzymbehandelten Versuchsgruppen. Die Ergebnisse zeigen insgesamt eine hohe Variabilität und keine eindeutige Tendenz auf.

3.5 Enzymkonzentrationen und Aktivitäten

Aufgrund inkonsistenter Ergebnisse von Untersuchungen mit exogenen Enzymen bei Wiederkäuern müssen mehrere Faktoren Einfluss auf die Wirkungsfähigkeit dieser Enzyme haben. In besonderer Weise gilt es neben den bereits dargestellten möglichen Wirkungsweisen die Zulagekonzentrationen und -substrate sowie die Applikationsarten zu betrachten.

In Übersichtsarbeiten werden Enzymzulagen von ca. 1,0 g/kg T bis max. 8,0 ml/kg T beschrieben. Dabei wird die Supplementierung meist unabhängig von der Aktivität der enthaltenen Enzyme durchgeführt. Schingoethe et al. (1999) beschäftigten sich mit dem Thema der optimalen Enzymzulage, indem sie in einem Versuch dem Grundfutter Enzyme in Konzentrationen von 0,7, 1,0 und 1,5 ml/kg T zusetzten. Dabei wurden Aktivitäten in Abhängigkeit der Zulage von 7 500 bis 16 050 U/kg T Xylanase erreicht. Die im vorliegenden Versuch verwendete Xylanase wies eine Aktivität von 100 IU/g auf. In der Literatur werden Aktivitäten z. T. jedoch bei veränderten pH-Werten, Temperaturen und Zeiten beschrieben, was die Vergleichbarkeit nicht vereinfacht. In einigen Arbeiten fehlen oft genauere Angaben über die Aktivitätsbestimmung der eingesetzten Enzymmischungen.

3.6 Art der Enzymapplikation

Eine Abhängigkeit der Enzymwirkung von der Applikationsmethode fanden Bowman et al. (2002) in ihren Untersuchungen. Die Applikation der Enzyme mit dem Krafftutteranteil der TMR führte zu einer signifikanten Verbesserung der T-, OM-, NDF- und ADF-Verdaulichkeit. Als Begründung für das Ausbleiben einer Reaktion bei den Gruppen mit der Enzymzulage zu den Pellets (Supplement, 4 % der TMR) und zur Vormischung (0,4 % der TMR) der TMR kann nach Böning et al. (2007) die Inaktivierung der Enzyme während der Pelletierung angeführt werden, sowie eine unzureichende Verteilung der Enzyme innerhalb der Pansens, wenn die Enzymzulage zu TMR-Komponenten mit einem geringen Anteil an der Gesamtration erfolgt.

3.7 Substrat und Zeitpunkt der Enzymzulage

Eine Abhängigkeit der Enzymwirkung von der Futterart bzw. dem Substrattyp zeigen die Ergebnisse von Pinos-Rodriguez et al. (2002). Die Autoren fanden bei Luzerneheufütterung eine signifikante Verbesserung der NDF-Verdaulichkeit durch die Enzymzulage, während bei der Fütterung von enzymbehandeltem Heu ein nicht signifikanter Rückgang der Verdaulichkeit beobachtet wurde. Positive Effekte exogener Enzyme sind unter Bedingungen zu erwarten, in denen die Faserverdaulichkeit beeinträchtigt ist bzw. der Energiegehalt der erstlimitierende Faktor der Ration darstellt (Eisenreich, 2008).

4. Einfluss auf Leistungsparameter

4.1 Einfluss auf Futteraufnahme

Mit zunehmender Futteraufnahme steigt beim Wiederkäuer die Passagerate des Futters durch den Verdauungstrakt an, so dass weniger Zeit für den Abbau und die Verdauung der Nährstoffe bleibt, was insbesondere den Abbau von Zellwandkohlenhydrate betrifft (Flachowsky et al., 2004). Von einer Enzymsupplementierung wird erwartet, dass sie durch eine Verbesserung des Zellwandabbaus eine schnellere Passagerate des Futters und damit höhere T-Aufnahme bewirkt. Beauchemin et al. (1999) berichten von einer tendenziellen Reduzierung der ruminalen Retentionszeit der Partikel nach Enzymsupplementierung, was jedoch ohne Effekt auf die T-Aufnahme blieb. Böning und Meyer (2006) stellten dagegen bei Zulage einer fibrolytischen Enzymmischung (4 ml/kg TMR-T) eine erhöhte tägliche Futteraufnahme (18,7 vs. 16,6 kg T) und somit gesteigerte Energieaufnahme bei Milchkühen fest, welche sich aber nicht auf Milchleistung oder Milchinhaltsstoffe auswirkte. Eine signifikante Verbesserung der T-Aufnahme durch die Zulage von NSP-spaltenden Enzymen konnte lediglich in vier der 29 von Böning et al. (2007) ausgewerteten Milchkuhversuche beobachtet werden. Im eigenen Versuch betrug die Gesamtfutteraufnahme zu Beginn der Untersuchungen bei der Behandlungsgruppe 23,0 kg T (in Klammern Werte der Kontrollgruppe: 21,9 kg T). Nach 12 Versuchswochen lag sie bei 18,9 kg T (18,4 kg T). Über den gesamten Versuchszeitraum von 12 Wochen betrug sie im Mittel 20,5 kg T (20,0 kg T). Es konnte kein Effekt der Enzymzulage auf die Futteraufnahme festgestellt werden. Die Versuchskühe waren im Mittel in einer positiven Energiebilanz mit 6,8 bzw. 4,5 MJ NEL/d.

4.2 Einfluss auf Milchleistung

Für die Bewertung möglicher Wirkungen rationsapplizierter exogener Enzyme auf die verschiedenen Leistungsparameter bei Milchkühen wurden von Böning et al. (2007) 25 Veröffentlichungen mit Ergebnissen aus 29 Versuchen herangezogen. Die Auswertung der Untersuchungen verdeutlicht die für den Einsatz von Futterenzymen hohe Variabilität der Ergebnisse. Im Mittel stieg die Milchleistung um $0,5 \pm 1,3$ kg/d in den enzymsupplementierten Behandlungsgruppen an. In einigen Studien ergaben sich beträchtliche Reaktionen auf die Enzymzulage. So beobachteten Lewis et al. (1999) einen Anstieg der Milchleistung um 6,3 kg/d. Im vorliegenden Versuch ergaben sich keine Unterschiede bzgl. der Milchleistung bei einer Enzymzulage. Die Milchleistung der Versuchskühe betrug in beiden

Gruppen zu Beginn 32,2 kg/d. Nach 12 Versuchswochen war sie auf 20,8 kg/d (20,6 kg/d) gesunken. Die durchschnittliche Milchmenge belief sich auf 27,0 kg/d (26,5 kg/d).

4.3 Einfluss auf Milchinhaltsstoffe

Die von Böning et al. (2007) ausgewerteten Befunde zum Einfluss von fibrolytischer Enzyme auf die Milchinhaltsstoffe zeigen im Mittel einen geringen, negativen Trend für den Milchfettgehalt von $-0,04 \pm 0,15$ %. Als Ursache für den Abfall des Milchfettgehaltes wird eine Reduzierung der strukturwirksamen Rohfaser in der Ration durch eine Hydrolyse der Faser vor der Futteraufnahme diskutiert. Dagegen berichten Bowman et al. (2002) von einer signifikanten Zunahme des Milchfettgehaltes bei einer Enzymapplikation zur Vormischung der Ration im Vergleich zur Kontrolle (4,18 vs. 3,91 %). Der Einfluss exogener Enzyme auf den Protein- und Laktosegehalt der Milch über alle von Böning et al. (2007) in die Auswertung einbezogenen Ergebnisse, ist mit $+0,02 \pm 0,11$ bzw. $-0,01 \pm 0,04$ ebenfalls als gering einzuschätzen. Im eigenen Versuch zeigte sich kein Enzymeinfluss auf den Milchfettgehalt der Versuchstiere. Der Milchfettgehalt lag bei Beginn des Versuchs bei 4,10 % (4,28 %), nach 12 Wochen bei 4,56 % (4,40 %). Der Durchschnittswert über diesen Zeitraum betrug 4,32 % (4,36 %). Der Milcheiweißgehalt wies zu Beginn einen Wert von 3,10 % (3,12 %) auf, in der 12. Versuchswoche 3,50 % (3,56 %). Im Mittel über den gesamten Versuchszeitraum zeigten beide Gruppen einen Wert von 3,36 %. Unter Einbeziehung der Literaturergebnisse ergibt sich für die Milchinhaltsstoffe somit ebenfalls ein sehr widersprüchliches Gesamtbild.

5. Schlussfolgerungen

Die Auswirkungen exogener Enzyme auf Leistungsparameter hochleistender Milchkühe erweisen sich nicht als gerichtet positiv. Teilweise wird von sehr deutlichen Erhöhungen der Milchleistung berichtet, in anderen Untersuchungen zeigten sich dagegen keine Effekte. Ebenso schwankend sind die Ergebnisse über die Milchinhaltsstoffe. Aussagen zur Veränderung der Futteraufnahme sind gleichfalls nicht einheitlich. Der in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Fütterungsversuch mit einer Endo-1,4-beta-Xylanase (*Bacillus subtilis*) beeinflusst die Futteraufnahme, Milchleistung und Milchinhaltsstoffe nicht. Als Ursachen für die hohe Variabilität der Ergebnisse können die möglichen Einflußfaktoren wie

die Art, Aktivität, Applikationsmethoden und Dosierung von Enzymen angeführt werden. Neben den o. g. Variationsursachen ist auch das Laktationsstadium der Versuchstiere als Kriterium für die Wirksamkeit exogener Enzyme in Betracht zu ziehen.

6. Literaturangaben

- Beauchemin, K.A., Jones, S.D.M., Rode, L.M., Sewalt, V.J.H., 1997: Effects of fibrolytic enzymes in corn or barley diets on performance and carcass characteristics of feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 77, 645-653.
- Beauchemin, K.A., Yang, W.Z., Rode, L.M., 1999: Effects of grain source and enzyme additive on site and extent of nutrient digestion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 378-390.
- Böning, A., Meyer, U., 2006: Effect of nonstarch polysaccharides (NSP) hydrolysing enzyme supplementation of a total mixed ratio (TMR) on performance of lactating dairy cows. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 15, p. 51.
- Böning, A., Meyer, U., Lebzien, P., 2007: Der Einsatz von rationsapplizierten Nicht-Stärke-Polysaccharid-spaltenden Enzymen (NSPsE) in der Wiederkäuerfütterung unter besonderer Berücksichtigung der Milchkuhe. *Übers. Tierernährg.* 35, 127-160.
- Bowman, G.R., Beauchemin, K. A., Shelford, J. A., 2002: The proportion of the diet to which fibrolytic enzymes are added affects nutrient digestion by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85, 3420-3429.
- Eisenreich, R., 2008: Einfluss exogener Enzymzulagen bei Milchkühen auf die ruminale Abbaubarkeit verschiedener Futtermittel, pansenphysiologische Parameter und die Gesamtverdaulichkeit. Dissertation, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Technische Universität München.
- Flachowsky, G., Lebzien, P., Meyer, U., 2004: Contribution to the energetic feed evaluation for high performing dairy cows. *Übers. Tierernährg.* 32, 23-56.
- Hristov, A.N., McAllister, T.A., Cheng, K.-J., 2000: Intraruminal supplementation with increasing levels of exogenous polysaccharide-degrading enzymes: effects on nutrient digestion in cattle fed a barley grain diet. *J. Anim Sci.* 78, 477-487.
- Lewis, G.E., Sanchez, W.K., Hunt, C.W., Guy, M.A., Pritchard, G.T., Swanson, B.I., Treacher, R.J., 1999: Effect of direct-fed fibrolytic enzymes on the lactational performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 611-617.
- McAllister, T.A., Hristov, A.N., Beauchemin, K.A., Rode, L.M., Cheng, K.-J.,

- 2001: Enzymes in Ruminant Diets. In: Bedford, M.R., Partridge, G.G. (Hrsg.): Enzymes in Farm Animal Nutrition. CABI Publishing, OXON, U. K., 273-298.
- Newbold, C.J., Brock, R., Wallace, R.J., 1992: The effect of *Aspergillus oryzae* fermentation extract on the growth of fungi and ciliate protozoa in the rumen. Letters in Applied Microbiology 15, 109-112.
- Pinos-Rodriguez, J.M., González, S.S., Mendoza, G.D., Bárcena, R., Cobos, M.A., Hernández, A., Ortega, M.E., 2002: Effect of exogenous fibrolytic enzyme on ruminal fermentation and digestibility of alfalfa and rye-grass hay fed to lambs. J. Anim. Sci. 80, 3016-3020.
- Schingoethe, D.J., Stegeman, G.A., Treacher, R.J., 1999: Response of lactating dairy cows to a cellulase and xylanase enzyme mixture applied to forages at the time of feeding. J Dairy Sci 82, 996-1003.
- Wang, Y., McAllister, T. A., 2002: Rumen microbes, enzymes and feed digestion: A review. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 15, 1659-1676.

Experimentelle Untersuchungen zum Einsatz unterschiedlichen Grundfutters (Heu bzw. Heu und Maissilage) in der Kälberaufzucht

J. Ertl¹, J. J. Gross¹, V. Spreng², W. Windisch¹, F. J. Schwarz¹

¹ Lehrstuhl für Tierernährung, Freising-Weihenstephan, ² Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik, Freising-Weihenstephan

1. Einleitung

In der Fütterung von Aufzuchtkälbern wird großer Wert darauf gelegt, die Entwicklung vom funktionellen Monogaster, der mit Vollmilch oder Milchaustauscherfuttermitteln ernährt wird, zum Wiederkäuer optimal zu fördern. Neben einer zeitlichen und mengenmäßigen Begrenzung der Versorgung mit Milchtränke wird schon frühzeitig Kraffutter und strukturwirksames Grundfutter (in der Regel Heu) angeboten, um die Vormagenentwicklung zu verbessern und die Wiederkauaktivität anzuregen (Kirchgessner et al., 2011). Im vorliegenden Versuch soll die Eignung von Maissilage als Beifutter bereits während der frühen Tränkephase untersucht werden. Es wurden dabei die Auswirkungen von Heu bzw. der Kombination Heu und Maissilage als Beifutter auf Leistungsparameter in der Kälberaufzucht überprüft.

2. Material und Methoden

54 Kälber aus der kontinuierlichen Abkalbung der 110-köpfigen Milchviehherde (Rasse Red Holstein) der Versuchsstation Hirschau der Technischen Universität München wurden in Abhängigkeit des Geburtstermins möglichst gleichmäßig nach Geschlecht auf zwei Behandlungsgruppen aufgeteilt. Kälber der Gruppe H (n=28) erhielten ausschließlich Heu, während die Gruppe HM (n=26) sowohl Heu als auch Maissilage als Beifutter erhielten. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von der zweiten bis zur 14. Lebenswoche. Die Datenaufzeichnung bzgl. Verzehrsmengen erfolgte tierindividuell (Identifikation über RFID-Transponder an den entsprechenden Abrufstationen) für Milchaustauschertränke, Kraffutter, Tränkewasser, Heu und Maissilage. Über eine in den Tränkestand integrierte Vorderfußwaage wurde das Lebendgewicht der Tiere täglich bestimmt.

Zur Herstellung der Milchaustauschertränke wurde ein Milchaustauscher für Aufzuchtkälber (Milkra MA 17, Trouw Nutrition, Burgheim) auf der Basis von Magermilch- und Molkenpulver verwendet (Tab. 1). Die Milchaustauschertränke wurde im Tränkeautomaten bei jedem Besuch frisch angerührt. Vom achten bis zum siebzehnten Lebenstag stieg die Milchaustauscherkonzentration in der Tränke kontinuierlich an von 90 g FM/l auf 120 g FM/l. Die maximal abrufbare Menge an Milchaustauschertränke variierte in Abhängigkeit vom Alter der Tiere und stieg von 6 l/d in der zweiten auf 8 l/d in der vierten Lebenswoche. Ab der sechsten Lebenswoche wurde die Tränkemenge reduziert, ab der 11. Lebenswoche erhielten alle Tiere keine Tränke mehr.

Zusätzlich zur Milchaustauschertränke erhielten die Kälber über den gesamten Versuchszeitraum ein pelletiertes Kraftfutter für Aufzucht-kälber (KS 183 PELL, RKW Süd, Würzburg, Tab. 1). Die täglich abrufbare Höchstmenge an Kraftfutter stieg von der zweiten bis zur achten Lebenswoche kontinuierlich von 0,2 kg/d auf 2,0 kg/d an. Von der achten bis zur dreizehnten Lebenswoche blieb die maximale Kraftfutterabruhmenge konstant bei 2,0 kg/d und erhöhte sich nochmals auf 2,5 kg/d bis zum Versuchsende.

Bereits ab der zweiten Lebenswoche wurde allen Kälbern als Grundfutter Heu (2. und 3. Aufwuchs, Tab. 1) zur freien Aufnahme angeboten, während die Kälber der Gruppe HM zusätzlich Maissilage (Tab. 1) ad libitum bekamen. Tränkewasser stand allen Kälbern jederzeit zur freien Aufnahme zur Verfügung.

Tab. 1: Energie- und Nährstoffgehalte der eingesetzten Futtermittel

	Milchaus- tauscher	Kraft- futter	Heu	Mais- silage
Energiegehalt (MJ ME/kg T)	16,6	12,2	9,3	11,0
Rohprotein (g/kg T)	219	194	78	77
Rohfaser (g/kg T)	15	80	348	179
Rohfett (g/kg T)	200	41	12	31
Rohasche (g/kg T)	71	74	60	31

Proben von Heu, Maissilage, Milchaustauscher und Kraftfutter während des Versuchs wurden am Lehrstuhl für Tierernährung der Technischen Universität München nach den Vorgaben des VDLUFA (2006) auf ihren Rohasche-, Rohfett- und

Rohfasergehalt untersucht (Tab. 1). Die Bestimmung des Rohproteingehalts erfolgte in der Abteilung Bioanalytik des Zentralinstituts für Ernährungs- und Lebensmittelforschung (ZIEL) der Technischen Universität München nach der Dumas-Verbrennungsmethode.

Unter Anwendung eines gemischten Modells (MIXED-Prozedur) des Statistikpakets SAS wurden die Daten auf Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen bei einem Signifikanzniveau von 5 % ausgewertet.

3. Ergebnisse

3.1 Futter- und Wasseraufnahme

Die Aufnahme an Milchaustauschertränke lag in der zweiten Lebenswoche bei etwa 5 l/d (Abb. 1). Bis zur vierten Lebenswoche stieg sie auf 6,88 l/d (H) bzw. 6,55 l/d (HM) und fiel im Anschluss entsprechend dem Tränkeplan bis zum vollständigen Absetzen. Die Tränkeaufnahme der Gruppe H lag geringfügig über der Tränkeaufnahme der Gruppe HM (ca. 0,2 l/d). Dieser Unterschied war nur in der vierten Lebenswoche statistisch signifikant.

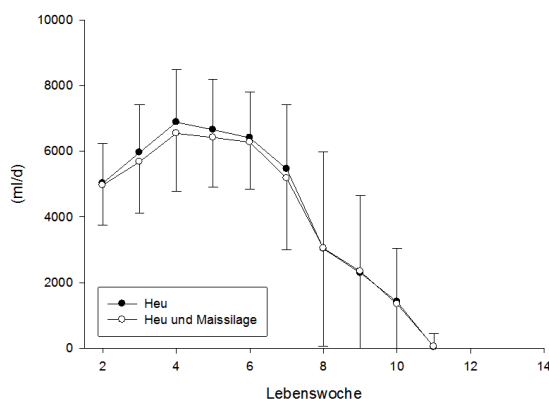


Abb. 1: Aufnahme an Milchaustauschertränke (ml/d)

Die Kraffutteraufnahme entwickelte sich in den ersten Lebenswochen bei beiden Gruppen ähnlich (Abb. 2). Ausgehend von durchschnittlich 30 g T/d in der zweiten Lebenswoche stieg sie gegen Ende der Tränkephase rasch an. Von der dritten bis zur elften Lebenswoche nahmen die H-Kälber im Vergleich zu den HM-

Kälber geringfügig mehr Kraftfutter auf. In der 14. Lebenswoche betrug die Kraftfutteraufnahme der H-Gruppe 1,54 kg T/d, die der HM-Gruppe 1,95 kg T/d (Abb. 2).

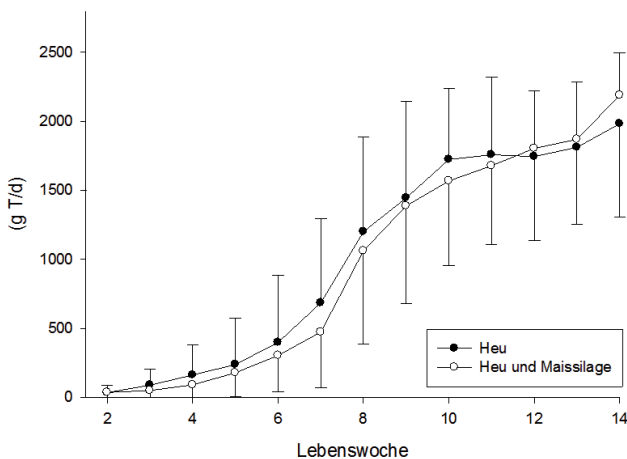


Abb. 2: Kraftfutteraufnahme (g T/d)

Bis zur sechsten Lebenswoche wurden mit 60 g T/d (H) bzw. 40 g T/d (HM) sehr geringe Mengen an Heu verzehrt. Erst ab der siebten Lebenswoche stieg die Heuaufnahme merklich an (Abb. 3). Die H-Gruppe, der ausschließlich Heu als Grundfutter angeboten wurde, nahm im Vergleich zur Gruppe HM etwa die doppelte Menge Heu auf. Bis zur vierzehnten Lebenswoche stieg die tägliche Heuaufnahme auf 0,81 kg T/d (H) bzw. 0,42 kg T/d (HM) an. Ab der siebten Lebenswoche bis Versuchsende sind die Unterschiede zwischen den Gruppen statistisch signifikant.

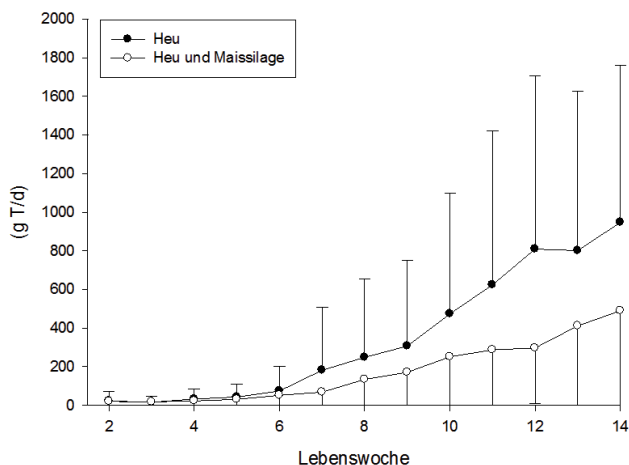


Abb. 3: Heuaufnahme (g T/d)

In Gruppe HM setzte die Aufnahme von Maissilage im Wesentlichen erst nach dem Absetzen von der Tränke in der elften Woche ein. In der 14. Lebenswoche stieg sie auf durchschnittlich 1 093 g T/d (Abb. 4).

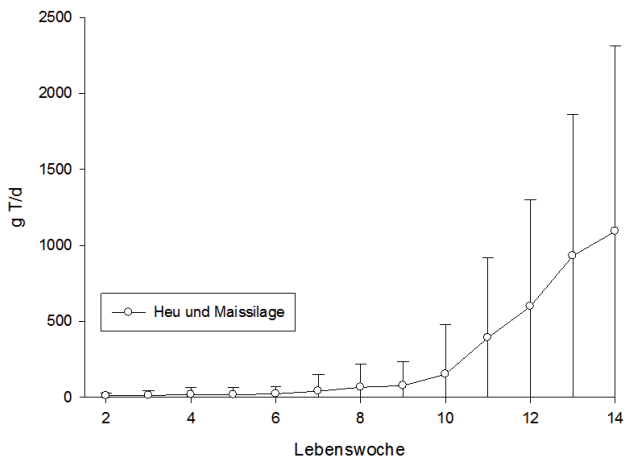


Abb. 4: Maissilageaufnahme (g T/d)

Ausgehend von 0,58 kg T/d (H) und 0,61 kg T/d (HM) in der zweiten Lebenswoche stieg die Gesamt-Festfutteraufnahme auf 2,57 kg T/d (H) bzw. 2,84 kg T/d (HM) in der vierzehnten Lebenswoche an. Von der dritten bis zur zwölften Woche war die Futteraufnahme bei der Gruppe H geringfügig höher als bei der HM-Gruppe.

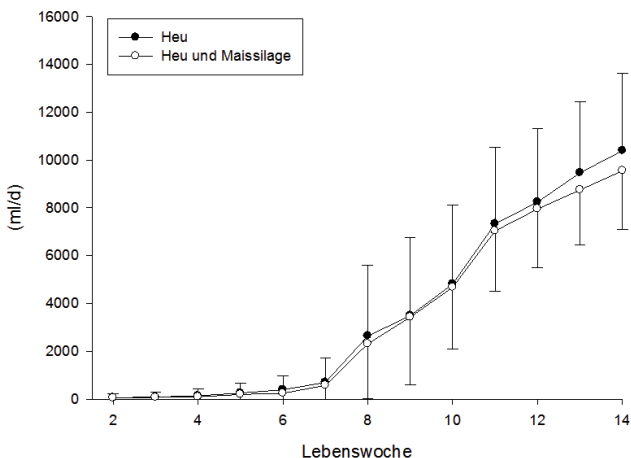


Abb. 5: Wasseraufnahme (ml/d) bei den Versuchsgruppen

In der zweiten und dritten Lebenswoche lag die tägliche Wasseraufnahme der Kälber noch bei unter 0,1 l/d und stieg erst leicht und nach dem Absetzen stärker an (Abb. 5). In der vierzehnten Woche betrug die Wasseraufnahme 10,4 l/d bei den H-Kälbern und 9,6 l/d in der HM-Gruppe.

3.2 Gewichtsentwicklung

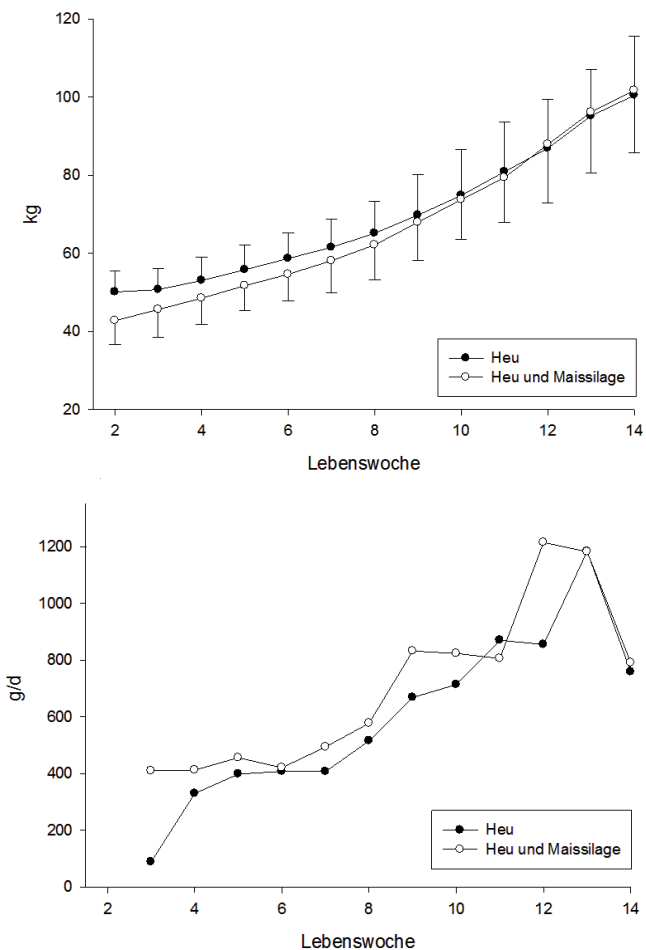


Abb. 6: Lebendgewichtsentwicklung (oben) und tägliche Zunahmen der Kälber (unten)

Zu Beginn des Versuchs in der zweiten Lebenswoche waren die H-Kälber mit 50,1 kg um 7,3 kg schwerer als die Tiere der HM-Behandlung (Abb. 6). In den folgenden Wochen zeigten die HM-Tiere allerdings ein etwas höheres Wachstum und holten den anfänglichen Unterschied auf. In der vierzehnten Woche waren die Kälber beider Gruppen mit 100,5 kg (H) und 101,7 kg (HM) annähernd gleich schwer. Damit lagen die täglichen Zunahmen der zweiten bis zur 14. Woche bei der Gruppe HM mit 701 g um 101 g höher als bei H mit 600 g (Abb. 6).

4. Schlussfolgerungen

Der Einsatz von Maissilage zeigt sich trotz eines anfänglich geringen Verzehrs insgesamt in einer sehr guten Entwicklung der Grundfutteraufnahme. In Kombination mit dem hohen Futterwert von Maissilage ließen sich gute tägliche Zunahmen erzielen. Betriebe, die über Maissilage verfügen, sollten diese bereits in einer frühen Phase der Kälberaufzucht einsetzen. Dadurch kann ein Futtermittelwechsel zu Beginn der Jungviehaufzucht vermieden und eine hohe Produktivität des gesamten Aufzuchtverfahrens mit dem Ziel eines frühen Erstkalbealters (Kirchgessner et al., 2011) erreicht werden. Jedoch muss die Vorlage von Maissilage stets in hygienisch einwandfreier Form erfolgen und der zusätzliche zeitliche Bedarf für die Vorlage berücksichtigt werden.

5. Literaturangaben

Kirchgessner, M., Roth, F.X., Schwarz, F.J., Stangl, G.I., 2011: Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. 13., neu überarbeitete Auflage. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2006: Methode 4.1.2: Rohprotein (DUMAS-Verbrennungsmethode), Methode 5.1.1: Rohfett, Methode 6.1.2: Rohfaser, 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.

Einfluss extrudierter Leinsaat auf Leistungsparameter bei Milchkühen

M. Pries¹, A. Menke¹, S. Beintmann², E. Tholen³

¹Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster, ²Landwirtschaftszentrum Haus Riswick, Kleve, ³Rhein. Friedrich-Wilhelms-Universität, Institut für Tierwissenschaften, Bonn

1. Einführung

Zur Erhöhung der Energiedichte in Rationen für Kühe in der ersten Laktationshälfte kommen zunehmend Futterfette zum Einsatz. Ungesättigte Fettsäuren von verschiedenen pflanzlichen Quellen unterliegen im Pansen der Biohydrogenierung mit dem Ergebnis, dass in der Milch vorwiegend gesättigte und kaum ungesättigte Fettsäuren vorliegen. Omega-3-Fettsäuren sollen einen positiven Einfluss auf das Fruchtbarkeitsgeschehen von Milchkühen haben. Das Futtermittel Extrulin 60 besteht zu 60 % aus extrudierter Leinsaat und 40 % Weizenkleie. Der Einfluss von Extrulin 60 auf Leistungsparameter wurde in einem Fütterungsversuch im Landwirtschaftszentrum Haus Riswick untersucht.

2. Material und Methoden

2.1 Futterwertprüfung

Der Futterwert von Extrulin 60 wurde mit Hilfe von Verdaulichkeitsmessungen mit Hammeln näher bestimmt. Die Prüfung erfolgte im Differenzversuch entsprechend der Vorgaben der GfE (1991) zur Durchführung von Verdaulichkeitsmessungen an Wiederkäuern. Extrulin 60 wurde in Anteilen von 15 und 30 % an der Trockenmasse an jeweils vier Hammelgefüttert.

2.2 Fütterungsversuch mit Milchkühen

Der Fütterungsversuch wurde mit frisch melkenden Milchkühen der Rasse Deutsche Holsteins vom 20. bis zum 160. Laktationstag durchgeführt. In der Kontrollgruppe kamen 24 und in der Versuchsgruppe 25 Kühe zur Auswertung. Die Einteilung der Tiere erfolgte nach den Kriterien Kalbnummer, Lebendmasse sowie Milch- und Fruchtbarkeitsleistungen.

Die Tiere erhielten eine Totale Mischration (TMR), deren Nährstoffgehalt für eine Leistung von etwa 38 kg Milch einschließlich des Erhaltungsbedarfs kalkuliert war. In der Versuchsgruppe wurde dem Milchleistungsfutter Extrulin 60 in einem Anteil von 14,5 % beigemischt. Zur Erzielung vergleichbarer Fettgehalte wurde dem Milchleistungsfutter für die Kontrollgruppe Rapskuchen in Höhe von 9,7 % und Sojaöl in Höhe von 2,4 % zugesetzt. Informationen zur Zusammensetzung der TMR sowie deren Nährstoff- und Energiegehalte finden sich in Tabelle 1.

Tab. 1: Rationszusammensetzungen, Rohnährstoff- und Energiegehalte der TMR

Komponenten	Kontrolle	Extrulin 60
	in % der TM	
Maissilage (6,8 MJ NEL/kg TM)	36,1	
Grassilage (6,6 MJ NEL/kg TM)	20,8	
Weizenstroh	2,5	
Pressschnitzsilage	6,6	
MLF Kontrolle / MLF Extrulin 60	33,5	33,5
Mineralfutter	0,6	
Energie- und Rohnährstoffgehalte¹		
Energie, MJ NEL/kg TM	7,06	7,07
nXP, g/kg TM	166	164
Rohfaser, g/kg TM	169	173
Rohfett, g/kg TM	42	44
NDFom, g/kg TM	334	340

¹ Gemäß Rationsberechnung auf Basis analysierter Nährstoffgehalte der Futterkomponenten

Die Milch- und Futterdaten wurden täglich tierindividuell erfasst. Die Bestimmung der Milch Inhaltsstoffe erfolgte wöchentlich. Die Fruchtbarkeitskriterien wurden nach dem im Versuchsbetrieb praktizierten Schema erfasst. Wegen zu geringer Tierzahlen erfolgte jedoch keine statistische Analyse dieser Daten. Milchsammelproben zur Bestimmung des Fettsäuremusters wurden von jeder Futtergruppe vor Versuchsbeginn sowie in den Versuchswochen 2, 4, 8, 12, 16 und 18 gewonnen. Die Bestimmung der Fettsäuremuster in den Milchproben wurde von LAREAL, Vannes Cedex, Frankreich, durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SAS Version 9.1 nach folgendem Mixed Model:

$$Y_{ijklm} = \mu + G_i + L_j + W_k + \sum_{m=1}^4 \beta_{jm} * x_m + Kuh_l + e_{ijklm}$$

Y: Beobachtungswert, μ : allgemeines Mittel, G: Gruppe,
 L: Laktationsnummer, VW: Versuchswoche, β : Regressionskoeffizient
 innerhalb der Laktation, x: Covariabel für den Laktationstag, Kuh: zufälliger
 Tiereffekt, e: zufälliger Resteffekt

3. Ergebnisse

3.1 Futterwert von Extrulin 60

Die Rohnährstoffgehalte sowie die in vitro-Parameter der geprüften Charge sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Je kg Trockenmasse ergibt sich ein beachtlicher Fettgehalt in Höhe von 283 g.

Tab. 2: Rohnährstoffgehalte und in vitro-Parameter des geprüften Extrulin 60 sowie die Deklaration des Herstellers

Futtermittel		Extrulin 60		Deklaration
		i. FM	i. TM	i. FM
Trockenmasse,	g/kg	890		91,0 %
Rohasche,	g/kg	37	42	4,3 %
Rohprotein,	g/kg	188	211	19,5 %
Rohfett (HCl),	g/kg	252	283	24,0 %
Rohfaser,	g/kg	84	94	8,3 %
NDFom,	g/kg	252	283	
Gasbildung (HFT),	ml/200 mg	33,2	37,3	
ELOS (Cellulase-Test),	%	63,5	71,4	

Die Tabelle 3 zeigt die Verdaulichkeiten für die Rohnährstoffe sowie die berechneten Energiegehalte. Bei 15 % Anteil an der Gesamtration wird die organische Masse (OM) zu 81 % verdaut. Aus den verdaulichen Rohnährstoffen errechnet

sich ein Gehalt von 16,13 MJ ME bzw. 10,01 MJ NEL je kg TM. Die Verdaulichkeit der OM geht auf 57 % zurück, wenn der Extrulinanteil auf 30 % erhöht wird. Besonders die Zellwände beschreibenden Fraktionen Rohfaser und NDFom sind vom Rückgang der Verdaulichkeit beim höheren Extrulinanteil betroffen.

Tab. 3: Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe und die ermittelten Energiegehalte für Extrulin 60 bei unterschiedlichen Anteilen des Prüffutters an der Gesamtration

	15 % Extrulin 60	30 % Extrulin 60
Verdaulichkeiten, %		
OM	81 ± 3,5	57 ± 2,9
XL	91 ± 7,5	83 ± 8,1
XF	41 ± 32,9	0 ¹⁾
NDFom	54 ± 7,4	0 ¹⁾
OR	83 ± 5,6	62 ± 1,5
ME, MJ/kg TM	16,13 ± 0,8	13,12 ± 0,8
NEL, MJ/kg TM	10,01 ± 0,7	7,75 ± 0,5

¹⁾ Extrulinanteil von 30%: Verdaulichkeiten < 0 = 0

3.2 Fütterungsversuch mit Milchkühen

Die Tabelle 4 informiert über Futteraufnahme und Milchleistungsparameter der Kontroll- und Versuchsgruppe. Tendenziell fressen die Kühe der Versuchsgruppe etwas mehr Trockenmasse. Es bestehen statistisch gesicherte Differenzen in der ECM zugunsten der mit Extrulin 60 gefütterten Tiere. Die Unterschiede in der ECM-Menge resultieren in erster Linie aus Unterschieden im Milchfettgehalt, der in der Kontrollgruppe 3,38 und in der Versuchsgruppe 3,77 % beträgt.

Die Tabelle 5 informiert über die erfassten Fruchtbarkeitskriterien. Die Anzahl der Besamungen bis zur erfolgreichen Trächtigkeit ist in der Versuchsgruppe höher als in der Kontrollgruppe (2,6 zu 1,8 Besamungen). In der Versuchsgruppe sind mit 33 % deutlich weniger Tiere nach einer Erstbesamung tragend als in der Kontrollgruppe (50 %).

Tab. 4: LS Means für Milchleistung und Milchinhaltsstoffe

		Kontrolle	Extrulin 60	Signifikanzniveau, p-Wert
		n = 24	n = 25	
Futteraufnahme	kg TM/Tag	19,9	20,4	0,12
Milchmenge	kg/Tag	38,5	37,4	0,51
ECM	kg/Tag	35,0	35,8	0,03
Fett	%	3,38	3,77	0,03
Fett	kg/Tag	1,29	1,41	0,02
Protein	%	3,16	3,16	0,89
Protein	kg/Tag	1,21	1,18	0,70
Harnstoff	mg/l	245	246	0,18

Tab. 5: Fruchtbarkeitskriterien für die beiden Futtergruppen

Anzahl Tiere	Kontrolle	Extrulin 60
	24	24
Rastzeit, Tage	78	80
Güstzeit, Tage	106	126
Besamungsindex, Besamungen/Tier	1,8	2,6
Trächtig nach Erstbesamung, %	50	33

4. Diskussion

4.1 Futterwertprüfung

In den vorliegenden Prüfungen wurden lediglich Anteile von 15 % bzw. 30 % Prüffutter vorgelegt, da bekannt ist, dass hohe Fettmengen die Verdaulichkeit der OM und insbesondere die Verdaulichkeit der Faserbestandteile verringern. Diese Verdaulichkeitsdepression ergab sich in den vorliegenden Untersuchungen bei einem Extrulinanteil von 30 % mit einem kalkulierten Rohfettgehalt von 10,1 % der TM. Dieser Befund stimmt gut mit den Ergebnissen einer früheren Verdaulichkeitsmessung mit verschiedenen Anteilen von Rapskuchen überein, in der die verringerte Verdaulichkeit bei Fettgehalten von mehr als 7,5 % der TM beobachtet wurde (Pries et al., 2009). Die ausgewiesenen Energiegehalte bei einem Prüfanteil des Extrulin 60 von 30 % sollten deshalb nicht als maßgeblich betrachtet werden.

4.2 Fütterungsversuch mit Milchkühen

Der Versuch erstreckte sich vom 20. bis zum 160. Laktationstag, was im Vergleich zu den Versuchen von Petit et al., (2010) Ward et al., (2002), Gonthier et al., (2005), Loor et al., (2005), Bu et al., (2007) sowie Martin et al. (2008) einen relativ langen Fütterungszeitraum darstellt. In den meisten bisherigen Versuchen wurde Leinsaat für weniger als zwei Monate an Milchkühe verfüttert.

Die gefütterten Rationen waren isoenergetisch und isonitrogen konzipiert, was in den Analysedaten für die TMR zum Ausdruck kommt (Tab. 4). Die mittlere Aufnahme an Leinsaat betrug 0,6 kg TM je Tier und Tag, womit im Vergleich zu den zitierten Versuchen deutlich weniger Leinsaat zum Einsatz kam.

Es stellt sich die Frage, warum in der Kontrollgruppe mit 3,38 % nur ein sehr niedriger Fettgehalt erreicht wurde. Sowohl die Harn-pH-Werte als auch die NSBA-Werte deuten nicht auf Unterschiede im Acidosegeschehen zwischen den Gruppen hin, so dass hierüber die Fettgehaltsdifferenzen nicht erklärt werden können.

Aufgrund der Fettdepression in der Kontrollgruppe ist ein genauer Blick auf das Profil an Transfettsäuren angebracht. Die Fettsäure C18:1 trans10 ist die Vorstufe der C18:2 trans10cis12, einer konjugierten Linolsäure (CLA), welche wiederum für ihre blockierende Wirkung auf die Denovofettsynthese im Euter bekannt ist. In der Abbildung 1 ist der Verlauf der C18:1 trans10 dargestellt. Der Gehalt ist in der Kontrollgruppe deutlich höher. Dabei wird der Unterschied zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe mit zunehmender Versuchsdauer größer. Dies steht in direkter Beziehung zum Fettgehalt der Milch, was aus der Abbildung 2 eindeutig hervorgeht.

Die Daten zur Beschreibung der Fruchtbarkeit müssen vorsichtig interpretiert werden, da nur eine relativ geringe Tierzahl und nur ein kurzer Versuchszeitraum zur Verfügung standen.

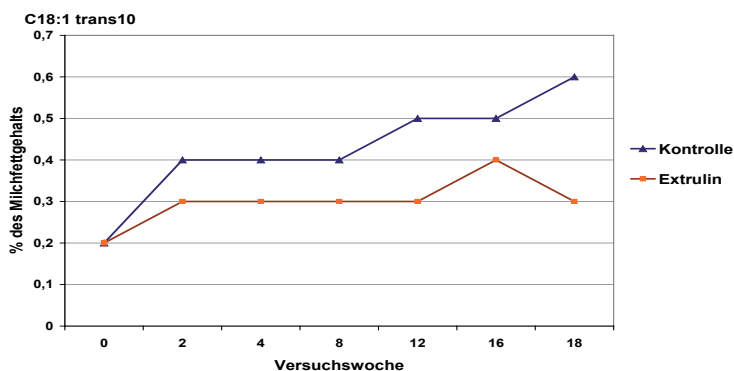


Abb. 1: Entwicklung der C18:1 trans10 Fettsäure im Versuchsverlauf für Kontroll- und Versuchsgruppe

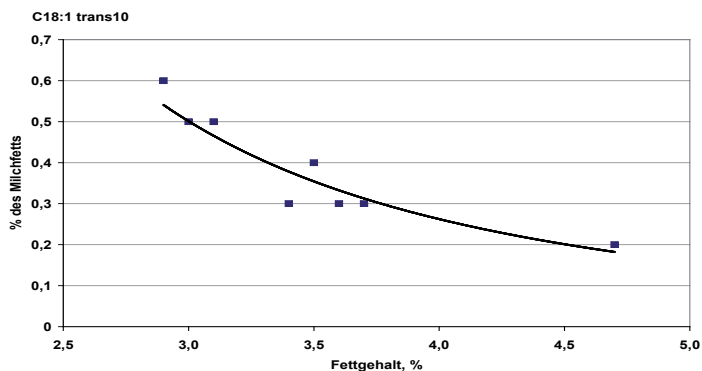


Abb.2: Zusammenhang zwischen Milchfettgehalt und Gehalt an C18:1 trans10 aus den Daten der beiden Futtergruppen.

5. Fazit

- Es wird ein Energiegehalt von 16,1 MJ ME bzw. 10,0 MJ NEL je kg TM ermittelt. Diese Werte sollten Basis zukünftiger Deklarationen für Extrulin 60 sein.
- Bei den Milchkühen ergaben sich bei der Futteraufnahme tendenzielle Vorteile zugunsten der mit Extrulin 60 versorgten Tiere, deren Trockenmasseaufnahme um 0,5 kg oberhalb der Kontrollgruppe lag.

- Die natürliche Milchmenge betrug in der Kontrollgruppe 38,5 kg und in der Versuchsgruppe 37,4 kg je Kuh und Tag. Bei der ECM waren die Versuchstiere den Kontrolltieren signifikant überlegen (35,8 vs 35,0 kg/Tier/Tag).
- Mit 3,38 % war der Fettgehalt in der Kontrollgruppe gegenüber der Versuchsgruppe (3,77 %) besonders niedrig. Bei den Milchproteinwerten gab es keine Unterschiede.
- In der Milch der Kontrolltiere wurden deutlich höhere Gehalte an Transfettsäuren analysiert. Insbesondere die C18:1 trans10 war in der Kontrollgruppe erhöht. Diese Fettsäure ist Vorstufe für die C18:2 trans10cis12-Fettsäure, die wiederum eine CLA-Verbindung darstellt, von der die Fett senkende Wirkung auf Grund der Blockierung der Neosynthese von Milchfett in der Milchdrüse bekannt ist.
- Beim Gehalt an Omega-3-Fettsäuren ergab sich in der Leinsaatgruppe mit 1,1 % ein fast doppelt so hoher Wert wie in der Kontrollgruppe, die einen Wert von 0,6 % erzielte.

6. Literatur

- Bu, D.P., Wang, J.Q., Dhiman, T.R., Liu, S.J., 2007: Effectiveness of oils rich in linoleic and linolenic acids to enhance conjugated linoleic acid in milk from dairys cows. *J. Dairy Sci.* 90, 998-1007.
- GfE, 1991: (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) Leitlinien zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen an Wiederkäuern, *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 65, 229-234.
- Gonthier, C., Mustafa, A.F., Quillet, D.R., Chourinard, P.Y., 2005: Feeding micronized and extruded flaxseed to dairy cows: effect on blood parameters and milk fatty acid composition. *J. Dairy Sci.* 88, 748-756.
- Lor, J.J., Ferlay, A., Ollier, A., Doreua, M., and Chilliard, Y., 2005: Relationship among trans and conjugated fatty acids and bovine milk fat yield due to dietary concentrate and linseed oil. *J. Dairy Sci.* 88, 726-740.
- Martin, C., Rouel, J., Jouany, J.P., Doreau, M., Chilliard, Y., 2008: Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed or linseed oil. *American J. Anim. Sci.* 86, 2642-2650.
- Petit, H.V., 2010: Review: feed intake, milk production and milk composition of

dairy cows fed flaxseed. Can. J. Anim. Sci. 10/21/11, 115-127.

Pries, M., Menke, A. Steevens, L., 2009: Zulagenversuch mit Rapskuchen. In: Riswicker Ergebnisse 1/2009, 24-26.

Ward, A. T., Wittenberg, K.M., Przybylski, R., 2002: Bovine milk fatty acid profiles produced by feeding diets containing solin, flax and canola. J. Dairy Sci. 85, 1191-1196.

Flüchtige Substanzen in Maissilagen in Abhängigkeit von Silierbedingungen und aerober Lagerungsdauer

K. Weiß¹, K. Gerlach², K.-H. Südekum²

¹Humboldt- Universität zu Berlin, ²Rheinische Friedrich-Wilhelms- Universität Bonn

1. Einführung

Bei Verfütterung gut konservierter Maissilagen sind häufig reduzierte Futteraufnahmen, Milchleistung und Tiergesundheit der Milchkühe beobachtet worden, insbesondere dann, wenn ein klebstoff- oder acetonähnlicher Geruch festgestellt worden war. In Untersuchungen an Maissilagen aus der Praxis und in Laborversuchen (Weiß et al., 2009; Studienprojekt, 2011; Zittlau, 2010) wurden insbesondere unter strikt anaeroben Bedingungen im Zusammenhang mit erhöhten Ethanolgehalten geruchsintensive flüchtige organische Komponenten wie Ethylester und Alkohole nachgewiesen. Bei den Estern lagen Ethylacetat (EA) und Ethyllactat (EL) mit Gehalten oberhalb von 100 mg/kg TM vor. Bei den Alkoholen wurden Methanol, Ethanol, n-Propanol, 2-Butanol, 2,3-Propandiol mit Gehalten oberhalb von 100 mg/kg TM nachgewiesen. Dabei waren die Gehalte an den Estern EA und EL sowie an Ethanol umso höher, je geringer die Lufteinwirkung während der Lagerungsdauer war. Diese Ergebnisse stimmen mit Berichten und Untersuchungen in der Praxis überein, nach denen die geruchsintensiven Silagen besonders in sehr gut verdichteten Maissilos beobachtet wurden. Aus den Ergebnissen wurde zum einen gefolgert, dass die Esterbildung in Silagen eine rein chemische Reaktion ist, zum anderen, dass die Silierbedingungen einen entscheidenden Einfluss auf den Gehalt an Ethanol und Estern haben. Ziel der vorliegenden Auswertung war es, weitere Silierbedingungen für das Auftreten von Ethylestern und Alkoholen, insbesondere Ethanol, zu charakterisieren. Dazu wurde der Einfluss von Häckselgrad, Verdichtung, Trockenmassegehalt und aerober Lagerungsdauer auf den Gehalt an Ethanol sowie den Estern Ethylacetat (EA) und Ethyllactat (EL) in Maissilagen geprüft.

2. Material und Methoden

Die der Untersuchung zugrunde liegenden Maissilagen stammten aus einem Präferenzfütterungsversuch mit Ziegen, der an der Universität Bonn durchge-

führt wurde (Gerlach et al., 2011). In diesem Versuch erfolgte die Maissilierung von 8 Silagevarianten in 110l-Fässern.

Für die Varianten sind folgende Zielgrößen angestrebt worden: Häcksellänge 10 mm (kurz) bzw. 21 mm (lang); Trockenmasse (TM) 30 % bzw. 40 %; Verdichtungsdruck „1“ mit mittleren Dichten von 256 und „2“ von 275 kg TM/m³.

Die Fässer wurden nach mindestens vier Monaten anaerober Lagerung geöffnet und die Silagen über 0, 2, 4, 6 und 8 Tage aerob gelagert. An diesen Tagen erfolgte eine Beprobung (Variante „frisch“) und eine Vakuumierung von Silageproben. Die vakuumierten Proben sind bis zur Verfütterung kühl gelagert und bei Öffnung der vakuumierten Beutel ebenfalls zur Analytik beprobt (Variante „vakuumiert“) worden. Die Probe der Variante Tag 0, frisch, 40 % TM, lang, 1 konnte aus versuchstechnischen Gründen nicht untersucht werden, so dass insgesamt 79 statt 80 Proben zur Auswertung zur Verfügung standen.

Die Silageproben „frisch“ und „vakuumiert“ wurden bis zur chemisch-analytischen Untersuchung eingefrosten. Die Analyse des kompletten Gärproduktmusters erfolgte nach Kaltwasserextraktion der Silageproben (Weiß, 2000). Für die vorliegende Auswertung wurden die mittels Gaschromatografie bestimmten Alkohole Ethanol und Propanol sowie die Ester EA und EL (Weiß und Sommer, unveröffentlicht) herangezogen.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die in allen Silageproben (n = 79) ermittelten Gesamtestergehalte, als Summe aus EA und EL, wurden in Korrelation zum Ethanolgehalt gesetzt (Abb. 1). Die Ergebnisse zeigen, dass auch in diesem Untersuchungsmaterial mit einem Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,88$ eine enge Beziehung vorlag. Die Korrelationen der jeweiligen Ester zu den Säuren, aus denen sie gebildet werden, waren dagegen nur gering: EA zu Essigsäure $r^2 = 0,24$; EL zu Milchsäure $r^2 = 0,28$. Das lässt die Schlussfolgerung zu, dass in erster Linie der Ethanolgehalt entscheidend für die Esterbildung ist und bestätigt frühere Untersuchungsergebnisse (Weiß et al., 2009; Zittlau, 2010). Im Gegensatz zu den früheren Laborsilivversuchen wurden in den vorliegenden Silageproben sehr hohe Gesamtestergehalte bis 2 g/kg TM analysiert, und EA lag im Vergleich zu EL in deutlich höherer Konzentration vor.

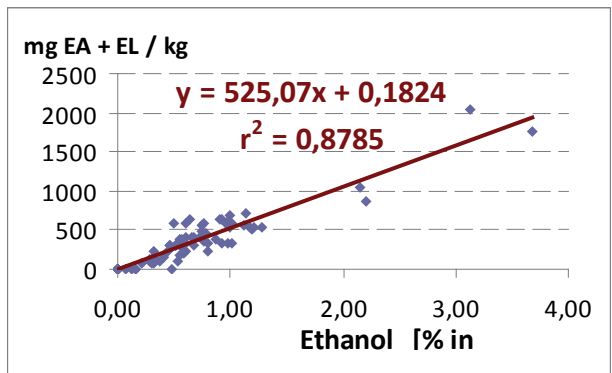


Abb. 1: Gesamtgehalt an Estern Ethylacetat (EA) und Ethyllactat (EL) in Beziehung zum Ethanolgehalt

In den Abbildungen 2 bis 4 sind die jeweiligen Gesamttestergehalte in den Silagen nach Abschluss der anaeroben Lagerung und Öffnung, d. h. am Tag „0“ der aeroben Lagerung, für die Parameter „TM- Gehalt“ (Abb. 2), „Häcksellänge“ (Abb. 3) und „Verdichtung“ (Abb. 4) nach entsprechenden Varianten gegenüber gestellt.

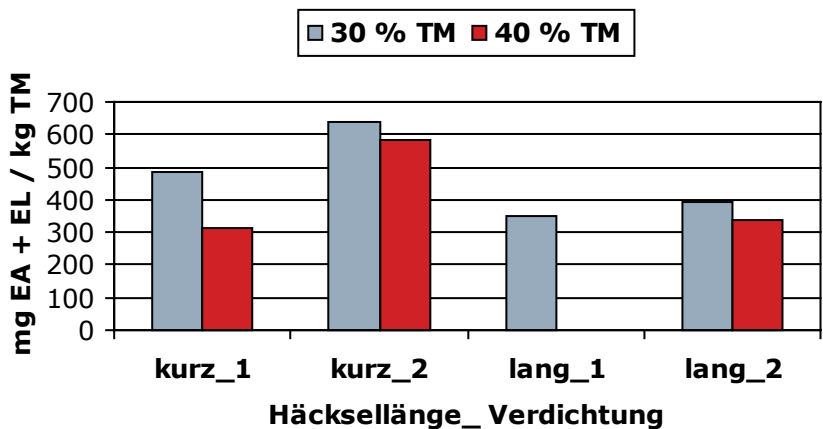


Abb.2: Vergleich der Gesamttestergehalte in Silageproben nach angestrebtem Trockenmassegehalt

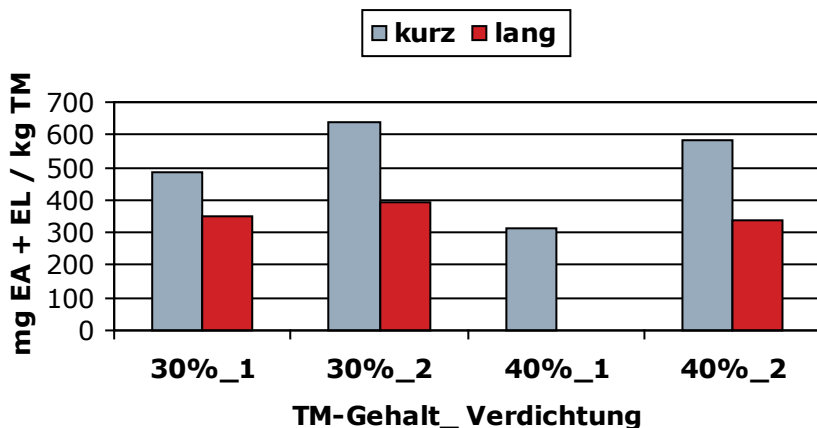


Abb.3: Vergleich der Gesamttestergehalte in Silageproben nach Häcksel-
länge: kurz = 10 mm; lang = 21 mm

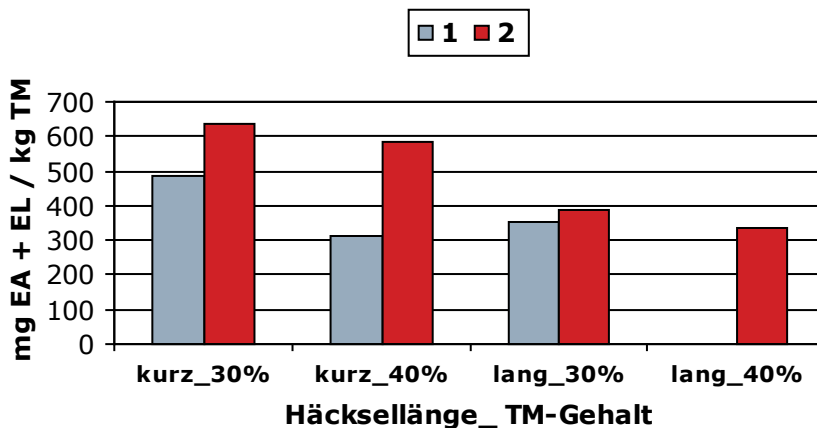


Abb. 4: Vergleich der Gesamttestergehalte in Silageproben nach Verdichtung:
1 = 256 kg TM/m³; 2 = 275 kg TM/m³

Die Gesamttestergehalte nach Siloöffnung betragen 314 bis 636 mg/kg TM bei relativ niedrigen Ethanolgehalten zwischen 0,47 und 0,76 % in der TM und waren in der Tendenz mit geringerem TM-Gehalt, kürzerer Häcksellänge und stärkerer Verdichtung nach anaerober Lagerung am höchsten.

Mit Siedepunkten von 77°C für EA, 154°C für EL und 78°C für Ethanol gehören diese Stoffe zu den flüchtigen organischen Substanzen (**Volatile Organic Compounds**). So lag die Vermutung nahe, dass bei längerer aerober Lagerung diese Substanzen in den Silagen ggf. nicht mehr nachweisbar sind. Im vorliegenden Versuch waren im Verlauf der aeroben Lagerung jedoch sowohl Ethanol als auch Ester trotz hoher Flüchtigkeit meistens bis zum 4. Tag nachweisbar.

Wie der Tabelle 1 zu entnehmen ist, gab es einerseits in Abhängigkeit des Häckselgrades, andererseits bei „frischen“ bzw. „vakuumierten“ Proben Unterschiede hinsichtlich des Auftretens dieser flüchtigen Verbindungen.

Tab. 1: Ethanol- und Gesamtergehalte in Silagen nach aerober Lagerung, in Abhängigkeit vom Häckselgrad; Mittelwert aus 4 Proben (Varianten 30 und 40% TM, Verdichtung 1 und 2), N=4

Variante „frisch“

Variante		Aerobe Lagerungsdauer in d				
		0	2	4	6	8
Ethanol in % TM	kurz	0,61	0,53	0,52	0,11	0
	lang	0,63	0,57	0,34	0	0
Ester EA + EL mg / kg TM	kurz	505	410	318	34	0
	lang	360	284	54	0	0

Variante „vakuumiert“

Variante		Aerobe Lagerungsdauer in d				
		0	2	4	6	8
Ethanol in % TM	kurz	0,96	0,93	0,85	0,44	0,53
	lang	1,03	1,01	0,64	0,58	2,80
Ester EA + EL mg / kg TM	kurz	609	571	583	181	248
	lang	427	395	266	213	1436

Bei den „frischen“ kurz gehäckselten Varianten wurden mindestens bis Tag 4 Estergehalte >100 mg/kg TM festgestellt, bei den lang gehäckselten Varianten waren Ester in dieser Konzentration bis Tag 2 nachweisbar. Während in den „frischen“ Varianten erst am 6. Tag aerober Lagerung nur noch Spuren analysiert wurden, sind in den vakuumierten Silageproben diese flüchtigen organischen Verbindungen dagegen auch nach 6 bzw. 8 Tagen vorhanden. Nach 8 Tagen aerober und anschließend vakuumierter Lagerung sind extrem hohe Gehalte

in einzelnen Silagen (Ethanol bis 3,69 % in TM, Ester bis 2049 mg/kg TM) sowie auch Propanol (bis 14 g/kg TM) analysiert worden. Als Ursache wird eine rasante Hefeentwicklung unter erst aeroben, dann anaeroben Bedingungen (Vakuumierung) mit Ethanolbildung und nachfolgender Reaktion zu Ethylestern vermutet. Bisher unveröffentlichte Versuchsergebnisse zur Hefepopulation von Gerlach (2011) bestätigen diese Annahme zur Hefeentwicklung.

4. Schlussfolgerungen

In Maissilagen treten im Zusammenhang mit der Ethanolbildung flüchtige geruchsintensive organische Verbindungen wie Ethylacetat (EA) und Ethyllactat (EL) auf, je geringer der Lufteinfluss während der anaeroben Lagerung, desto höher die Gehalte. Diese flüchtigen Verbindungen sind auch nach mehreren Tagen aerober Lagerung noch nachweisbar, d. h. sie verflüchtigen sich nicht ohne weiteres. In Übereinstimmung mit bisherigen Beobachtungen können deshalb „klebstoff-/aceton-ähnliche“ Gerüche auch noch nach mehreren Tagen am geöffneten Silo wahrgenommen werden. Da bereits unterhalb von 1,0 % Ethanol in TM auch Ester in vergleichsweise höheren Konzentrationen festgestellt wurden, ergibt sich die Frage, wie die Gebrauchsfähigkeit sehr gut verdichteter Maissilagen gesichert werden kann. Nach derzeitigem Kenntnisstand muss der Einsatz von Wirkstoffen zur Unterbindung von Hefeaktivität und damit verbundener Ethanolbildung als strategische Maßnahme in der landwirtschaftlichen Praxis verstärkt in Betracht gezogen werden.

Weitere Forschungsarbeiten zu Bedingungen und Ausmaß der Entstehung flüchtiger organischer Verbindungen, zu deren Unterbindung und den Auswirkungen erhöhter Gehalte auf Tiergesundheit und Tierleistung sind notwendig.

5. Zusammenfassung

Im vorliegenden Versuch wurden Maissilagen unterschiedlicher Häcksellänge und Verdichtung bei angestrebten 30 bzw. 40 % TM nach 4monatiger anaerober Lagerung über einen Zeitraum von 0 bis 8 Tagen aerob gelagert, in Abständen von 2 Tagen sofort und nach Lagerung in vakuumierten Plastikbeuteln beprobt und auf den Gehalt an Ethanol und Estern untersucht. Je geringer der Lufteinfluss während der anaeroben Lagerung, insbesondere durch höhere Verdichtung

und kürzere Häcksellänge, desto mehr Ester Ethylacetat (EA) und Ethyllactat (EL) wurden nachgewiesen. Im Verlauf der aeroben Lagerung waren Ester mindestens bis Tag 2 bzw. Tag 4 in Abhängigkeit der Silierbedingungen analysiert worden. Sehr hohe Ethanol- und Estergehalte sind in den über 8 Tage aerob und anschließend vakuumiert gelagerten Proben bestimmt worden, die im Zusammenhang mit umfangreicher Hefeaktivität stehen. Mit derzeitigem Kenntnisstand wird für die landwirtschaftliche Praxis empfohlen, Wirkstoffe zur Unterbindung der Hefeaktivität (Siliermittel DLG Wirkungsrichtung 2) einzusetzen.

6. Literaturangaben

- Studienprojekt, 2011: „Silomanagement und Silagequalität von Maissilagen. Kooperationsprojekt Landeskontrollverband Brandenburg e. V. und HU Berlin.
- Gerlach, K., Hewicker, I.E., Roß, F., Büscher, W., Südekum, K.-H., 2011: Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung von Maissilagen unter Sauerstoffeinfluss. 123. VDLUFA Kongress, Kurzfassungen der Referate, S 88, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Weiß, K., 2000: Gärungsverlauf und Gärqualität von Silagen aus nitratarmem Grünfutter. Dissertation. Berlin, Humboldt-Universität.
- Weiss, K., Kalzendorf, C., Zittlau, J., Auerbach, H., 2009: Novel results on the occurrence of volatile compounds in maize silage. In: Broderick, G.A. et al. (Eds): Proceedings of the XVth International Silage Conference, July 27-29, Madison, USA, 33-34.
- Zittlau, J., 2010: Flüchtige Verbindungen in Maissilagen und die Bedingungen ihrer Entstehung. Masterarbeit, Berlin, Humboldt-Universität.

Untersuchungen zur Veränderung der Proteinqualität während der Silierung von Grassilagen unter Berücksichtigung biogener Amine

W. Richardt¹, R. Wein¹, O. Steinhöfel², M. Pries³

¹LKS - Landwirtschaftliche Kommunikations- und Servicegesellschaft mbH, Lichtenwalde, ²Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Köllitsch, ³Landwirtschaftskammer Nordrhein Westfalen, Münster

1. Einleitung

Während des Silierprozesses laufen umfangreiche Abbau- und Umbauprozesse ab, die zu einer Veränderung der Proteinqualität führen und den Futterwert der Grassilagen erheblich mitbestimmen. Während des Anwelkens und der Silierung findet, durch pflanzeigene und bakterielle Proteasen, ein erheblicher Abbau des in der Grünpflanze vorhandenen Reineiweißes statt (Proteolyse). Über den Umfang der Proteolyse und die Beeinflussbarkeit im Silierprozess ist bisher wenig bekannt. Die Bedeutung für den Futterwert der Silage besteht in der Reduzierung des Reineiweißes und damit im Absinken des Durchflussproteins (UDP) und des nutzbaren Rohproteins (nXP).

Neben der Proteolyse gibt es weitere qualitätsmindernde Abbau- und Umbauprozesse. Die Fraktion A (NPN-Verbindungen) besteht zunächst aus einem hohen Anteil an freien Aminosäuren. Bei Fehlgärungen, durch überwiegend proteolytische Clostridien, kommt es zum Abbau von Aminosäuren zu biogenen Aminen, Gamma-Amino-Buttersäure (GABA), Ammoniak (NH₃) und kurzkettigen Fettsäuren. Biogene Amine können aber auch durch Enterobakterien und Milchsäurebakterien gebildet werden. Ammoniak und Buttersäure entstehen beim Abbau von Aminosäuren durch Desaminierung. Biogene Amine entstehen durch Decarboxylierung. Der Ammoniak-Gehalt und der Gehalt an Buttersäure sind somit gewissermaßen Indikatoren für die Anwesenheit von Clostridien und die Bildung von biogenen Aminen. Sie können aber auf Grund der unterschiedlichen Stoffwechselwege und den daran beteiligten Spezies den direkten Nachweis biogener Amine und der GABA nicht ersetzen.

In vereinzelt Untersuchungen wurden die Veränderungen in den Rohproteinfraktionen durch Ernte und Silierprozess, sowie der Zusammenhang zwischen Konservierungserfolg und Rohproteinfraktionen untersucht (Richardt und Steinhöfel, 2000 und 2007; Gruber et al., 2004 und 2006). Bisher fehlen Daten zur Variation der biogenen Amine in Silagen und es existieren auch keine Orientierungswerte. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Darstellung des Zusammenhanges zwischen Gärqualität (Gärsäuren, Alkohole), Rohproteinfraktionen und dem Gehalt an biogenen Aminen.

2. Material und Methoden

Das der Untersuchung vorliegende Datenmaterial setzt sich aus einem Silierversuch (Haus Riswick) mit biologischen und chemischen Siliermitteln (n=27, Grassilage 1. Schnitt 2009), einem Silierversuch (Haus Riswick) mit biologischen Siliermitteln (n=24, Grassilage 2010), einem Silierversuch (Köllitsch) mit Anreicherung des Eisengehaltes durch Verschmutzung mit verschiedenen Erden (n=18, Grassilage 2010) und einer zufälligen Stichprobe (n=30). Die Bestimmung der Trockenmasse, Rohasche, pH Wert und Ammoniak erfolgte nach dem VDLUFA Methodenbuch Bd. III. Alle anderen Nährstoffe wurden mittels NIR ermittelt. Die Bestimmung der Gärsäuren und Alkohole erfolgte mittels HPLC, die der Biogenen Amine und der Gamma-Amino-Buttersäure (GABA) mittels GC-MS-MS (Wein, 2009). Der Gesamtgehalt an biogenen Aminen (BAges) ist ein Summenparameter und fast den Gehalt an Putrescin, Cadaverin, Histamin, Phenylethylamin, Tryptamin und Tyramin zusammen. Die Bestimmung des Reinproteins (TP) und der anderen Rohproteinfraktionen (A, B1, B2, B3, C) erfolgte nach der Vorgehensweise von Licitra et al. (1996). Die Berechnung des UDP erfolgte nach Kirchhof et al. (2006), bei einer unterstellten Passagerate von 5%/h (UDP5).

3. Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 1 bis 4 ist der Gehalt an den wichtigsten Rohnährstoffen, Gärparametern, Rohproteinfraktionen und biogenen Aminen abgebildet. Der Trockenmassegehalt und der Gehalt an den wichtigsten Rohnährstoffen und Energie entsprechen typischen Grassilagen.

Tab. 1: Gehalt an Rohnährstoffen (n=99)

	TM	XA	ADF_{OM}	NEL	XP	TP	UDP5	nXP
	g/kg TM	g/kg TM	g/kg TM	MJ/kg TM	g/kg TM	% XP	% XP	g/kg TM
Mittelwert	321	104	241	6,4	155	40,7	18,1	140
SD	63	23	39	0,6	34	9,7	8,6	5,8
Min	170	63	173	4,3	115	26,3	1,0	123
Max	574	171	353	7,5	238	67,9	40,9	153

Tab. 2: Gehalt an Gärparametern (n=99, bei Alkohole n= 73)

	pH	MS	ES	BS	NH³	KE	Eth	1,2 Prop
		% TM	% TM	% TM	% N		% TM	% TM
Mittelwert	4,3	8,9	2,4	0,25	7,4	1,6	1,5	0,8
SD	0,3	2,2	1,2	0,63	2,6	1,2	2,0	1,1
Min	3,6	0,1	0,3	0,00	2,2	1	0,2	0,0
Max	5,4	14,3	7,0	3,98	20,0	5	9,2	4,4

MS: Milchsäure, ES: Essigsäure, BS: Buttersäure, KE: Gärnote (DLG, 2006), Eth: Ethanol, 1,2 Prop: 1,2 Propandiol, NH₃ in % des Gesamt-N

Die starke Variation im Rohaschegehalt (63-171 g/kg TM) ergibt sich aus der gezielten Verschmutzung einzelner Proben. Der Anteil des Reineiweiß am Rohprotein beträgt 40,7 %. Dies liegt in der Größenordnung anderer Untersuchungen (Richardt und Steinhöfel, 2000 und 2007). Gruber et al. (2004) ermittelten hingegen 60 %. Der berechnete Wert für das UDP, bei einer Passagerate von 5%/h, liegt mit 18,1 % in der Größenordnung der DLG Tabelle. Bei den Gärparametern fällt der mit 8,9 % in der Trockenmasse relativ hohe Milchsäuregehalt auf. Dies weist auf eine sehr intensive Vergärung hin. Auch der Ethanolgehalt ist im Mittel mit 1,5 % relativ hoch. Die höchsten Gehalte an Ethanol treten bei den verschmutzten Silagen auf.

Der Anteil der einzelnen Rohproteinfraktionen (A, B1, B2, B3, C) am Rohprotein entspricht den Ergebnissen anderer Untersuchungen (Shannak et al., 2000; Richardt und Steinhöfel, 2000 und 2007). Gruber et al. (2004) ermittelten hingegen nur 40 % für die Fraktion A aber 14 % für die Fraktion C (vgl. 4,1 %, Tab. 3).

Tab.3: Gehalt an biogenen Aminen und Anteile der Rohproteinfraktionen (n=99, bei GABA n=9)

	XP	A	B1	B2	B3	C	BA_{ges}	GABA
	g/kg TM	% XP	% XP	% XP	% XP	% XP	g/kg TM	g/kg TM
Mittelwert	155	59,3	2,8	22,8	11,0	4,1	2,86	7,5
SD	34	9,7	1,2	3,7	5,8	1,8	3,24	5,5
Min	115	32,1	0,7	16,2	3,1	1,4	0,00	1,46
Max	238	73,7	5,5	32,1	27,2	10,7	20,7	19,1

Tab.4: Gehalt an biogenen Aminen

	Put	Cad	His	Pea	Try	Tyr	BAGes
	g/kg TM	g/kg TM	g/kg TM	g/kg TM	g/kg TM	g/kg TM	g/kg TM
Mittelwert	1,30	0,32	0,78	0,02	0,20	0,24	2,86
SD	1,61	0,50	0,49	0,05	0,36	0,69	3,24
Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Max	10,4	3,08	2,55	0,28	2,32	4,04	20,7

Put: Putrescin, Cad: Cadaverin, His: Histamin, Pea: Phenylethylamin, Try: Tryptamin, Tyr: Tyramin

Der Gehalt an biogenen Aminen liegt mit 2,86 g/kg TM (SD 3,24) in einem Bereich, wie er auch von anderen Autoren ermittelt worden ist (van Os et al., 1996; Krizsan und Randby, 2007). Auch die Gehalte der einzelnen Amine stimmen mit den in der Literatur beschriebenen Konzentrationen überein (Krizsan und Randby, 2007). Olt et al. (2005) fanden hingegen in siliertem Rotklee, mit hohen Butter-säuregehalten, nur 0,86 g Putrescin/kg TM aber 2,32 g Cadaverin/kg TM, 5,24 g Histamin/kg TM und 2,00 g Tyramin/kg TM.

Zwischen dem Gehalt an biogenen Aminen und der Gärnote besteht ein enger Zusammenhang (Abb. 1). Je schlechter die Gärnote, desto höher ist erwartungsgemäß der Gehalt an biogenen Aminen, aber mit einer hohen Standardabweichung. Der Anstieg des Gesamtgehaltes an Aminen wird durch den Anstieg aller biogener Amine verursacht (Abb. 2). Putrescin, Cadaverin und Histamin weisen in allen Klassen den höchsten Anteil auf. Die Ausnahme bildet Tyramin, welches bei einer sehr guten Gärnote fast nicht vorkommt, jedoch bei Note 4 und 5 den zweithöchsten Anteil bildet.

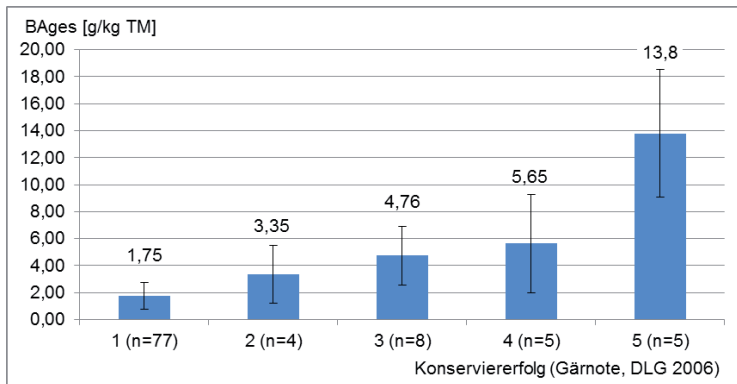


Abb. 1: Zusammenhang zwischen Gärnote und Gesamtgehalt an Biogenen Aminen in Grassilagen

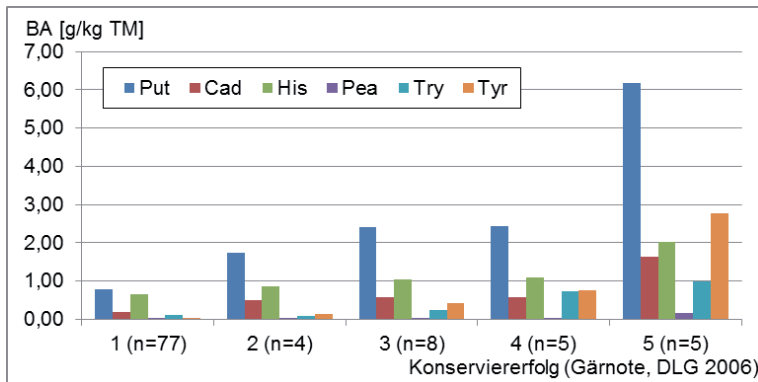


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Gärnote und Gehalt an Biogenen Aminen in Grassilagen (Put: Putrescin, Cad: Cadaverin, His: Histamin, Pea: Phenylethylamin, Try: Tryptamin, Tyr: Tyramin)

Zwischen der Trockenmasse und dem Gehalt an biogenen Aminen besteht eine negative Korrelation (-0,64). Dies unterstreicht die Bedeutung hoher Wasserhalte für das Wachstum von Clostridien. Überraschenderweise besteht aber eine positive Korrelation zwischen dem Gehalt an Reineiweiß und biogenen Aminen (Tab. 5). Der Abbau des Reineiweißes ist die Voraussetzung für freie Aminosäuren und dies die Voraussetzung für die Bildung von Aminen. Ursache für den positiven Zusammenhang könnte die bei Fehlgärung auftretende Maillardreaktion sein.

Tab. 5: Korrelation zwischen Gehalt an Biogenen Aminen [g/kg TM] und Rohnährstoffen (n = 99)

	TM	XA	XP	TP	UDP5	B3	C
	g/kg TM	g/kg TM	g/kg TM	% XP	% XP	% XP	% XP
BAges	-0,64	0,11	-0,03	0,32	0,37	0,20	0,49
P	<0,05	n.s.	n.s.	<0,05	<0,05	n.s.	<0,05

Tab. 6: Korrelation zwischen Gehalt an Biogenen Aminen [g/kg TM] und Gärparametern

	MS	ES	BS	Ethanol	NH₃	pH	KE
	% TM	% TM	% TM	% TM	% N		
N	76	99	99	73	99	99	99
BAges	-0,02	0,61	0,80	0,30	0,67	0,41	0,80
P	n.s.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Der Gehalt an Buttersäure, Ammoniak und die Gärnote zeigte erwartungsgemäß die höchste Korrelation zum Gehalt an biogenen Aminen (Tab. 6). Beim Abbau von Aminosäuren entstehen in Abhängigkeit vom Abbauweg neben biogenen Aminen auch Buttersäure und Ammoniak. Der Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Aminen und Essigsäure besteht nur in Verbindung mit erhöhtem Buttersäuregehalt. Buttersäurefrei Silagen hatten auch bei erhöhten Essigsäuregehalten niedrige Konzentrationen an biogenen Aminen. Dies weist darauf hin, dass Amine hauptsächlich durch Clostridien gebildet werden, die neben Buttersäure auch Essigsäure bilden.

Tab. 7: Gehalt an Rohprotein, UDP und Anteile der Rohproteinfraktionen nach Korrektur um den NH₃-Anteil (n = 99)

	XP	A	B1	B2	B3	C	UDP5	nXP
	g/kg TM	% XP	% XP	% XP	% XP	% XP	% XP	g/kg TM
MW-unk	155	59,3	2,8	22,8	11,0	4,1	18,1	140
MW-NH3	168	62,4	2,6	21,1	10,2	3,8	15,0	139

MW-unk: nicht korrigiert, MW-NH₃: um den NH₃-Anteil korrigiert

Eine Korrektur der Werte um den flüchtigen Ammoniakanteil führte zu einer Erhöhung der Fraktion A um 3,1 % und im gleichen Ausmaß zu einer Reduzierung des UDP Gehaltes (Tab. 7).

Tab.8: Korrelation zwischen Gehalt an Biogenen Aminen und Rohproteinfraktionen nach Korrektur um den NH₃-Anteil (n=99)

	XP g/kg TM	TP %XP	UDP5 %XP	A %XP	B2 %XP	B3 %XP	C %XP
unk	-0,03	0,32	0,37	-0,32	0,33	0,20	0,49
NH ₃	0,06	0,22	0,25	-0,22	0,20	0,15	0,44
P	n.s.	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	n.s.	<0,05

unk: Korrelation mit den nicht um den NH₃-Anteil korrigierten Werten, NH₃: Korrelation mit den um den NH₃-Anteil korrigierten Werten

Alle anderen Fraktionen veränderten sich nur geringfügig. Auch bei den Korrelationen zwischen dem Gehalt an biogenen Aminen und Rohnährstoffen kommt es bei Berücksichtigung des NH₃-Anteils nur zu geringfügigen Verschiebungen (Tab. 8).

4. Zusammenfassung

Der Gehalt an biogenen Aminen in Grassilagen lag im Mittel bei 2,86 g/kg TM (SD 3,24). Der Gehalt an Buttersäure, Ammoniak und die Gärnote zeigten die höchste Korrelation (0,67-0,8) zum Gehalt an biogenen Aminen. Es zeigte sich, je schlechter die Gärnote, desto höher der Gehalt an biogenen Aminen, aber mit einer hohen Standardabweichung. Der Anstieg des Gesamtgehaltes an biogenen Aminen wird durch den Anstieg aller biogenen Amine verursacht. Die Parameter der Rohproteinfraktionierung, insbesondere das Reineiweiß, sind nicht geeignet die Anwesenheit von biogenen Aminen anzuzeigen. Hohe NH₃- und/oder Buttersäuregehalte sind hingegen gute Indikatoren für biogene Amine. Eine Korrektur des Rohproteins und der Rohproteinfraktionen um den NH₃-Anteil ergab keine wesentliche Änderung der Zusammenhänge.

5. Literatur

- DLG Information 2/2006: Grobfutterbewertung, Teil B – DLG Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen auf Basis der chemischen Untersuchung, www.DLG.org.
- Gruber, L., Graggaber, S., Wenzl, W., Maierhofer, G., Steiner, B., Haberl, L., 2004: Gehalte an Kohlenhydraten und Protein in Wiesenfutter und Silomais nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) sowie Einfluss der Konservierung (Grünfutter, Silagen, Heu). VDLUFA Schriftenreihe, Band 60, Kongressband 2004, 366-376.
- Gruber, L., Taferner, K., Steiner, B., Maierhofer, G., Urdl., M., Gasteiner, J., 2006: Einfluss von Vegetationsstadium, Sorte, Standort und Konservierung von Silomais auf den Gehalt an Protein- und Kohlenhydrat-Fractionen sowie den ruminalen in situ-Abbau der Trockenmasse. Kongressband 2006, 226-239.
- Kirchhof, S., Südekum, K.-H., Gruber, L., 2006: Schätzung des ruminalen Rohproteinabbaus von Grünlandaufwüchsen aus dem in situ-Abbau und der chemischen Rohprotein-Fraktionierung. 118. VDLUFA-Kongress, Kurzfassungen, 46.
- Krizsan, S.J. and Randby, A.T., 2007: The effect of fermentation quality on the voluntary intake of grass silage by growing cattle fed silage as the sole feed. *J Anim Sci*, 85, 984-996.
- Licitra, G., Hernandez, T.M., van Soest, P.J., 1996: Standardization of procedures for nitrogen fractions of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57, 347-358.
- Olt, A., Kärt, O., Kaldmäe, H., Ots, M., Songisepp, E., Smidt, I., 2005: The effect of additive and dry matter content on silage protein degradability and biogenic amine content. Estonian University of Life Sciences.
- Richardt, W. und Steinhöfel, O., 2000: Untersuchungen zu Rohproteinfraktionen in Grundfuttermitteln. VDLUFA Schriftenreihe 55/2000, Teil III, 9-15.
- Richardt, W. und Steinhöfel, O., 2007: Untersuchungen zur Veränderung der Proteinqualität bei der Silierung von Grobfuttermitteln, Kongressband 2007, 421-427.
- Shannak, S., Südekum, K.-H. und Susenbeth, A., 2000: Estimating ruminal crude protein degradation with in situ and chemical fractionation procedures. *Anim. Feed Sci. Technol.* 85, 195-214.
- Van Os, M., Van Wikselaar, P.G., Spoelstra, S.F., 1996: Formation of biogenic

amines in well fermented grass silages. J. Agr. Sci., 127, 97-107.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, VDLUFA-Methodenbuch Bd. III, 1976.

Wein, R., 2010: Bestimmung von biogenen Aminen in Silagen mittels GC-MS/MS, Diss., Friedrich-Schiller-Universität, Jena.

Ergebnisse eines Monitorings zu Kobaltgehalten im Mischfutter

K.-H. Grünewald¹, J. Danier², W. Lüpping³, G. Steuer⁴

¹Verein Futtermitteltest (VFT), Bonn, ²ZIEL, Freising-Weihenstephan, ³LK Schleswig-Holstein, Blekendorf, ⁴VFT-Koordinierungsstelle, Groß-Umstadt

1. Einleitung

Kobalt (Co) ist als Bestandteil des Vitamin B₁₂ Moleküls und für dessen Synthese von Bedeutung. Daneben wird für Co eine Beteiligung bei der Aktivierung verschiedener Enzyme diskutiert. Beim Wiederkäuer ist auch eine ausreichende Co-Versorgung für die Vitamin B₁₂ Synthese im Pansen nötig.

Co-Gehalte in Futtermitteln sind sehr unterschiedlich. Gehalte in Maissilage und Milchprodukten sind niedrig, wogegen höhere Gehalte in Hefe, Trockenschnitzeln und Melasse vorkommen. Ein Mangel führt zur Beeinträchtigung der Gesundheit und Leistung, wie z. B. Anämie, Beeinträchtigung Verdauung und Fruchtbarkeit, Futtermittelverwertung sowie Wachstum. Die Toleranzschwelle bei den Nutztieren liegt über dem 100-fachen der Versorgungsempfehlungen.

Im Rahmen der Diskussion um die Arbeitssicherheit bei der Exposition von Personen gegen Futterstäube und den darin vorhandenen Elementen wurde auch auf die Kanzerogenität u. a. von Co hingewiesen. Bei der Produktion von Mineralfutter und dem Einsatz von Co im Mischfutter ist dies zu berücksichtigen.

Zur Beurteilung der Versorgung mit Co sind u.a. folgende Punkte wichtig:

- Welche Co-Gehalte liegen im Nutztiermischfutter in der Praxis vor?
- Wie sind diese im Verhältnis zu den Versorgungsempfehlungen und futtermittelrechtlichen Vorgaben einzuordnen?

2. Material und Methoden

Um die Co-Gehalte im Futter der Nutztiere hinsichtlich der Versorgungslage einschätzen zu können, wurde aus den im Rahmen des VFT-Warentests beprobten Mischfuttermitteln eine Stichprobe (n=134) ausgewählt und die Co-Gehalte

bestimmt. Die Stichprobe umfasst dabei verschiedene Futtertypen aus verschiedenen Regionen Deutschlands. Die Beprobung erfolgte im Sommer 2010, mit Ausnahme der Schaffutter (Beprobung Winter 2010/2011), bei Abfertigung der Ware im Werk oder bei Anlieferung der Ware beim Landwirt, in Einzelfällen auch durch Kauf von Sackware im Handel unter Beachtung der üblichen Probenahmeregeln.

Die Co-Analyse erfolgte im Auftrag des VFT bei verschiedenen LUFA-Laboren unter Anwendung der DIN Norm (DIN EN 15510) bzw. der Verbandsmethode des VDLUFA (VDLUFA MB III, 17.9.1) (DIN, 2007; VDLUFA, 2011). Bei deutlichen Abweichungen von der Deklaration und Überschreitungen der Maximalwerte erfolgte eine Nachuntersuchung zur Absicherung der Befunde. Zur Beurteilung der ermittelten Co-Gehalte der einzelnen Futtertypen, wurde folgendes Vorgehen gewählt:

- Alleinfutter (Ferkel-, Sauenfutter): Befunde,
- Ergänzungsfutter (Milchleistungsfutter, Schaffutter): Abschätzung der Rationsgehalte durch Konzeption einer Ration mit Grundfutter, Unterstellung tabellierte Werte für Grundfutter,
- Vergleich mit wissenschaftlichen Empfehlungen,
- Vergleich mit futtermittelrechtlichen Vorgaben.

3. Ergebnisse

3.1 Deklarierte und ermittelte Kobaltgehalte

Aufgrund rechtlicher Änderungen laut Verordnung (EU) Nr. 767/2009 (EU, 2009) waren ab dem 01.09.2010 entsprechende Angaben zu den eingesetzten Zusatzstoffen mit Einsatzbegrenzung verpflichtend. Daher liegen nur für einen Teil der Schaffutter Deklarationen über die Zusätze vor, während die Mehrzahl der Futter (für Rinder und Schweine) noch keine Angaben zu Co-Zusätzen enthielten.

Tab. 1: Kobalt-Gehalte im Mischfutter, mg/kg

Futtertyp	n	Mittelwert	min	max
Ferkelaufzuchtfutter	27	0,81	0,12	1,74
Sauenfutter	21	0,72	0,24	1,27
Milchleistungsfutter	51	0,43	0,04	2,25
Schaffutter	35 (24)	0,82 (0,66)	0,18 (0,02)	4,94 (5,10)

() = deklarierte Werte

Tabelle 1 zeigt die ermittelten Co-Gehalte in der Originalsubstanz für die einzelnen Futtertypen mit Mittelwert und Spanne auf. Auffällig sind die relativ großen Spannen zwischen den geringsten und höchsten Messwerten. Insbesondere die sehr niedrigen Werte beim Milchleistungsfutter (MLF) und einzelne hohe Werte beim MLF und Schaffutter fallen auf.

Die Prüfung auf Deklarationseinhaltung konnte aufgrund der noch nicht geforderten Angaben bei den im Sommer 2010 beprobten Schweine- und Milchleistungsfuttern nur für die geprüften Schaffutter erfolgen. Hierbei wurde die nach VO (EG) Nr. 767/2009, Anhang 4, vorgesehene Toleranz (EU, 2010) sowie der übliche Analysenspielraum (Schönherr und Danier, 2011)(ASR) berücksichtigt. Da es sich bei der Herstellerdeklaration um eine Angabe der Zusatzes und nicht des Gehaltes handelt, ist bei der Beurteilung des deklarierten Wertes bezüglich einer Überschreitung grundsätzlich auch ein nativer Gehalt an Co zu berücksichtigen – hier wurde unter Berücksichtigung der verwendeten Komponenten und vorliegender Tabellenwerte (Jeroch et al., 1993) ein Wert von ca. 0,1-0,25 mg/kg angenommen. Von 24 Schaffuttern, mit Angabe eines Co-Zusatzes, konnte bei 23 der Wert bestätigt werden, ein Futter wies einen leicht höheren Gehalt auf.

3.2 Ernährungsphysiologische und rechtliche Einschätzung

Die Co-Gehalte im Alleinfutter bzw. in der Tagesration sollten sich an den Versorgungsempfehlungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der GfE orientieren (GfE 2001, GfE 2006), die den „alimentären Bedarf“ umfassen. Seitens der Wissenschaft werden keine Versorgungsempfehlungen für Schweine (und Geflügel) festgelegt, da ein spezieller Bedarf an Co über den Vitamin B₁₂ Bedarf hinaus nicht gesichert ist. Bei der Fütterung mit Alleinfutter oder Eigenmischungen mit Mineralfutter ist wegen der üblichen Vitaminierung von einer ausreichenden Vitamin B₁₂ Versorgung auszugehen. Für Schafe werden die Empfehlungen für Rinder (Milchkühe) angenommen. Darüber hinaus begrenzt ein rechtlicher Maximalwert die Höhe des Zusatzes (EU, 2004). Bei erfolgtem Zusatz ist der Maximalwert von der zugesetzten Menge inklusive dem nativen Gehalt einzuhalten.

In Tabelle 2 werden für die einzelnen Tierkategorien neben den Empfehlungen der GfE für die Gesamtration bzw. das Alleinfutter und den futtermittelrechtlichen Maximalwerten laut Zusatzstoffregister (EU, 2004) die Befunde bzw. die auf die Tagesration umgerechneten Co-Werte für diese Typen gelistet.

Tab. 2: Co-Gehalte der Mischfutter (bei Ergänzungsfutter umgerechnet auf Ration), ASR, Empfehlungen und Maximalwerte

	Mittelwert	min	max	Analysenspielraum	Empfehlungen	Maximalwert*
	mg/kg T				mg/kg T	mg/kg T
Ferkel	0,92	0,14	1,98	±25 % rel.	-	2,27
Sauen	0,82	0,27	1,44	±25 % rel.	-	2,27
Milchkühe	a) 0,29	0,07	1,33	±25 % rel.	0,2	2,27
	b) 0,34	0,12	1,38	±25 % rel.	0,2	2,27
Schafe	c) 0,27	0,13	1,21	±25 % rel.	0,2	2,27
	d) 0,51	0,15	2,86	±25 % rel.	0,2	2,27

Milchkühe

- a) 50 % GF (Gras- und Maissilage) mit 0,1 g/kg Co;
- b) 50 % GF (Gras-, Mais-, Pressschnitzelsilage) mit 0,2 mg Co/kg

Schafe

- c) 80 % GF (Gras/Grassilage) mit 0,11 mg Co
 - d) 50 % GF (Gras- und Maissilage) mit 0,10 mg Co
- * Maximalwert angegeben mit 2 mg/kg (Tagesration) = 2,27 mg/kg T

Zur Beurteilung der „Verteilung“ der berechneten Co-Gehalte der geprüften Schweine-, Rinder- und Schaffutter sind in den Abbildungen 1 bis 3 die Co-Gehalte für die gefütterte Mischung/Ration in aufsteigender Reihenfolge aufgeführt.

Obwohl kein „Bedarf“ formuliert ist, überschreiten die Schweinefutter die Empfehlungswerte für Co in Rinder- und Schaffutter (Tab. 2, Abb. 1).

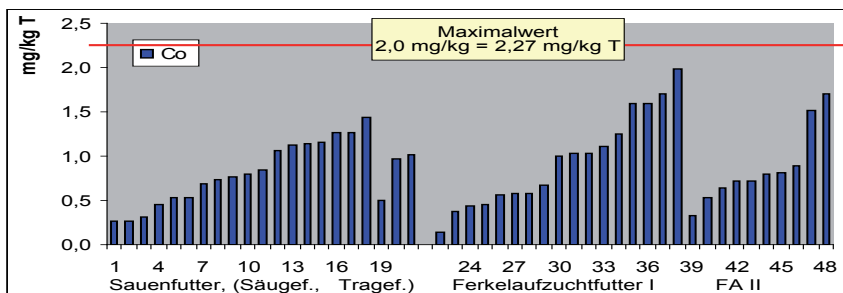


Abb. 1: Kobaltgehalte im Futter für Sauen und Ferkel

Für die Beurteilung der Spurenelementgehalte von Ergänzungsfutter ist eine Berücksichtigung der Rationsanteile des in der Rinder- und Schaffütterung eingesetzten Grobfutters nötig. Für die vorliegende Berechnung wird für den Einsatz von MLF ein Kraftfutteranteil von 50 % angenommen. In einer Variante 1 wird Co-armes Grobfutter und als Variante 2 eine Co-reiche Grobfütterration incl. Pressschnitzelsilage unterstellt. Bei Schafen wird eine Variante 1 mit 20 % Kraftfutteranteil und eine Variante 2 mit 50 % Kraftfutteranteil zu unterschiedlichem Grobfutter kalkuliert. Als Co-Gehalte wurden unterstellt: Grasprodukte 0,11 mg, Maissilage 0,09 mg, Pressschnitzelsilage Ø 0,40 mg/kg T (laut Tabelle 0,21-0,58 mg/kg T).

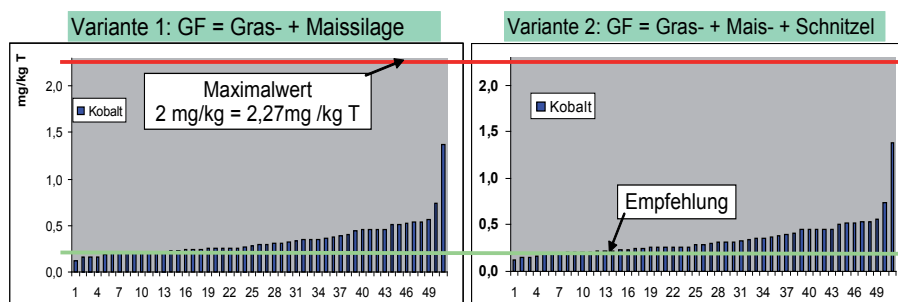


Abb. 2: Kobaltgehalte in Milchviehrationen (50 % Kraftfutter)

Bei Milchkühen erreicht in Variante 1 (Gras- + Maissilage) ein Drittel der Futter nominell eine ausreichende Versorgung mit Co nicht, bei der überwiegenden Zahl der berechneten Rationen würde die notwendige Versorgung ausreichend sein (bis zum 2,5-fachen der Empfehlung), lediglich für zwei MLF resultiert eine deutlich höhere Versorgung (3,5-fach, 7-fach). Bei Unterstellung einer Co-reichen Grundration (Variante 2 mit Pressschnitzelsilage) wäre ein Zehntel der MLF bei Co unzureichend. Überwiegend würde der Gehalt gut ausreichen (bis zum 2,5-fachen der Empfehlung) mit zwei höheren Werten. Die Höchstwerte würden in keinem Fall tangiert. Bei dem Milchleistungsfutter mit hohem Co-Gehalt handelt es sich um eine Sondermischung, insoweit könnte eine begrenzte Einsatzmenge oder ein spezieller Einsatzbereich vorliegen, näheres ist nicht bekannt.

Beim Einsatz der Ergänzungsfutter für Schafe in mäßigem Anteil von 20 % in der Ration, würde für drei Rationen (9 %) die Empfehlung unterschritten. Für den überwiegenden Anteil der Rationen wäre wie bei den Milchleistungsfuttern eine Abdeckung der Versorgung bis zum 2,5-fachen des Bedarfs festzustellen.

Lediglich bei Einsatz des Futters mit dem höchsten Co-Gehalt würde der Bedarf um das 5-fache überschritten, der Höchstwert aber noch nicht tangiert. Bei Einsatz der geprüften Kraftfutter mit 50 % in der Schafration, wäre die Versorgungslage deutlich höher.

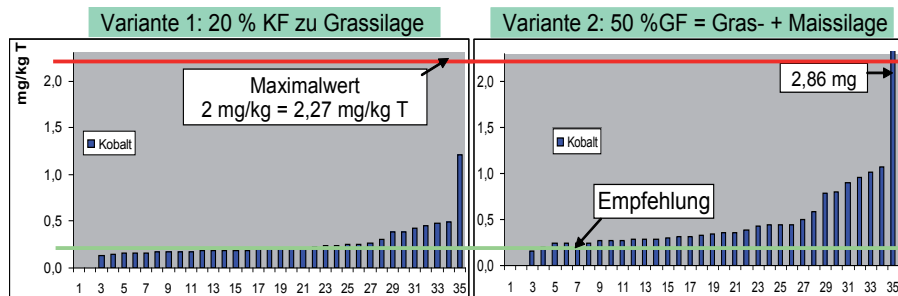


Abb. 3: Co-Gehalte in Schafrationen (20 bzw. 50 % Kraftfutter)

Die Beurteilung der Rationen für Kühe und Schafe ist mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Durch eine ergänzende Mineralfuttermittelgabe kann die Co-Versorgung erhöht werden. Daher ist für die tatsächliche Versorgung unbedingt die individuelle Gesamtration zu beachten.

4. Diskussion

Der NRC (2005) gibt als Toleranzschwellen für Rinder, Schafe und Küken 25 mg/kg, für Schweine 100 mg/kg Futter an. Die hier ermittelten Co-Gehalte sind daher trotz der z. T. deutlichen Überschreitung der Bedarfswerte und der Überschreitung des Maximalwertes (1-mal) physiologisch völlig problemlos.

Nach Informationen verschiedener Herstellerfirmen wird Co im Futter für Schweine und Geflügel wegen ausreichender Vitamin B₁₂ Ergänzung und mangels einer formulierten Versorgungsempfehlung nicht ergänzt. Andere Hersteller setzen Co aber zu, was auch Auswertungen von Deklarationsunterlagen aus dem Warentest des VFT zeigen (mit Zusatz 50-70 % der Schweine-, Rinder- bzw. Legehennenfutter). Der Co-Anteil über die Vitamin B₁₂-Ergänzung dürfte aufgrund des geringen Anteils von ca. 4 % Co im B₁₂ relativ unbedeutend sein.

Im Dialog mit den Mischfutterherstellern wäre zu prüfen, ob eine Anpassung der genutzten Vitamin- und Spurenelementvormischungen mit Reduzierung der unnötig hohen Co-Gehalte im Schweinefutter möglich ist.

Die tabellierten Co-Gehalte, insbesondere für die Grobfuttermittel, schwanken nach Jeroch et al. (1993) stark (z. B. Grasprodukte 0,04-0,20 mg/kg T). In Regionen mit Co-armen Böden und somit geringem Gehalt im Aufwuchs kann in der Ration ein Mangel vorliegen, auch wenn eine Kalkulation mit Tabellenwerten (Mittelwerte) durchgeführt wird. Eine knappe Versorgung würde dadurch verstärkt. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer separaten Mineralstoffergänzung.

Da der Zusatz von Spurenelementen im Mischfutter mittlerweile laut Verordnung (EG) Nr. 767/2009 deklarationspflichtig ist, kann der Berater/Landwirt bei Kenntnis regionaler Besonderheiten der Spurenelementgehalte in den Futterpflanzen über die gezielte Auswahl mineralisierter Kraftfutter und gegebenenfalls zusätzlicher Mineralfutter eine ausreichende Nähr-, Mineral- und Wirkstoffversorgung der Tiere über die Ration anstreben. Grundlage dafür sind allerdings Informationen über abweichende Spurenelementgehalte im Aufwuchs spezieller Regionen. Ohne entsprechende regionale Daten dürfte eine generelle Ergänzung der Rationen für Rinder und Schafe mit Spurenelementen (Mineralfutter) unter Beachtung der Schwankungen der tabellierten Co-Gehalte für das Grobfutter praktikabler sein.

5. Zusammenfassung

Im Rahmen einer Stichprobe (n=134) wurden Mischfutter auf den Co-Gehalt untersucht. Die Gehalte differierten stark, was u. a. auf Unterschiede zwischen Allein- und Ergänzungsfutter zurückzuführen ist. Einzelne Futter enthielten sehr hohe Gehalte. Bei Einsatz von Ergänzungsfutter ist die anteilige Co-Versorgung über andere Futterkomponenten (Grobfutter, Mineralfutter) zu berücksichtigen. Für Sauen- und Ferkelfutter werden trotz fehlender Formulierung eines „Bedarfs“ im Mittel höhere Co-Werte als für Rinder- und Schaffutter ermittelt. Die beim Einsatz von Rinder- und Schaffutter ermittelten Co-Werte in Beispielsrationen zeigen teils eine Unterschreitung der empfohlenen Versorgung, überwiegend aber eine Einhaltung bis zum 2,5-fachen des „Bedarfs“ und dessen Überschreitung auf. Einmal resultiert eine Überschreitung des Maximalwertes für Co in der Tagesration. In der Rationsberechnung sollten die Co-Gehalte des Grobfutters berücksichtigt und durch geeignete Kraftfutterauswahl und Mineralfutterergänzung optimiert werden.

6. Literatur

- DIN (Deutsches Institut für Normung), 2007: DIN EN 15510:2007 – Futtermittel – Bestimmung von Calcium, Natrium, Phosphor, Magnesium, Kalium, Eisen, Zink, Kupfer, Mangan, Cobalt, Molybdän, Arsen, Blei und Cadmium mittels ICP-AES. Beuth Verlag, Berlin.
- EU, 2004: Verzeichnis der zugelassenen Futtermittelzusatzstoffe. Amtsblatt der EU, C50, 1 ff.
- EU, 2009: Verordnung (EG) Nr. 767/2009 des EU Parlamentes und des Rates vom 13. Juli 2009. Amtsblatt der EU, L 229, vom 1.9.2009, 1-28.
- EU, 2010: Verordnung (EG) Nr. 939/2010 der Kommission vom 20. Oktober 2010. Amtsblatt der EU, L 229, vom 21.10.2010, 4-7.
- GFE, 2001: Energie und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8 Milchkühe u. Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- GFE, 2006: Energie und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8 Schweine. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- Jeroch, H., Flachowsky, G., Weißbach, F. (Hrsg.), 1993: Futtermittelkunde, Anhang Mineralstoffgehalt von Futtermitteln. 485-494, Gustav Fischer Verlag, Jena/Stuttgart.
- NRC (National Research Council), 2005: Mineral Tolerance of animals. 2nd. Rev. edition, 124-133, The National Academies Press, Washington D.C..
- Schönherr, J., Danier, J., 2011: Überarbeitung der Analysenspielräume fortgesetzt. Kraftfutter-Feed Magazine, 94 (3-4), 34-44.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2011: Methode 17.9.1, As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Tl, U, V in Pflanzen sowie Grund- und Mischfuttern, ICP-MS. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung (in Druck), VDLUFA Verlag, Darmstadt.

Die Prüfung von Mischfutter durch den Verein Futtermitteltest e. V. wird insbesondere durch Zuschüsse des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) gefördert.

Ermittlung von laktationsspezifischen Prognosebereichen zur Beurteilung der Konzentration von Blutparametern beprobter Milchkühe

C. Kronschnabl¹, H. Spiekers¹, W. Preißinger¹, M. Stangasinger², K. Mahlkow-Nerge³, M. Pries⁴, T. Jilg⁴, B. Losand⁶, F. Schwarz⁷

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futtermittlerwirtschaft, Poing-Grub, ²LMU München, Lehrstuhl für Tierphysiologie, München, ³Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp, Blekendorf, ⁴Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Landwirtschaftszentrum Haus Riswick, Kleve, ⁵Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung und Grünlandwirtschaft, Aulendorf, ⁶Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Tierhaltung, Dummerstorf, ⁷TU München, Lehrstuhl für Tierernährung, Freising

1. Einführung

Bei der Milchkuh steht die Gesundheitsvorsorge neben der Leistung im Vordergrund der Ausgestaltung von Fütterung und Haltung. Im Rahmen des erforderlichen Controllings wird auch auf Blutwerte zurückgegriffen (Spiekers, 2007). Zur Bewertung sind aussagefähige Referenzwerte erforderlich. Die Problematik des Fehlens einheitlich geltender Referenzbereiche für Milchkühe, aber auch die immer noch herrschende Unsicherheit über die Auswahl aussagekräftiger Stoffwechselfparameter war im Jahr 2004 der Auslöser für die Durchführung des deutschlandweiten Ringversuchs „Stoffwechselfparameter und ihre Aussage“ (Kronschnabl et al., 2008). Die dabei gewonnenen betriebs- und herdenspezifischen Daten zusammen mit den Messergebnissen von Blutparametern, die bisher schon als diagnostisch brauchbar galten, stellten die Grundlage dieser Arbeit dar (Kronschnabl, 2010). Ziel dieser Arbeit war es, jeweils für den gesamten Laktationsverlauf von Deutschen Holstein- (DH) und Deutschen Fleckvieh-Kühen (FV) Referenzwerte in Form eines sogenannten 95 %-Prognosebereiches für die Konzentration verschiedener Blutparameter bei erst- und mehrfach laktierenden Kühen zu erstellen. Als Bezug für diese Prognosebereiche dienten sowohl die Energiebilanz als auch die Laktationswoche zum Zeitpunkt der Probenentnahme.

2. Material und Methoden

Verwendet wurden ein umfangreiches Probenmaterial, das aus Untersuchungen von anderweitig ausgerichteten wissenschaftlichen Projekten stammte, sowie die dazugehörigen betrieblichen und herdenspezifischen Kenngrößen. Insgesamt wurden die Blutproben von 778 erstlaktierenden und 1 749 mehrfach laktierenden Tieren in die Auswertung aufgenommen (Tab. 1). In allen Versuchen erfolgte eine Fütterung in Anlehnung an die GfE (2001).

Tab. 1: Anzahl der Blutproben aus den einzelnen Versuchen, die für eine weitergehende Auswertung genutzt wurden

Versuch	Anzahl der ausgewerteten Blutproben	
	1. Laktation	Mehrfachlaktation
Riswick	3	14
Aulendorf	6	19
Dummerstorf	13	23
Futterkamp		
I)	33	112
II)	127	153
III)	36	131
IV)	42	78
V)	101	138
Grub (Steyer)	58	70
Grub (Steinke)	250	769
Weihenstephan (Liermann)	109	242
Summe	778	1749

Die Initiative für eine derartig breit angelegte Erhebung geht auf das Jahr 2004 zurück, in dem die Durchführung eines deutschlandweiten Ringversuchs mit dem Titel „Stoffwechselfparameter und ihre Aussage“ zwar geplant wurde, aber aus Kosten- und organisatorischen Gründen letztlich nicht durchgeführt wurde (Kronsnabl et al., 2008). Es kamen weitere Versuche von Mahlkow-Nerge (2005 und 2006) aus Futterkamp, Liermann (2008) von der TUM sowie Steinke (2009) und Steyer et al. (2010) aus Grub zur Verwendung. Bei der Durchführung dieser jeweils eigenständigen Versuche war ein Abgleich und eine Stan-

Standardisierung der Vorgehensweise mit der Ausrichtung auf das ursprüngliche Ziel des Ringversuches nicht gegeben. Die daraus resultierende präanalytisch verursachte Heterogenität bei den laboranalytischen Ergebnissen dieser Versuche bereitete große Schwierigkeiten bei der zusammenfassenden Darstellung dieser Proben. So musste sich die mathematisch-statistische Auswertung der vorliegenden Arbeit auf Messergebnisse zu den in den meisten Versuchen erfassten Blutparametern AST, GLDH, γ -GT, Bilirubin, Gesamtprotein, Harnstoff, Cholesterin, Glucose, β -Hydroxybutyrat und NEFA beschränken. Darüber hinaus war es erforderlich, Tiere, von denen im Zeitraum von einer Woche vor bis eine Woche nach der Blutprobenentnahme „Auffälligkeiten“ im jeweiligen Versuchsprotokoll festgehalten waren (wie z. B. Mastitis oder Klauenerkrankungen), von der Auswertung auszuschließen. Die derartig „bereinigten“ Versuchsergebnisse wurden anschließend nach Laktationsnummern (erstlaktierende versus mehrfach laktierende Tiere) sortiert. Weitere Angaben zu Umfang, Art und Häufigkeit der Blutproben sind bei Kronschnabl (2010) ersichtlich.

Voraussetzung zur Verwendung der Blutproben war die Vorlage der Daten zur Berechnung der Energiebilanz. Der NEL-Saldo wird als zentrale Einflussgröße des Energiestoffwechsels erachtet. Bei jedem Tier wurde anhand der Lebendmasse, der Futteraufnahme und der Milchmenge begleitend zum Laktationsverlauf die tierspezifische Energiebilanz nach Maßgabe der GfE (2001) berechnet. Hierdurch war es möglich den z. T. sehr variablen Entnahmezeitpunkten eine bestimmte Energiesituation zuzuordnen und anschließend die Parameterkonzentration energetisch ausgerichtet in einer bestimmten Energiebilanzgruppe zusammenzufassen. Dadurch war es auch möglich geworden, unabhängig vom Beprobungszeitpunkt energieabhängige Konzentrationsverläufe der ausgewählten Parameter zu erstellen. Des Weiteren wurde eine multiple Regressionsanalyse durchgeführt, mit der Absicht die einzelnen sich in zahlreichen präanalytischen Details unterscheidenden Versuche mathematisch zusammenzufassen. Als abhängige Variable für diese multiple Regressionsanalyse wurden wiederum die diversen Energiebilanzsituationen sowie der Laktationszeitpunkt genutzt. Zudem wurde auch der Einfluss der unterschiedlichen Betriebe sowie der Rassen und der einzelnen Individuen in das Regressionsmodell aufgenommen.

Die Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm R 2008 am Statistikinstitut der LMU. Verrechnet wurden die Daten aus Futterkamp sowie die Versuche Liermann (2008), Steinke (2009) und Steyer et al. (2010). Die Versuche aus Riswick,

Aulendorf und Dummerstorf dienten zur Prüfung der Ergebnisse. Die berechneten Regressionsmodelle dienen zur Erstellung der Prognosebereiche. Folgendes Modell wurde verwendet:

Blutparameter = Funktion (Energie) + Effekt der Versuchsanstellung + Effekt der Rasse + Effekt der Laktationswoche + Kuheffekt

Die Variable „Versuchsanstellung“ wurde umkodiert in eine effektkodierte Variable um eine Quantifizierung des Einflusses auf die Zielgröße zu ermöglichen, da nicht in allen Versuchen alle Blutparameter untersucht wurden. Bei der Rasse ist zu beachten, dass in allen Versuchen nur je eine Rasse zum Einsatz kam.

Tab. 2: Verteilung der Energiebilanz zur Entnahme der Blutprobe

Saldo, MJ NEL/Tag	Jungkühe %	Altkühe %
>30	2,6	3,8
21 bis 30	6,8	8,8
11 bis 20	14,8	16,4
1 bis 10	22,1	17,7
0 bis -10	19,3	15,7
-11 bis -20	16,7	12,8
-21 bis -30	8,1	8,7
-31 bis -40	5,3	6,1
<-40	4,4	10,1
gesamt, n	778	1749

Die konkrete Verteilung der Tiere auf die berechneten Energiesalden zu den Blutproben ist aus der Tabelle 2 ersichtlich. Sowohl bei den Jungkühen als auch bei den Altkühen ist eine breite Spanne ersichtlich. Dies erklärt sich aus den Versuchsanstellungen, die zum Teil über die ganze Laktation gingen. Stark negative Salden traten vor allem bei Altkühen der Rasse DH zu Beginn der Laktation auf. Bei den Laktationswochen geht die Spanne von der Kalbung bis über 40 Laktationswochen. Bei den Altkühen standen im Mittel 40 Blutproben mit einer Standardabweichung von 8 je Laktationswoche zur Verfügung. Bei den Jungkühen der 1. Laktation waren dies im Mittel 17 Blutproben je Laktationswoche mit einer Standardabweichung von 15.

3: Ergebnisse

Bei der Auswertung zeigt sich ein starker Einfluss des Versuchs. Für die meisten Blutwerte war dieser Effekt signifikant. Als Ergebnis der Auswertungen konnte ferner ein signifikanter Einfluss der Energieversorgung auf die Konzentration der Parameter AST, γ -GT (> 1 Laktation), Bilirubin, Gesamtprotein (1. Laktation), Harnstoff, Cholesterol (1. Laktation), Glucose, BHB und NEFA ermittelt werden (Tab. 3). Darüber hinaus war auch ein signifikanter Einfluss der Laktationswoche auf die Konzentration von AST, GLDH, γ -GT, Bilirubin, Harnstoff, Cholesterol, Glucose, BHB (> 1 Laktation) und NEFA feststellbar.

Für die einzelnen Blutwerte ist die Aussagefähigkeit auf Grund der Differenzen im Datenumfang und der Datenverteilung sowie der physiologischen Zusammenhänge unterschiedlich. Dies trifft z. B. auf Harnstoff und Gesamtprotein zu. Beim Harnstoff sind die Zusammenhänge zur Fütterung besonders zu beachten. Die Aussagen zum Einfluss der Rasse sind ebenfalls eingeschränkt, da keine vergleichende Prüfung erfolgte.

Für sämtliche Blutparameter, die signifikant durch die Energiebilanz bzw. die Laktationswoche beeinflusst werden, wurden sogenannte 95 %-Prognosebereiche sowohl in Abhängigkeit zur Energiebilanz als auch zur Laktationswoche berechnet und graphisch dargestellt (Kronschnabl, 2010). Zahlenmäßige Angaben zu der jeweiligen unteren und oberen Grenze dieser Prognosebereiche wurden in Tabellen festgehalten und können dadurch zur Einordnung von neuen Messergebnissen zu diesen Parametern verwendet werden.

Die Eignung der Prognosebereichs-Tabellen für eine derartige Anwendung wurde schließlich mittels weiterer Datensätze aus drei Versuchen getestet. Dabei konnte mit diesen Validierungsdaten einerseits die allgemeine Gültigkeit der 95 %-Prognosebereiche untermauert werden. Andererseits konnten gleichzeitig auch zahlenmäßige Abweichungen von der in den Prognosebereichen vorgegebenen „Norm“ in einer Herde auf dem 5 %-Signifikanzniveau entdeckt werden.

Tab. 3: Ergebnisse der statistischen Auswertung für Jung- und Altkühe

– erstlaktierende Tiere (Jungkühe)			
Blutparameter	NEL-Saldo	Laktations- woche	Versuch
AST	***	***	n.s. bis*
GLDH	n.s.	***	n.s. bis*
γ-GT	n.s.	***	n.s.
Bilirubin	***	***	n.s. bis***
Gesamtprotein	*	n.s.	n.s. bis***
Harnstoff	***	**	*bis***
Cholesterol	*	***	n.s. bis***
Glucose	***	*	n.s. bis***
BHB	**	n.s.	n.s. bis***
NEFA	***	***	***
– mehrfach laktierende Tiere (Altkühe)			
AST	***	***	n.s. bis***
GLDH	n.s.	***	n.s. bis***
γ-GT	***	***	n.s. bis**
Bilirubin	***	***	n.s. bis***
Gesamtprotein	n.s.	n.s.	n.s. bis***
Harnstoff	*	***	*bis***
Cholesterol	n.s.	***	n.s. bis***
Glucose	***	***	n.s. bis***
BHB	***	***	n.s. bis***
NEFA	***	***	n.s. bis***

Signifikanzniveau: <0,001***; 0,001-0,01**; 0,01-0,05*; >0,05 n.s.

4. Anwendung der Prognosebereiche

Die Tabellen mit den Prognosebereichen sind sehr umfangreich. Zur Verwendung in der Routine empfiehlt sich eine entsprechende Programmierung zum Abgleich der Probenwerte. In Tab. 4 ist der Aufbau beispielhaft für die Enzymaktivität AST für Altkühe aufgeführt. Die Daten sind für die Laktationswochen 5,

20 und 25 sowie 5 verschiedenen Energiesalden dargestellt. Bei den angeführten Obergrenzen zeigen sich geringe Unterschiede in Abhängigkeit von Rasse, Energie-Saldo und Laktationswoche. Bei stark negativen Energiesalden verschieben sich die Prognosebereiche stärker.

Tab. 4: Obergrenze für AST (U/L) bei Altkühen nach Laktationswoche, NEL-Saldo und Rasse (Kronsnabl, 2010)

Laktations- woche	5		20		35	
	FV	DH	FV	DH	FV	DH
Rasse						
Saldo, MJNEL/Tag;						
-40	140	129				
-20	133	122	142	142		
0	134	122	143	143	147	135
+15			143	143	147	135
+30					149	137

Für die Blutproben von 2 Kühen aus einem in Grub laufenden Versuch sind für AST und BHB die Werte nach den 95 %-Prognosebereichen in den Tabellen 5 und 6 bewertet. Für die Kuh 253 zeigt sich eine AST-Aktivität oberhalb des Prognosebereichs. Dies gilt sowohl bei Einbeziehung des Energiesaldos (Tab. 5) als ohne Kenntnis des Saldos (Tab. 6). Aus den angeführten Obergrenzen ist ersichtlich, dass der Einfluss bei der üblichen Bandbreite der Energiesalden eher gering ist.

Tab. 5: Einordnung von Blutproben der Tiere 253 und 355 (FV, 2. Laktationswoche, Folgelaktation) für AST und β -Hydroxybutyrat (BHB) bei Vorlage des Energiesaldos

Tier-Nr.	NEL-Saldo		AST, U/L	
	MJ/Tag	Messwert	Obergrenze	Bewertung
253	-14	209	151	↑
355	-38	110	151	o.k.
			BHB, mmol/l	
253	-14	0,43	0,83	o.k.
355	-38	0,42	0,87	o.k.

In Tabelle 6 sind die Prognosebereiche bei fehlender Kenntnis des Energiesaldos angeführt. Dies ist die in der Praxis wahrscheinlich häufig vorkommende Situation. Aus den bisherigen Erfahrungen in der Anwendung in der Praxis ergibt sich, dass die Differenzierung nach Rasse und Energiesaldo eine untergeordnete Bedeutung zu kommt. Noch aussteht die Anwendung und Umsetzung der Prognosebereiche in der Herdendiagnostik und dem gesamten Produktionscontrolling.

Hierzu sind folgende Punkte zu erledigen:

- technische Umsetzung der Prognosebereiche in PC-Anwendungen
- weitere Standardisierung von Probenahme und -aufbereitung sowie Analyse und Befundung,
- Bearbeitung einer Auswahl aussagekräftiger Stoffwechselfparameter für Problembereiche,
- Erarbeitung von Hinweisen zur Anwendung und Nutzung der Prognosebereiche.

Tab. 6: Einordnung von Blutproben der Tiere 253 und 355, FV, 2. Laktationswoche, Folgelaktation für AST und β -Hydroxybutyrat (BHB)

Tier-Nr.	AST, U/L		
	Messwert	Prognosebereich B	Bewertung
253	209	59 - 158	↑
355	110	59 - 158	o.k.
		BHB, mmol/L	
253	0,43	0,26 - 1,0	o.k.
355	0,42	0,26 - 1,0	o.k.

5. Fazit

Zusammenfassend gilt festzustellen, dass sich die im Rahmen dieser Untersuchung ermittelten Prognosebereiche bei einer Testung mit zusätzlichen Validierungsdaten bewährt haben. Es gab zahlreiche Übereinstimmungen der Testdaten mit den Prognosebereichen, aber z. T. auch signifikante Abweichungen. Dies zeigt, dass die geschätzten Prognosebereiche trotz der gegebenen Breite emp-

findlich genug bleiben, um für die hier verwendeten Blutparameter zahlenmäßige Abweichungen im Umfang von $\geq 5\%$ der Tiere einer Herde signifikant nachzuweisen. Unabhängig von dieser Möglichkeit des statistisch begründbaren Nachweises von Unter- oder Überschreitungen beim Vergleich von Herden-Daten mit den hier gegebenen Prognosebereichen muss jedoch auch die Qualität und Quantität der Abweichungen und damit auch deren biologische Sinnhaftigkeit bzw. die diagnostische Relevanz im Auge behalten werden. D. h. der Wert dieser Prognosebereiche gewinnt dann seine volle Bedeutung, wenn gleichzeitig auch abweichende Daten in ihrer Kausalität sinnvoll begründbar bleiben. Trotz der großen Unterschiede in den äußeren Bedingungen der einzelnen Versuche, insbesondere in der Rationsgestaltung sowie der Blutprobenentnahme und -analyse, konnten also mit Hilfe einer aufwendigen, aber zielgerichteten statistischen Auswertung für die Praxis der Überwachung von Milchviehherden nutzbare Ergebnisse erzielt werden. Besonders die Prognosebereiche, die in Abhängigkeit von der Laktationswoche erstellt wurden, können in der Praxis eine jederzeit nutzbare wertvolle Hilfe bei der Beurteilung der Ergebnisse von zu bestimmten Zeiten entnommenen Blutproben darstellen.

Unzweifelhaft wären bei der Schätzung der Prognosemodelle weitaus bessere Ergebnisse zu erzielen gewesen, wenn im Vorfeld der Parameteranalytik (=Präanalytik) eine weitgehend einheitliche Vorgehensweise gewählt und durchgehalten worden wäre.

6. Literatur

- GfE, 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder, Heft 8 des Ausschusses für Bedarfsnormen, DLG-Verlag, Frankfurt.
- Kronsnabl, C., Spiekers, H., Preißinger, W., Mahlkow-Nerge, K., Pries, M., Jilg, T., Losand, B., Stangassinger, M., 2008: „Ringversuch“: Stoffwechselfparameter und ihre Aussage, Tagungsunterlage des Forums angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 9.-10.4.2008 in Fulda, 23-27.
- Kronsnabl, C., 2010: Ermittlung von laktationsspezifischen Prognosebereichen zur Beurteilung der Konzentration von Blutparametern beprobter Milchkühe. Dissertation vet. med. tierärztliche Fakultät der LMU, München, 230.

- Liermann, T., 2008: Einfluss einer Zulage von pansengeschützter konjugierter Linolsäure (CLA) in Kombination mit Propylenglykol oder pansengeschütztem Fett auf Leistungsmerkmale, Stoffwechselfparameter und den Energiestatus frischlaktierender Milchkühe. Dissertation, TU München.
- Mahlkow-Nerge, K., 2005: Auswirkungen unterschiedlicher Häcksellängen beim Silomais auf die Strukturversorgung der Milchkuh, Tagungsunterlage des Forums angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 6.-7.4.2005 in Fulda, 70-74.
- Mahlkow-Nerge, K., 2006: Vergleich des Einsatzes von Propylenglykol und Glycerin in Rationen für Hochleistungskühe, Tagungsunterlage des Forums angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 5.-6.4.2006 in Fulda, 30-33.
- Spiekers, H., 2007: Rationsplanung und Rationskontrolle. In: Precision Dairy Farming, Elektronikeinsatz in der Milchviehhaltung. KTBL-Schrift 457, Darmstadt, 39-52.
- Steinke, K., 2009: Langfristiger Einsatz von gentechnisch verändertem Mais (MON810) in der Milchviehfütterung im Hinblick auf Leistungs- und Stoffwechselfparameter, Fruchtbarkeit und Tiergesundheit. Dissertation, Technische Universität München, WZW, Freising.
- Steyer, M., Ettle, T., Spiekers, H., Rodehutschord, M., 2010: Zum Zusammenhang von Energiebilanz und der Veränderung von Rückenfettdicke und Körperkondition bei Fleckviehkühen. In: Tagungsunterlage des Forums angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 9.-10.4.2008 in Fulda, 23-27.

Herzratenvariabilität bei Rindern: Methodik zur Messung von vegetativer Reaktionslage und Stress

M. Frühwirth¹, J. Wohlers², D. Messerschmidt¹, T. Baars², W. Wenzl³, M. Moser^{1,4}

¹Human Research Institut für Gesundheitstechnologie und Präventionsforschung, Weiz, ²Universität Kassel, Fachbereich Biologisch-Dynamische Landwirtschaft, Witzenhausen, ³Landwirtschaftliches Forschungszentrum Raumberg-Gumpenstein, Irdning, ⁴Medizinische Universität Graz, Institut für Physiologie

1. Hintergrund

Beim Menschen ist die Messung von vegetativer Reaktionslage, Stressbelastung und Erholungsfähigkeit mit Hilfe der Herzratenvariabilität (HRV) ein etabliertes Verfahren (Moser et al., 2008). Die Aussagemöglichkeiten über Aktivität und Reaktionen des autonomen Nervensystems sind gut untersucht (für einen Überblick siehe Berntson et al., 1997), das Anwendungsspektrum wird jedoch noch kontinuierlich erweitert.

Diese innovative nichtinvasive Messmethode wurde auch bei Rindern erprobt und für die Erfassung von Belastungsfaktoren verwendet (Gygax et al., 2007; Hagen et al., 2005; Mohr et al., 2002), eine vergleichende Arbeit zu mehreren Nutztierarten findet sich bei Von Borell et al. (2007).

Die technische Miniaturisierung von Messgeräten schreitet rasch fort und erlaubt durch längere Aufzeichnungsspannen erweiterte Anwendungsszenarien, womit chronobiologische Analysen analog der Humanmedizin (Moser et al., 2006) möglich werden. Während es in diesem Bereich bereits seit etwa 15 Jahren Bestrebungen zur Standardisierung und Vereinheitlichung der Methoden gibt (Task Force of the ESC and NASPE, 1996), ist bei Tieren weder die Entwicklung von zuverlässigen, hochqualitativen Aufzeichnungsverfahren noch die Standardisierung der Auswertung und Interpretation abgeschlossen.

2. Problemstellung

Ziel der Arbeit war es, die Methodik für circadiane Herzratenmessungen, über volle 24 Stunden, an freilaufenden Tieren im Laufstall oder auf der Weide zu entwickeln. Gegenüber reinen Herzratenmessern (Pulsuhren aus dem Sport) bietet die zusätzliche Erfassung eines einkanaligen EKGs die Möglichkeit der Erkennung von Pathologien, Störungen und Fehlerquellen sowie der Nachbearbeitung und sollte daher vorrangig erprobt werden.

3. Methodik

Ein-Kanal-EKG-Geräte aus der Humanmedizin, die durch hohe Abtastraten auf die präzise Aufzeichnung der HRV spezialisiert sind (Chronocord, Human Research Weiz, 8.000 Hz; bzw. in Vorgängerversuchen HeartMan, Heartbalance Graz, 5.000 Hz) wurden mit speziellen Kabeln versehen. Der Kontakt zur rasierten Haut erfolgte über Einweg-Klebelektroden. Besonderes Augenmerk wurde auf die Befestigung und Überdeckung mittels Gurten gelegt, da keine Elektroden- oder Kabelteile frei liegen dürfen (Abb. 1).

Die Aufzeichnungen mit Kühen erfolgten durchwegs im Laufstall oder auf der Weide, die Kälber wurden in Boxen gehalten.



Abb. 1: Messgerät „ChronoCord“ und Kleben der Elektroden (links), Kuh mit angelegtem Gurt während der Messung im Nieselregen am befestigten Auslauf (rechts)

4. Ergebnisse

Die EKG-Geräte erwiesen sich als geeignet, die Herzrate mit einer zur Berechnung von HRV-Parametern nötigen Genauigkeit zu erfassen. Bei ausgewachsenen Tieren konnten einheitliche Elektrodenpositionen gefunden werden, die stets zu einem guten Ergebnis führen. Nur bei wenige Tage alten Kälbern kam es zu einer so großen Variation der EKG-Formen, dass die automatische Detektion der Herzschläge nachbearbeitet werden musste.

Eine für die Ermittlung der HRV ausreichende Messqualität wurde über eine Zeitspanne von 10 bis maximal 24 Stunden erzielt, ohne dass korrigierend eingegriffen wurde. Limitierender Faktor für die Messdauer ist die Haftung der Elektroden: Schweißbildung und Hautbewegungen lassen die Elektroden mit der Zeit verrutschen oder sie lösen sich ganz. Während der notwendige Befestigungsgurt einerseits Schutz bietet, kann er andererseits die Ablösetendenz durch Reibung auch verstärken. Es ist daher nötig den Gurt so anzulegen, dass er seine Lage bei nachfolgenden Bewegungen möglichst nicht mehr ändert.

Beobachtet wurden sowohl sehr hohe Herzfrequenzen bei Kälbern (bis zu 245 Schläge pro Minute, Abb. 2) als auch hohe Atemfrequenzen der Kühe unter hochsommerlichem Hitzestress (bis zu 92 Atemzüge pro Minute wurden durch Beobachtung ausgezählt).

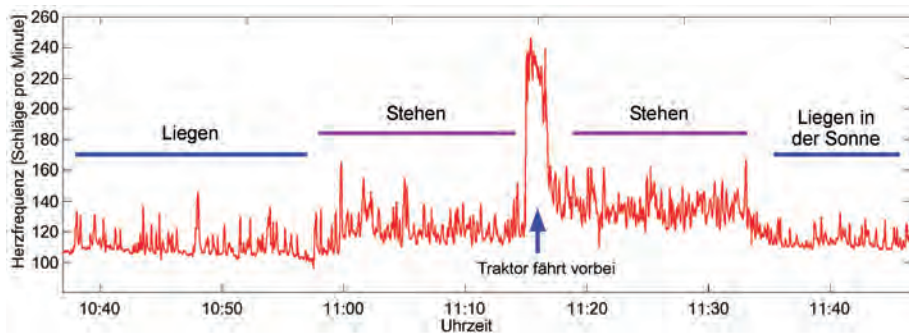


Abb. 2: Ausschnitt aus der Messung eines 9 Tage alten Kalbes in der Kälberhütte mit kleinem Auslauf; während der Vorbeifahrt des Traktors sprang das Kalb äußerst lebhaft herum

In den neuesten Geräten ist zudem ein dreiachsiger Beschleunigungssensor eingebaut (Aufzeichnung bis zu 128 Hz), der eine Beurteilung der motorischen Aktivität der Tiere erlaubt (Abb. 3).

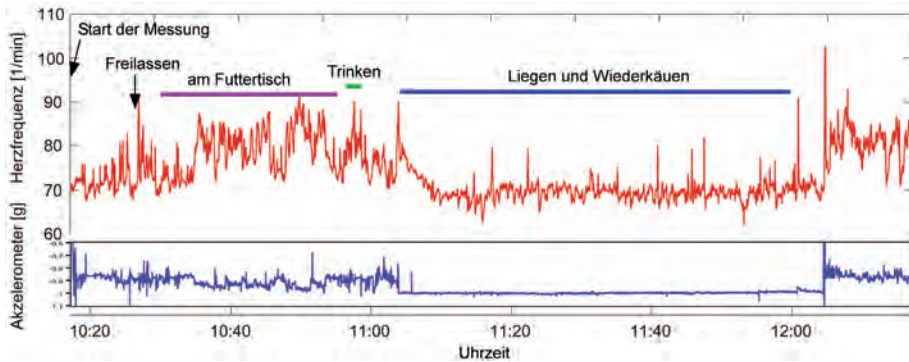


Abb. 3: Herzrate und Akzelerometersignal einer sechsjährigen Kuh

Erste Betrachtungen der Herzratenvariabilität durch spektrale Analyse wiesen in den vorliegenden Testmessungen nur sehr geringe Anteile im hochfrequenten Bereich auf. Abbildung 4 zeigt eine farbkodierte zeitvariante Darstellung, das sogenannte „ChronoCardioGramm“, abgeleitet aus der Momentanherzrate. Rhythmen mit einer Periodendauer von 30 Sekunden oder langsamer traten dagegen häufig auf.

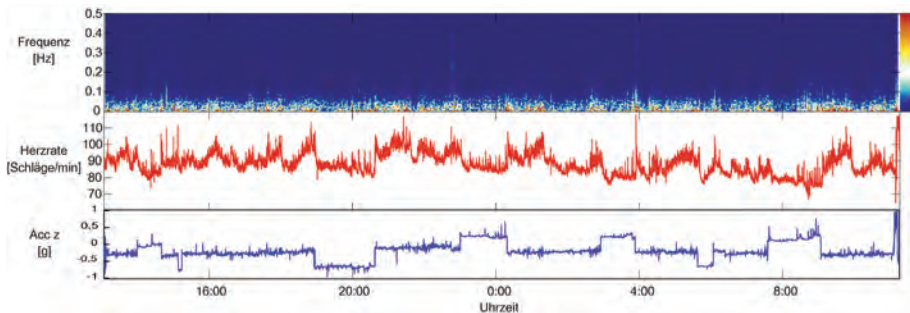


Abb. 4: Kontinuierliche Langzeitmessung einer fünfeinhalb Jahre alten Kuh: Spektrogramm, Herzrate und Akzelerometersignal über 22 Stunden

Wir führen die geringen hochfrequenten Anteile auf die spezifischen Messbedingungen zurück: Die Tiere atmeten während einer sommerlichen Hitzeperiode sehr flach und rasch.

5. Diskussion

24 h-Messungen ohne korrigierende Interventionen wurden in Einzelfällen erreicht. Im derzeitigen Entwicklungsstand ist jedoch eine Kontrolle der Elektrodenhaftung in mehrstündigem Abstand ratsam.

Hohe Atemfrequenzen unter Hitzestress sind für die Auswertung erschwerend. Es kommt zu „cardiac aliasing“ (Witte et al., 1988): Die Herzschlagrate ist zu niedrig, um die Atmung als respiratorische Sinussarrhythmie abbilden zu können – dies ist aber eine Voraussetzung, um aus der HRV den Vagustonus ableiten zu können. Eine Überschreitung dieser Grenze kann aber aus der Herzratenmessung alleine nicht erkannt werden und stellt daher eine Hürde für die Beurteilung der abgeleiteten HRV-Parameter dar.

Für die weiter angestrebte Interpretation der HRV-Werte in Sinne von Stress und Erholung sind künftige exakte Validierungsversuche notwendig, um Referenzwerte in Abhängigkeit von Lage, Aktivität und Messbedingungen aufstellen zu können.

6. Literatur

- Berntson, G.G., Bigger, J.T.J., Eckberg, D.L., Grossman, P., Kaufmann, P.G., Malik, M., Nagaraja, H.N., Porges, S.W., Saul, J.P., Stone, P.H., Van der Molen, M.W., 1997: Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology* 34, 623-648.
- Gygax, L., Neuffer, I., Kaufmann, C., Hauser, R., Wechsler, B., 2007: Restlessness behaviour, heart rate and heart-rate variability of dairy cows milked in two types of automatic milking systems and auto-tandem milking parlours. *Applied Animal Behaviour Science*, 13.
- Hagen, K., Langbein, J., Schmied, C., Lexer, D., Waiblinger, S., 2005: Heart rate variability in dairy cows - influences of breed and milking system. *Physiol Behav* 85, 195-204.
- Mohr, E., Langbein, J., Nürnberg, G., 2002, Heart rate variability: a noninvasive approach to measure stress in calves and cows. *Physiol Behav* 75, 251-259.
- Moser, M., Frühwirth, M., Kenner, T., 2008: The Symphony of Life - Importance, Interaction and Visualization of Biological Rhythms. *IEEE Eng Med*

Biol Mag 27, 29-37.

Moser, M., Frühwirth, M., Penter, R., Winker, R., 2006: Why life oscillates - from a topographical towards a functional chronobiology. *Cancer Causes and Control* 17, 591-599.

Task Force of the ESC and NASPE, 1996: Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology). *Eur. Heart J.* 17, 354-381.

Witte, H., Zwiener, U., Rother, M., Glaser, S., 1988: Evidence of a previously undescribed form of respiratory sinus arrhythmia (RSA) - the physiological manifestation of cardiac aliasing. *Pflügers Arch* 412, 442-444.

Human Research wurde im Programm COIN der österreichischen Bundesministerien für Verkehr, Innovation und Technologie bzw. für Wirtschaft und Arbeit gefördert. (Projekt MINAMMON, weitere Kooperationspartner: Hörmann Interstall GmbH & Co KG, St. Peter in der Aus; IPUS Mineral- und Umwelttechnologie GmbH, Technisches Büro Gilhofer, Haslach an der Mühl).

Herrn Elias Binder danken wir für die engagierte praktische Mitarbeit, dem mitwirkenden Bauernhof für die freundliche Erlaubnis der Testmessungen.

Erweiterung der WEENDER-Analyse mit dem CORNELL-System und NIRS

W. Wenzl, B. Steiner, L. Haberl

LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irdning

1. Einleitung

Die Bewertung der Futterenergie ist für die Ernährung der Tiere entscheidend. Die Summe der nutzbaren Energie (NEL, ME) wird aus dem Rohfett, dem Rohprotein, den Nichtfaserkohlenhydraten und den polymeren Faserstoffen ermittelt. Zur Definition der Nährstoffqualität des Futters im Sinne botanischer Kriterien sind jedoch nicht nur die Mengenanteile ausschlaggebend, sondern auch, wie sich die chemisch definierbaren Hauptgruppen der Pflanzenmasse zwischen Zellinhalt und Zellwand räumlich aufteilen. Aus der Sicht der Tierernährung gelten einerseits die Kohlenhydrate und Proteine des Zellplasmas als rasch verfügbar. Andererseits ist der verdauliche Anteil der Zellwand bzw. der sogenannten „Gerüstsubstanzen“ für die nutzbare Energie entscheidend. Sowohl bei Nichtstruktur- als auch Strukturanteilen weist die pflanzliche Biomasse große Unterschiede auf.

2. Ausgangslage und Zielsetzung

Bei der Weender Futteranalyse (Henneberg und Stohmann, 1860, 1864) wird neben Rohprotein, Rohfett und Rohasche auch ein Rohfasergehalt durch Kochen mit verdünnter Schwefelsäure und Kalilauge chemisch bestimmt. Dabei wird jedoch nur ein Teil der Zellwand, hauptsächlich in Form von Cellulose, gravimetrisch erfasst. Der gesamte strukturwirksame Anteil des Futters in der Zellwand wird aber auch aus verschiedenen Pflanzenpolymeren, hauptsächlich Hemicellulosen und Ligninen, aufgebaut. In der Weender Analyse werden die sogenannten „stickstofffreien Extraktstoffe“ (NFE) als Differenz zu den analysierten Parametern ermittelt. Diese „Rechenfraktion“ besteht im Wesentlichen aus den faserfreien Kohlenhydraten Zucker und Stärke (Gruber, 2010). Im sogenannten Cornell-System werden die Gerüstsubstanzen im Gesamten als NDF (Neutrale Detergentienfaser) und weiter als saure Detergentienfaser ADF (Cellulose und Lignine) sowie als ADL (Lignine) aufgetrennt. (Sniffen et al., 1992;

Wenzl und Gruber, 1995). Rohprotein wird weiter nach Rein- und Nichtprotein aufgespalten und die über das Plasmaprotein hinausgehende, in der Zellwand angesiedelte Stickstoff-Restmenge bestimmt. Das Cornell-System wird in verschiedenen Ländern bei der Futterbewertung in der Praxis realisiert und mit Hilfe der NIRS kostengünstig bereitgestellt (Bakker, 2011). Eine eindeutige räumliche Zuordnung aller futterwirksamen Komponenten sowohl zum Zellinhalt als auch zur Zellwand sollte durch eine botanisch exaktere Definition der Pflanzenmasse möglich werden.

Ziel dieser Arbeit ist es daher herauszufinden, ob als Hauptgruppe in Entsprechung zur Rohstickstofffraktion (RP) sinnvollerweise auch eine Kohlenstoffhauptfraktion definiert werden könnte. Diese sollte als kohlenstoffreicher bzw. energietragender Hauptanteil des Pflanzenmaterials mit NIRS ermittelt und in plasmagebundenen Nichtstrukturanteil und zellwandgebundenen Strukturanteil aufgetrennt werden.

3. Material und Methoden

Insgesamt wurden 236 Raufutterproben aus weiten Teilen Österreichs (Resch, 2011) und zur Gegenüberstellung 119 Maisproben einer klassischen Futteranalyse unterzogen bzw. mit Hilfe der NIRS im Spectrastar 2000 vermessen. Die Auswertung erfolgte mittels Calibration Workshop® sowie Unscrambler®. Es wurden eine PCA und zwei Kalibrationsmodelle mittels multivariater Analyse (Partial Least Square Regression, PLS1) erstellt und validiert (Full Cross Validation). In Entsprechung zu einer Stickstoffrohfraktion wurden die in die Datenmatrix der NIR-Spektren eingehenden X-Variablen als eine Kohlenstoffhauptfraktion (KHF) und eine Kohlenstoffunterfraktion in Form der Nichtfaserkohlenhydrate bzw. Nichtstrukturkohlenhydrate (NFC, NSKH) definiert. Die Berechnung der Kalibrationswerte für die Kohlenstoffhauptfraktion (KHF) erfolgte durch Subtraktion des Rohproteins (RP) und der Rohasche (RA) von der Trockenmasse (TM) nach der Gleichung

$$\text{KHF} = \text{TM} - \text{RP} - \text{RA}.$$

Die mengenmäßige Ermittlung der Nichtstrukturkohlenhydrate (NFC, NSKH) erfolgte durch Abzug der neutralen Detergentienfaser bzw. der Strukturkohlenhydrate (NDF, SKH) von KHF nach der Gleichung

$$\text{NFC (NSKH)} = \text{KHF} - \text{NDF (SKH)}.$$

3. Ergebnisse

In Erweiterung der Weender Analyse wurden für die pflanzliche Trockenmasse drei dominierende Hauptbestandteile als Rohfraktionen definiert, die Unterfraktionen SKH und NSKH zugeordnet und die mittleren Prozentanteile ermittelt (Abb. 1, Tab. 1). Als Hauptgruppen A, B und C werden angegeben:

- Eine Kohlenstoffhauptfraktion (A-Fraktion als kohlenstoffdominierter Pflanzenanteil, rechnerisch ermittelt)
- Eine Rohproteinfraktion (B-Fraktion, bestimmt nach dem Gesamtgehalt an Stickstoff)
- Eine Rohaschefraktion (C-Fraktion, bestimmt nach der Summe aller mineralischen Rückstände)

3 Futterteile: A = C-reiche, B = N-reiche und C = mineralische Fraktion

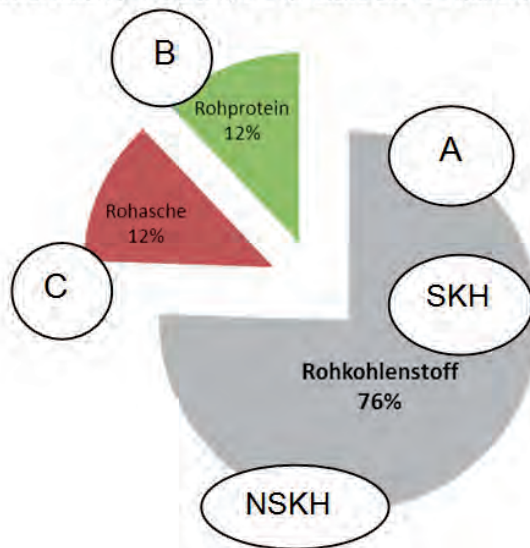


Abb. 1: Haupt- und Unterfraktionen des Grundfutters

Rohkohlenstoff bzw. eine Kohlenstoffhauptfraktion (KHF) ist erwartungsgemäß indirekt proportional zu Rohprotein (Abb.2). Nach Abzug der Strukturkohlenhydrate (KHF - NDF) konnte eine Fraktion aus Nichtstrukturkohlenhydraten (NSKH) definiert werden. Dieser Teil erwies sich im Gegensatz zum sogenann-

ten „stickstofffreien Extrakt“ gemäß der Weender-Definition als stickstoffreich, da eine enge Korrelation des Plasmakohlenstoffs mit dem Rohprotein der gesamten Futterprobe gefunden wurde (Abb. 3).

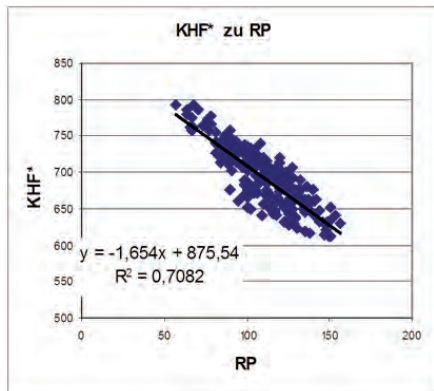


Abb. 2: Verhältnis RP zu KHF

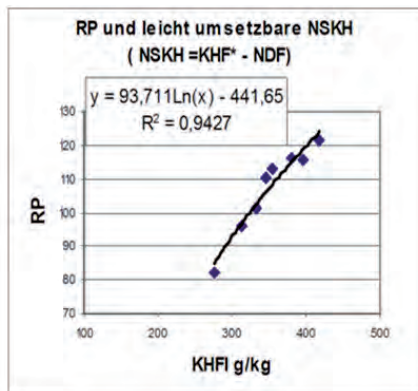


Abb. 3: Verhältnis RP zu NSKH

2 Teile der A-Fraktion: Struktur- und Nichtstrukturkohlenhydrate

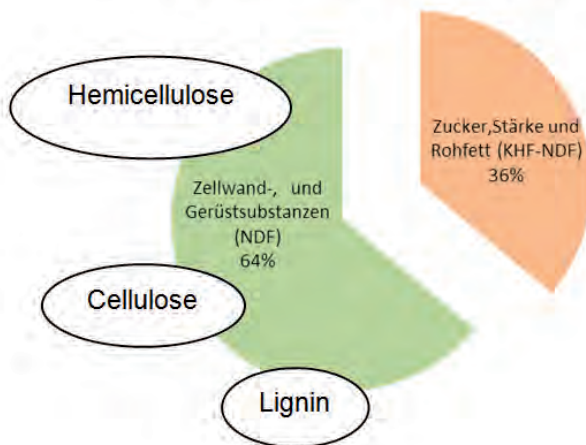


Abb. 4: Aufspaltung der Kohlenstoffhauptfraktion

Die Abbildung 4 zeigt die Aufspaltung einer kohlenhydratdominierten A-Fraktion (KHF) in eine Plasmafraktion mit Zucker, Stärke und Rohfett, sowie in eine Zellwandfraktion, in welcher Hemicellulosen, Cellulosen und Lignine lokalisiert sind. Die Abbildungen 5 und 6 zeigen in Gegenüberstellung die Kohlenstoffhauptfraktionen (A-Fraktion, KHF) von Raufutter- (n = 236) und Maisproben (n = 119).

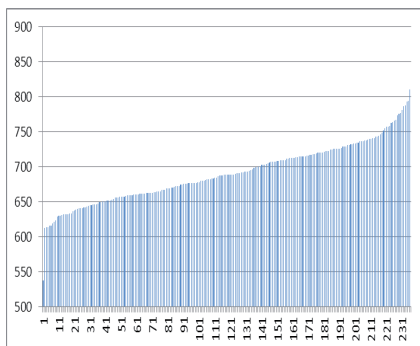


Abb. 5: A-Fractionen (KHF) von Raufutter (g/kg)

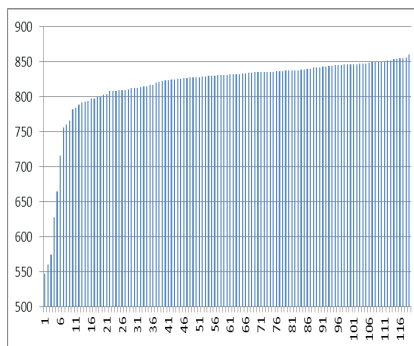


Abb. 6: A-Fractionen (KHF) von Mais (g/kg)

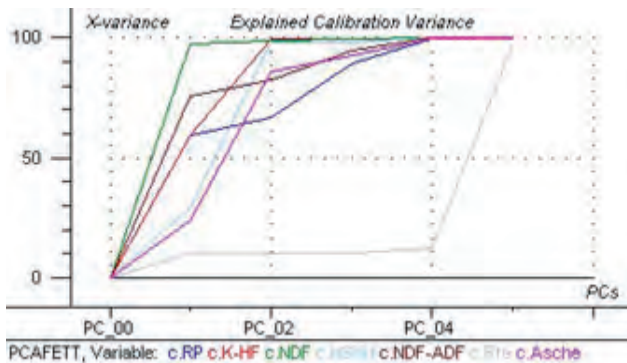
Die statistische Auswertung der Raufutterdaten von 236 untersuchten Proben ist in Tabelle 1 dargestellt: Die mittlere Menge an Trockenmasse betrug 915,7 g/kg, jene an Rohprotein 110,9 g/kg und jene an Asche 114 g/kg. Der mittlere Wert der gravimetrisch bestimmten Neutralen Detergentienfaser (NDF) betrug 440,8 g/kg. Das C/N-Verhältnis des Futters schwankte zwischen 4,3 und 10,2.

Tab. 1: RP, RA, KHF und Struktur- sowie Nichtstrukturkohlenhydrate

Raufutter g/kg, n=236	TM	KHF TM-RP-RA	RP	NDF	NSKH KHF-NDF	Rohasche	KHF/RP „C/N“
Min	902,2	537,8	52,5	323,6	140,5	61,7	4,3
Mittel	915,7	689,7	110,9	440,8	248,6	114,0	6,2
May	926,5	809,6	186,5	639,6	365,1	245,9	10,2

Aus diesen Grunddaten wurde eine Kohlenstoffhauptfraktion mit rund 690 g/kg und eine Fraktion von Nichtstrukturkohlenhydraten (NFC bzw. NSKH) von rund 250 g/kg ermittelt. Anhand der Bandbreiten wird die Heterogenität des Raufutters in verschiedenen Gebieten Österreichs deutlich. Die Bestimmbarkeit der Kohlenstoffhauptfraktion (KHF) sowie der Unterfraktionen von Cellulose und Lignin (NDF - ADF) und der Kohlenhydrate im Zellplasma (NSKH) mit Hilfe der

Nahen-Infrarot-Spektroskopie (NIRS) wird im Folgenden gezeigt (Abb. 7 und 8): Um die Kohärenz von Rohprotein (RP), der Kohlenstoffhauptfraktion (KHF) und der Unterfraktionen (NSKH, NDF, NDF-ADF), Rohfett und Rohasche innerhalb der spektralen Datenmatrix darzustellen, wurde zunächst eine Prinzipielle Komponentenanalyse (PCA) durchgeführt:



Graphiklinien von links nach rechts:
 NDF
 NDF-ADF
 K-HF
 RP
 NSKH
 Rohasche
 Rohfett

Abb. 7: Prinzipielle Komponentenanalyse von Raufutterparametern

Zur Überprüfung der Erklärbarkeit in einem multiplen Zahlenmodell kann in einer sogenannten Loading Ellipse die Varianz der Daten bewertet und graphisch dargestellt werden.

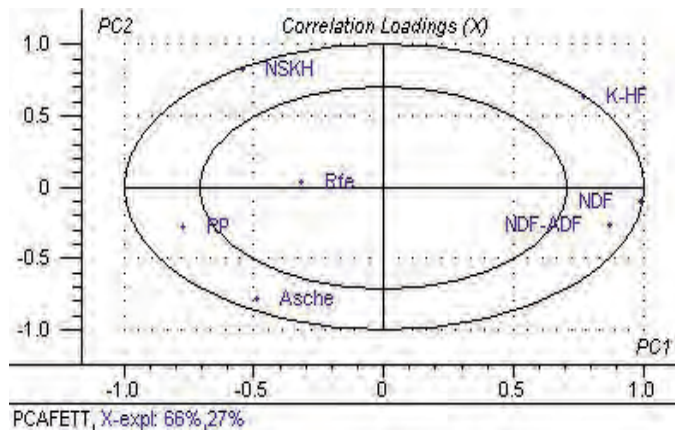


Abb. 8: Loading Ellipse für die NIR Datenmatrix

Bis zu 99 % erklärbar sind die gemessenen Futterbestandteile im äußeren Segment, im inneren kann eine Erklärbarkeit von >60 % in Betracht gezogen werden.

Wie den Abbildungen 7 und 8 zu entnehmen ist, stehen alle genannten Parameter in einem engen Zusammenhang. Demnach erwiesen sich in einem multiplen Modell die Kohlenstoffhauptfraktion (KHF), die Nichtstrukturkohlenhydrate (NSKH) und die Zellwandbestandteile (NDF) mit geringem Irrtum von weniger als 3% erklär- und spektroskopisch messbar (Abb. 9 und 10). Einen geringen Einfluss zeigt der Anteil an Rohfett.

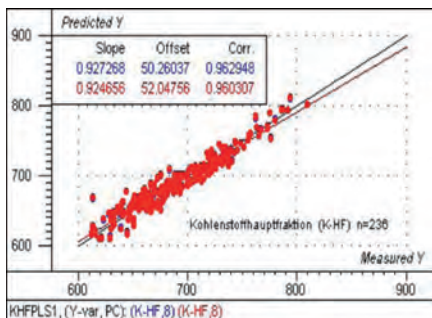


Abb. 9: PLS-Modell für KHF

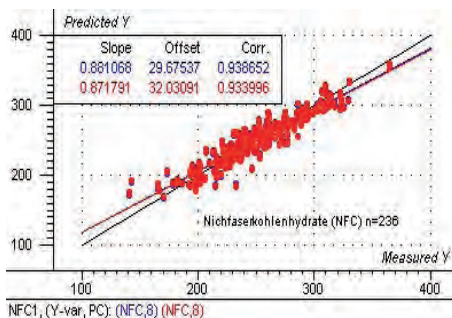


Abb.10: PLS-Modell für NSKH

4. Diskussion der Ergebnisse

Zur Unterteilung der pflanzlichen Biomasse kann neben den Hauptbestandteilen Rohprotein und Rohasche auch eine Kohlenstoffhauptfraktion (KHF) als Differenz von TM und RP sowie RA errechnet werden. Diese kohlenstoffbetonte Fraktion zeigt die prinzipiellen Unterschiede der einzelnen Futterarten aber auch innerhalb dieser deren Heterogenität. Auf der Basis dieser Rechengrößen bzw. der prognostizierten NIRS-Werte wurde die Fraktion der Nichtstrukturkohlenhydrate (NSKH) im Zellinhalt ermittelt. Eine prinzipielle Komponentenanalyse (PCA) zeigte die Erklärbarkeit der Kohlenstoffhaupt- und aller Unterfraktionen und weist diesen bei geringen Restvarianzen im gesamten Datensatz eine enge „innere“ Verwandtschaft aus. Die linearen Korrelationen von Nichtstrukturkohlenhydraten zu Rohprotein zeigten überraschenderweise, dass ein enger positiver Zusammenhang dieser Fraktionen besteht. Andererseits enthält Futter erwartungsgemäß umso weniger Rohprotein, je größer die Kohlenstoffhauptfraktion ist. Die C/N-Verhältnisse schwanken stark.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Einer Stickstoffhauptfraktion (Rohprotein, RP) wurde eine Kohlenstoffhauptfraktion (KHF) gegenübergestellt und diese weiter in Unterfraktionen des Zellplasmas und der Zellwand zerlegt. Die komplexe Komposition der Pflanzenbiomasse kann auf diese Weise durch eine exakte Trennung in Stoffhauptgruppen und Unterfraktionen und durch räumlich Zuteilung in die Kompartimente der Pflanzenzelle einfach erklärt, analytisch ermittelt und wirtschaftsbezogen bewertet werden. Diese Hauptfraktion (KHF) kann chemisch oder spektroskopisch weiter in die Nichtstrukturbestandteile (NSKH) des Zellinhalts und Strukturbestandteile der Zellwand (NDF) zerlegt werden, aber auch in funktioneller Hinsicht in rasch pansenverfügbaren Kohlenstoff und in die erst noch aufzuschließenden, kohlenhydratreichen Bestandteile. Bestehende Analysenkonzepte könnten als Synthese der Weender-Analyse, des Cornell-Systems und der NIRS durch die Ergänzung mit einer Kohlenstoffhauptfraktion (KHF) und einer Zuordnung der Unterfraktionen erweitert werden.

Es wurde versucht, mit einem 3-teiligen Grundansatz und einer exakten räumlichen Zuordnung von bekannten, chemisch- bzw. spektroskopisch ermittelten Pflanzenparametern dem botanischen Aufbau der pflanzlichen Biomasse weitgehend zu entsprechen und einen Beitrag zu einer zeitgemäßen, kognitiven Konsonanz zwischen Botanik, Analytik und Fütterungslehre zu leisten. Die spektroskopische Analyse der Kohlenhydratfraktionen KHF, NSKH und NDF sowie deren weitere Unterteilung machten den Zusammenhang von analytischem Ergebnis, der natürlichen Verteilung des Kohlenstoffs sowie dessen Funktionalität im Zellplasma und in der Zellwand deutlich.

6. Literaturangaben

Bakker J., 2011: Persönliche Mitteilung: Calibration system for NIRS-analysis at BLGG AgroXpertus, September 9th 2010.

Gruber, L., 2010: Schwachpunkte und Neuerungen bei der Kohlenhydratbewertung - Faser: Forum angewandte Forschung 24./25.03.

Resch, R., 2011: persönliche Mitteilungen.

Sniffen, C.J., O'Connor, J.D., Van Soest, P.J., Fox, D.G., Russell, J.B., 1999: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. J Anim Sci. 70: 3562-3577.

- Stohmann, F., Henneberg W., 1860: Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer. Praktisch-landwirtschaftliche und physiologische Untersuchungen, Heft 1., Braunschweig.
- Stohmann, F., Henneberg W., 1864: Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer. Praktisch-landwirtschaftliche und physiologische Untersuchungen, Heft 2, Braunschweig.
- Wenzl, W., Gruber L., 1995: Ligninbestimmung mit der NIRS-Methode: 107. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 44, 981-984. Kongressband 1995 Garmisch-Partenkirchen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Anwendung des Strukturindex bei einem Versuch mit Milchkühen

K. Rutzmoser, H. Schuster

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Grub, Poing

1. Hinführung

Zur Beschreibung und Bewertung der Strukturversorgung bei Wiederkäuern wurde von Rutzmoser (2011) der Strukturindex vorgeschlagen. Dieser soll die Folgewirkungen der strukturwirksamen Faserfraktion und von im Pansen abgebauten Kohlenhydraten auf die Pansenfermentation mit einer Kennzahl umschreiben. Der Strukturindex kann nur im Bereich von 0 bis 100 liegen, als Richtgröße sind Werte über 50 für eine hinreichende Strukturversorgung anzustreben. Die grundlegenden Arbeiten zur physikalisch effektiven NDF (peNDF) und der Schätzung des Pansen-pH aus Futterfaktoren stammen vorwiegend aus der Arbeitsgruppe Hohenheim (Zebeli et al., 2008).

Anhand der Ergebnisse eines Fütterungsversuches sollen hier die Zusammenhänge des Strukturindex mit geschätzten pH-Werten im Pansen sowie mit Fettgehalten in der Milch dargestellt werden.

2. Fütterungsversuch mit Milchkühen

Bei dem zugrunde gelegten Fütterungsversuch wurde in zwei Gruppen Grassilage gegen Luzernesilage verglichen. Die Grundmischung aus Grund- und Kraftfutter wurde in Wiegetrögen zur freien Aufnahme angeboten, zusätzliches Leistungskraftfutter während des Melkens im Melkroboter zugeteilt. Dabei wurde die Milchmenge der Einzelkühe täglich erfasst, die Milchinhaltsstoffe wurden in 2-wöchigem Abstand gemessen. In die Auswertung konnten 49 Einzelkühe mit insgesamt 291 2-Wochenperioden aufgenommen werden.

3. Schätzung Pansen-pH und Berechnung Strukturindex

Aus den aufgenommenen Mengen an Einzelfuttermitteln in der Grundmischung sowie des Leistungskraftfutters und den angesetzten Gehaltswerten (Analysen

oder Tabellenwerte) wurden die Gehalte und Tagesmengen der Nährstofffraktionen für die Auswertungsperioden der Einzelkühe berechnet.

Als physikalisch effektive NDF (peNDF) wurde die NDFom im Grobfutter gewertet (Steingass und Zebeli, 2010). Dazu wurden die Gehalte von NDFom nach Tabellenwerten in den aufgenommenen Mengen an Gras-, Luzerne-, Maissilage und Stroh zur peNDF verrechnet. Aus der Stärke in den Futtermitteln und den zugehörigen Abbauraten der Stärke im Pansen nach DLG (2001) wurde die im Pansen abbaubare Stärke (pab Stärke) ermittelt.

Aus den ermittelten Futterfaktoren wurde der erwartete pH-Wert im Pansen (als Tagesmittenwert) durch folgende Gleichung geschätzt (Steingass und Zebeli, 2008):

$$\text{pH} = 6,05 + 0,044 * \text{peNDF} (\%) - 0,0006 * \text{peNDF}^2 (\%) - 0,017 * \text{pab Stärke} (\%) - 0,016 * \text{TM-Aufnahme} (\text{kg})$$

Entsprechend des angestrebten Zielwertes von $\text{pH} > 6,15$ wurden die Datensätze den pH-Klassen 1 ($\text{pH} \leq 6,15$) oder 2 ($\text{pH} > 6,15$) zugeordnet.

Wie von Rutzmoser (2011) vorgeschlagen, wurde der Strukturindex aus den aufgenommenen Mengen in kg/Tag an peNDF und pab Stärke berechnet, wobei hier die Umformungsrechnung der pab Stärke in der folgenden Indexformel enthalten ist:

$$\text{Strukturindex} = \text{peNDF} / (\text{peNDF} + (\text{pab Stärke} - 2,4) / 0,3) * 100$$

4. Strukturindex und Pansen-pH

Um zu prüfen, wie sich die Schätzung des pH-Wertes im Pansen mit dem Strukturindex zusammenfügt, sind diese beiden Werte in der Abb. 1 gegenüber gestellt. Hieraus kann ersehen werden, dass in den meisten Fällen die Zuordnung mit Pansen-pH $\leq 6,15$ und Strukturindex unter 50 bzw. Pansen-pH $> 6,15$ und Strukturindex über 50 der Erwartung entspricht. Daraus kann gefolgert werden, dass die Ableitung und Berechnung des Strukturindex die hinterlegten Folgerungen für die Pansenbedingungen sehr gut wider spiegelt.

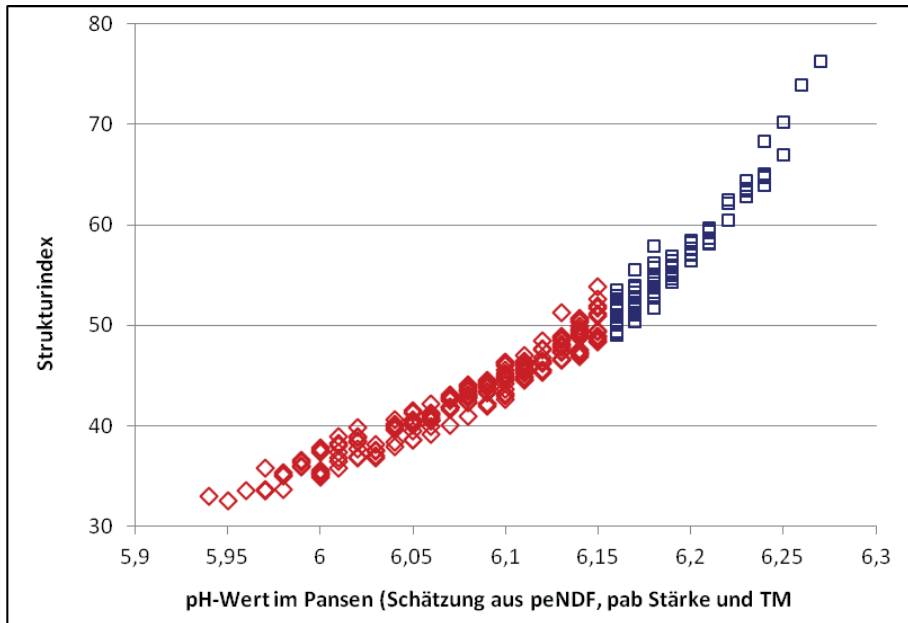


Abb. 1: pH-Wert im Pansen und Strukturindex

5. Strukturindex und Milchfettgehalt

Aus den Zusammenhängen wird erwartet, dass sich Störungen der Pansenfermentation durch Übersäuerung in einem verminderten Abbau von Zellulose und der entsprechend verringerten Bereitstellung von Essigsäure als Baustein von Milchfett auswirken können. Solche Bedingungen sind mit einem relativ hohen Angebot an pansenabbaubaren Kohlehydraten verbunden und sollten durch einen niedrigen Strukturindex (unter 50) angezeigt sein. Um dies zu prüfen, ist in Abb. 2 der Milchfettgehalt in den 2-wöchigen Abschnitten dem Strukturindex in diesem Zeitraum gegenüber gestellt. Es zeigt sich, dass alle Fütterungsperioden mit einem Milchfettgehalt unter 3,25 % auch einen Strukturindex unter 50 aufwiesen. Dies erlaubt den Rückschluss, dass mit dem Strukturindex die kritischen Bedingungen im Pansen, welche unter anderem niedrige Milchfettgehalte bewirken können, gut erfasst werden.

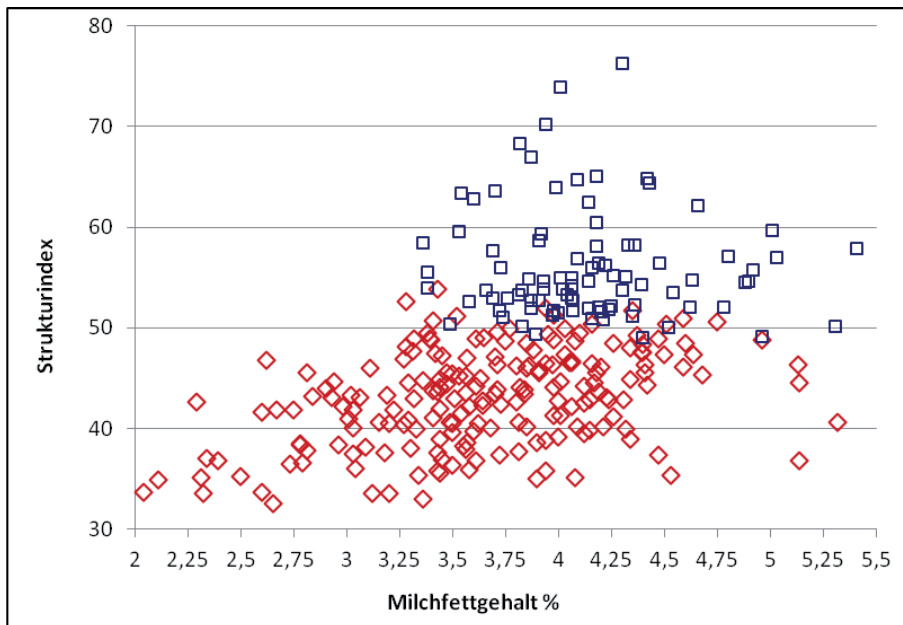


Abb. 2: Milchfettgehalt% und Strukturindex

6. Offene Fragen

Zur Absicherung der hier mehr grundsätzlich methodisch dargestellten Vorgehensweise empfiehlt sich die Überprüfung an weiteren Versuchsergebnissen, vorzugsweise mit direkt gemessenen pH-Werten im Pansen und der Verknüpfung mit den für die Strukturwirkung bedeutsamen Futterfaktoren.

Als strukturwirksame Faserfraktionen wurde hier die NDFom aus Grobfuttermitteln bewertet. Eine Bewertung der Faserfraktionen mit differenzierten „Strukturfaktoren“ in Anlehnung an die strukturwirksame Rohfaser erscheint denkbar. Damit könnte beispielsweise ein möglicher Effekt unterschiedlicher Häcksellänge von Silagen erfasst werden.

Weiter stellt sich die Frage, ob zu der pansenabbaubaren Stärke auch der Zucker, möglicherweise auch Fruktane (wasserlösliche Kohlenhydrate) aufgenommen werden sollten. Die Schwellengleichung und entsprechend die Umformung der Kohlenhydrate in der Indexformel müssten dann angepasst werden. Ebenso

ist eine Anpassung des Strukturindex an eine gegebene Datenlage mit Rohfaser aus Grobfutter und pansenabbaubaren Kohlenhydraten mit der betreffenden Schwellengleichung möglich.

Eine Überprüfung der Wirkung des Lebendgewichtes auf die Futtermengen erscheint angebracht. Ein möglicher Weg kann die Ausrichtung der Mengen (TM, Faser- und Kohlenhydratfraktion) auf ein festzusetzendes Lebendgewicht mit dem metabolischen Gewicht ($W^{*0,75}$) sein. Mit dieser Form könnte auch die Anwendung auf wachsende Tiere (Mastbullen, Aufzuchtrinder) ausgeweitet werden. Dabei muss die Schwellengleichung überprüft werden.

Wenn Einzelfuttermittel nach einem Strukturindex bewertet werden sollen, könnten die auf 1 kg TM bezogenen Anteile auf Tagesmengen hoch gerechnet werden und darauf die Formeln aus der Schwellengleichung und der Indexberechnung angewendet werden.

7. Literatur

- DLG, 2001: Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh. DLG-Informationen 2/2001.
- Ettle, T., 2011: Luzernesilage im Austausch gegen Grassilage bei der Milchkuh. 123. VDLUFA-Kongress, Kurzfassungen der Referate, 56.
- Rutzmoser, K., 2011: Entwicklung eines Strukturindex aus der physikalisch effektiven NDF. 123. VDLUFA-Kongress, Kurzfassungen der Referate, 48.
- Steingass, H., Zebeli, Q., 2008: Strukturbewertung von Rationen für Milchkühe. 36. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 9.-10. April 2008, 19-25, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning.
- Steingass, H., Zebeli, Q., 2010: Futterstruktur, Anforderungen an das Grobfutter für Milchkühe. BAT-Beratertagung Freising-Weihenstephan, Fachtagung 2010, Aktuelle Fragen der Fütterungsberatung, Tagungsunterlage, 53-64.
- Zebeli, Q., Dijkstra, J., Tafaj, M., Steingass, H., Amataj, B.N., Drochner, W., 2008: Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of diet. J. Dairy Sci. 91, 2046-2066.

Luzernesilage im Austausch gegen Grassilage bei der Milchkuh

T. Etle, A. Obermaier, S. Weinfurtner, H. Spiekers

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Poing/Grub

1. Einleitung

Auf Grund der hohen Eiweißlieferung und dem Klimawandel steht der Einsatz von Luzerneprodukten wieder verstärkt in Diskussion. Dem hohen Rohproteingehalt der Luzerne steht ein relativ hoher Rohfasergehalt, eine geringe Verdaulichkeit und als Konsequenz ein vergleichsweise niedriger Energiegehalt gegenüber. Diese Eigenschaften sprechen zunächst gegen den Einsatz in der Fütterung hochleistender Milchkuhe. Aus Praxis und Forschung wird allerdings wiederholt über positive Erfahrungen mit Luzernesilage in Milchviehrationen berichtet, wobei insbesondere positive Effekte auf die Futteraufnahme genannt werden. Aus diesen Gründen wurde in einem Fütterungsversuch überprüft, ob sich die Luzernesilage trotz der niedrigeren Energiekonzentration als Ersatz für Grassilage beim Milchvieh eignet.

2. Material und Methoden

Für den Versuch wurden 32 Fleckviehkühe unter Berücksichtigung von Laktationsstand, Leistung und Milchinhaltstoffen auf zwei Versuchsgruppen (Grassilage vs. Luzernesilage) aufgeteilt. Zu Versuchsbeginn lag der mittlere Laktationsstand bei 144 ± 67 Laktationstagen. In jeder Gruppe befanden sich 6 erstlaktierende Kühe. Die Kühe wurden in einem Offenfrontstall mit Liegeboxen gehalten, der mit einem automatischen Melksystem ausgestattet ist. Es wurde eine Teilmischung (PMR) ad libitum angeboten (Tab. 1), zusätzlich wurde ab einer Milchleistung von 24 kg/Tier und Tag Leistungskraftfutter (LKF) nach Leistung verabreicht.

In der Kontrollration waren neben 39 % der TM Maissilage etwa 31 % Grassilage enthalten (Tab. 1). Die Grassilage wurde in der Versuchsration vollständig durch

Luzernesilage ersetzt. Bei einer unterstellten täglichen Aufnahme an der PMR von etwa 18 kg TM ergibt sich daraus eine tägliche Aufnahme von etwa 5,5 kg TM Luzernesilage. Die Luzerne wurde am Standort Grub angebaut.

Tab. 1: Zusammensetzung (% der TM) und Inhaltsstoffe der Teilmischrationen

Futtermittel	Ration	
	Grassilage	Luzernesilage
Grassilage	30,6	-
Luzernesilage	-	30,9
Maissilage	39,0	39,0
Gerstenstroh	1,9	1,9
Maiskornsilage	11,1	14,2
Rapsextraktionsschrot	7,5	4,5
Rapskuchen	7,1	7,1
Melasse	1,7	1,7
Mineralfutter	0,6	0,6
Kohlensaurer Kalk	0,4	0,1
Inhaltsstoffe		
Rohprotein, g/kg TM	168	178
nutzbares Rohprotein, g/kg TM	156	154
Ruminale N-Bilanz, g/kg TM	1,9	3,9
Rohfaser, g/kg TM	177	181
Strukturwert*	1,7	1,6
Stärke + Zucker*	237	256
NEL, MJ/kg TM	7,02	6,55

* Kalkuliert mit ZifoWin

Nach dem Häckseln (20 mm theoretische Häcksellänge) wurde die Luzerne unter Verwendung eines DLG-anerkannten Siliermittels der Wirkungsrichtung 1A und 1B im Fahrsilo einsiliert. Aufgrund der höheren Rohproteingehalte der Luzernesilage im Vergleich zur Grassilage wurde der Gehalt an Rapsextraktionsschrot in der Luzerneration reduziert; gegenläufig wurde der Anteil an Maiskornsilage erhöht. Aufgrund der hohen Ca-Gehalte der Luzerne wurde in der Luzernegruppe auch weniger kohlensaurer Kalk eingesetzt. Trotz der reduzierten Anteile an Rapsex-

traktionsschrot lag der Gehalt an Rohprotein in der PMR mit Luzernesilage etwa 1% über der PMR mit Grassilage, die Gehalte an nXP waren dagegen vergleichbar. Deutliche Unterschiede zwischen den Rationen ergeben sich beim Energiegehalt. Aus einem Verdauungsversuch mit Hammeln ergab sich zwischen den PMR eine Differenz von 0,4 MJ NEL/kg TM, was noch deutlich über den bei der Rationsplanung kalkulierten Werten lag. Die Aufnahme an PMR wurde tierindividuell über automatische Wiegetröge erfasst, die Aufnahme an LKF über die Kraftfutterstation des automatischen Melksystems. Die Milchleistung wurde täglich erfasst, Milchproben wurden alle 2 Wochen von allen Teilgemelken eines Tages gezogen. Von den PMR wurden wöchentlich Proben gezogen, die für die Roh Nährstoffanalytik zu 4-wöchigen Mischproben zusammengefasst wurden.

Aus den Futteraufnahmen und den Inhaltsstoffen der Futtermittel wurden die Energie- und Nährstoffaufnahmen errechnet. Die Rohnährstoffgehalte der eingesetzten Futtermittel wurden gemäß Weender Analyse ermittelt (VDLUFA, 2007). Die PMR sowie die Gras- und die Luzernesilage wurden nach den Leitlinien der GfE (1991) mit jeweils 5 Hammeln im Verdauungsversuch auf die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe hin überprüft. Aus den ermittelten Verdaulichkeiten wurden in Verbindung mit den Rohnährstoffgehalten die jeweiligen Energiegehalte nach GfE (1995) berechnet. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programmpaket SAS (Varianzanalyse, Mittelwertvergleich). Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) sind mit unterschiedlichen Hochbuchstaben gekennzeichnet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 2 zeigt die Inhaltsstoffe der im Fütterungsversuch eingesetzten Gras- und Luzernesilage sowie die im Hammelversuch ermittelten Verdaulichkeiten der organischen Substanz (OS) und der Rohfaser sowie die resultierenden Energiegehalte.

Die Verdaulichkeit der OS und der XF lag bei der Luzernesilage signifikant niedriger als bei der Grassilage. Während die Verdaulichkeit der OS der Luzernesilage mit 63 % in einem Bereich lag, wie sie auch von Bulang et al. (2006) gefunden wurde, lag die Verdaulichkeit der XF mit nur 40 % noch um 7 Prozentpunkte niedriger als in der genannten Arbeit. Insgesamt stimmen die gefundenen Energiegehalte der Gras- und Maissilage gut mit den für die Teilmischration ermittelten Werten überein.

Tab. 2: Inhaltsstoffe, Energiegehalte und Verdaulichkeiten der organischen Substanz (VQ OS) und der Rohfaser (VQ XF) der eingesetzten Gras- und Luzernesilagen

Futtermittel	TM	XA	XP	XF	nXP	NEL	VQ OS	VQXF
	g/kg		g/kg TM			MJ/kg TM	%	
Luzernesilage	356	98	196	295	129	5,2	63 ^b	40 ^b
	±47	±11	±16	±33	±5	±0,2	±2	±4
Grassilage	228	98	178	287	137	6,0	71 ^a	76 ^a
	±15	±13	±21	±13	±4	±0,2	±2	±3

a,b) Angaben mit Hochbuchstaben unterscheiden sich bei $p < 0,05$ signifikant

Der Fütterungsversuch verlief störungsfrei, die Milchleistung entwickelte sich gemäß den zu erwartenden Änderungen im Laktationsverlauf. Zwischen den beiden Versuchsgruppen ergaben sich im Mittel der Versuchsperiode keine größeren Unterschiede in der Milchleistung (Tab. 3), die Tiere der Luzernegruppe hatten nur einen leichten, statistisch nicht abzusichernden Vorteil. Die Milchfett- und Milcheiweißgehalte lagen im Mittel bei 3,90 % und 3,61 %. Zwischen den Versuchsgruppen zeigten sich keine Unterschiede.

Tab. 3: Milchleistungskriterien, Futter- und Nährstoffaufnahme

	Versuchsgruppe			
	Grassilage		Luzernesilage	
Milchleistung, kg/Tag	28,2±	6,4	28,8±	7,2
Milchfett, %	3,91±	0,36	3,89±	0,65
Milcheiweiß, %	3,61±	0,2	3,61±	0,17
Milchharnstoff, mg/l	201±	27 ^b	247±	24,2 ^a
ECM, kg/Tag	28,2±	5,6	28,4±	5,8
Futteraufnahme, kg TM/Tag	20,3±	2,1 ^b	22,1±	2,0 ^a
nXP-Aufnahme, g/Tag	3246±	351	3493±	348
NEL-Aufnahme, MJ/Tag	145±	15	149±	15

a,b) Angaben mit Hochbuchstaben unterscheiden sich bei $p < 0,05$ signifikant

Da die Rohfasergehalte zwischen den Versuchsrationen ähnlich waren und auf Grund der hohen Anteile an Luzerne- und Grassilage in den Rationen auf einem insgesamt hohen Niveau lagen, sind aus dieser Sicht auch keine Einflüsse der Fütterung auf den Milchfettgehalt zu erwarten. In ähnlicher Weise zeigten sich auch bei einem Vergleich von totalen Mischrationen auf Basis Feldgras- bzw. Luzernesilage keine Unterschiede in der Milchleistung oder Milchinhaltsstoffen, obwohl auch hier die Unterschiede in der Energiekonzentration der Ration 0,4 MJ NEL/kg TM betragen (Bulang et al., 2006). Deutliche Unterschiede ergaben sich beim Milchnitrogengehalt, der in der Gruppe Luzernesilage im Mittel der Versuchsperiode um annähernd 50 mg/l höher lag ($p < 0,05$), als in der Gruppe Grassilage. Auch wenn die Milchnitrogengehalte in beiden Gruppen in einem unkritischen Bereich lagen, spiegeln diese Unterschiede doch den deutlich höheren Proteinüberhang in der Ration Luzernesilage bzw. die höhere RNB wider.

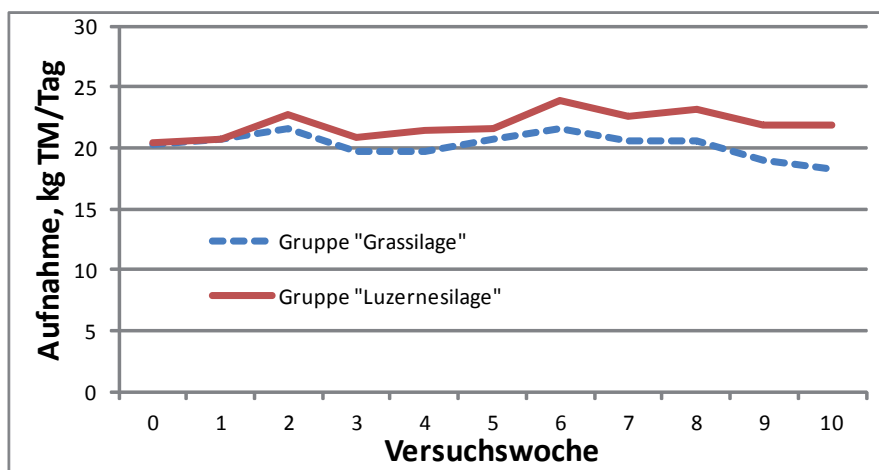


Abb. 1: Gesamtfuttermittelaufnahme (kg TM/Tier, Tag) im Versuchsverlauf

In Abbildung 1 ist die Entwicklung der Futtermittelaufnahme von der Vorperiode (Versuchswoche 0) an über den Versuchsverlauf hinweg dargestellt. Während sich die Futtermittelaufnahme in der Gruppe Grassilage während des Versuches weitgehend auf dem Niveau der Vorperiode bewegte, zeigt sich in der Gruppe Luzernesilage ein Anstieg im Versuchsverlauf. Im Mittel des Versuches lag die tägliche Futtermittelaufnahme in der Gruppe Luzernesilage mit rund 22 kg TM/Tag signifikant um etwa 2 kg höher als in der Gruppe Grassilage (Tab. 3). Damit lag die Futtermittelauf-

nahme in der Gruppe Luzernesilage auch höher, als nach den Schätzgleichungen der DLG (2006) zu erwarten wäre. Auf Grund dieser höheren Futteraufnahme ergibt sich für die Gruppe Luzernesilage trotz der deutlich niedrigeren Energiekonzentration der Ration eine tägliche Energieaufnahme, die sogar etwas höher lag als bei den Tieren der Grassilagegruppe. So lässt sich auch erklären, dass die Milchleistung in der Luzernegruppe trotz der erniedrigten Energiekonzentration der Ration nicht beeinträchtigt war.

Vergleichbare positive Auswirkungen der Luzernesilage auf die Futteraufnahme beim Milchvieh werden auch von anderen Autoren (Bulang et al., 2006) beschrieben. Erklärt wird dieser Effekt dadurch, dass die Luzernesilage eine erhöhte Abbaurrate der Trockenmasse je Zeiteinheit aufweist (Flachowsky et al., 1992), und damit eine höhere Passagerate im Pansen (Hoffmann et al., 1998). Durch eine geringe Verweildauer im Pansen lässt sich dann zumindest teilweise auch die geringe Verdaulichkeit der Luzernesilage (Tab. 2) erklären.

Insgesamt zeigt sich, dass die Luzernesilage eine stabile Komponente in Rationen für hochleistende Milchkühe darstellt. Im Allgemeinen kann man davon ausgehen, dass in einem bestimmten Ausmaß die Futteraufnahme der Milchkuh mit dem Energiegehalt der Ration ansteigt. Im Gegensatz dazu wird die geringe Energiekonzentration der Luzerne offenbar über eine erhöhte Futteraufnahme kompensiert. Diese Effekte werden jedoch von der Rationsgestaltung insgesamt und auch vom Niveau der Vergleichsgruppe abhängen, woraus sich der Bedarf nach weiteren Untersuchungen zum Effekt der Luzernesilage insbesondere auf die Futteraufnahme ergibt. Der hohe Proteingehalt der Luzerne kann bei der Rationsgestaltung helfen, proteinreiche Konzentratfuttermittel einzusparen. Darüber hinaus wird sich die hohe Strukturwirkung der Luzerne insbesondere in stärkereichen Rationen positiv bemerkbar machen.

9. Literaturangaben

Bulang, M., Kluth, H., Engelhard, T., Spilke, J., Rodehutschord, M., 2006: Zum Einsatz von Luzernesilage bei Kühen mit hoher Milchleistung. J. Anim. Phys. Anim. Nutr. 90, 89-102.

DLG, 2006: Schätzung der Futteraufnahme bei der Milchkuh. DLG-Information 1/2006.

Flachowsky, G., Ranft, S., Koch, H., 1992: Abbau von Luzerne und Weidelgras im

- Pansen von Schafen und Ziegen. Luzerne-Kolloquium, Halle (Saale), 130-133.
- GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 1991: Leitlinien zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen an Wiederkäuern, *J. Anim. Phys. Anim. Nutr.* 65, 229-234.
- GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 1995: Zur Energiebewertung beim Wiederkäuer. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 4, 121-123.
- Hoffmann, P.C., Combs, D.K., Casler, M.D., 1998: Performance of lactating dairy cows fed alfalfa silage or perennial ryegrass silage. *J. Dairy Sci.* 81, 162-168.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2007: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. 3 Die Untersuchung von Futtermitteln, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Hohe Milchleistungen bei 100 Prozent Biofuttermitteln?

H. Sommer¹, A. Schmid-Eisert³, K. Franz³, G. Leithold²

¹ILAS Institut für LifeAgriScience, Frankenberg, ²Professur für organischen Landbau, Universität Gießen, ³Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof, Villmar-Aumenau

1. Einleitung und Problemstellung

Je höher das Niveau der Milchleistung pro Tier und Jahr sein soll, umso höher ist auch der Bedarf an hochverdaulichem, energiereichem Grund- und Kraffutter (Pallauf, 1985; Gruber et al., 2000; Spiekers, 2002). Dieser Grundsatz gilt für die konventionelle Milchviehhaltung und die ökologische Milchviehhaltung gleichermaßen.

Insbesondere das Leitbild der ökologischen Landwirtschaft (Köpke, 1990) macht es erforderlich, im Sinne eines weitestgehend geschlossenen betrieblichen Stoffkreislaufes (Niggel und Gerber, 2010; Hülsbergen, 2010) betriebseigene Ressourcen einzusetzen und mit diesen auch einen gesteigerten Bedarf zu versorgen. Kann dieser Bedarf aus den betriebseigenen Ressourcen jedoch nicht vollständig gedeckt werden, dient der Futterzukauf zum Schließen der Versorgungslücken (Sundrum und Sommer, 2011). Bislang bestand die Möglichkeit, hierzu auch Futtermittel konventioneller Herkunft zu nutzen. Mit dem Verbot ihres Einsatzes 2002/2003 durch den Bioland-Verband war die Betriebsleitung des Lehr- und Versuchsbetriebs (LVB) Gladbacherhof der Universität Giessen gezwungen, die fehlenden Nährstoffe aus ökologischen Futtermitteln zu ersetzen, um die erzielte Jahresdurchschnittsleistung (Sommer, 2005) möglichst beizubehalten. Dieser Herausforderung müssen sich mit dem generellen Einsatzverbot konventioneller Futtermittel in der ökologischen Landwirtschaft künftig alle Betriebe stellen, die bisher solche Futtermittel eingesetzt haben. Im Rahmen einer 14jährigen Fallstudie zur Steigerung der Produktionsintensität im ökologischen Landbau am Beispiel des LVB Gladbacherhof (Sommer, 2010) wurde auch untersucht, welche möglichen Auswirkungen das Einsatzverbot konventioneller Futtermittel zur Folge hat. In diesem Beitrag soll aufgezeigt werden, ob und welche Alternativen die Betriebsleitung gefunden hat, um hohe Milchleistungen weiterhin zu realisieren.

2. Material und Methoden

Die Futtereinsatzmengen wurden gegliedert in die Bereiche wirtschaftseigenes Futter (WF) und Futterzukauf (ZF). Der Bereich WF wurde unterteilt in die Ebenen Grünland und Ackerland (mit den Subebenen Grundfutter, Kraftfutter und Saffutter). Der Bereich ZF wurde unterteilt in die Ebenen Grundfutterzukauf, Kraftfutterzukauf und Mineralfutterzukauf. Die eingesetzten Frischmassenmengen wurden in Futtertrockenmasse (TM) umgerechnet und mit den Analyseergebnissen für Nettoenergielaktation (NEL), Rohprotein (XP) und Phosphor (P) verrechnet. Der Untersuchungszeitraum (1993-2006) wurde untergliedert in die Abschnitte Kraftfuttereinsatz gering (KEG) <10 % ('93-'96), Kraftfuttereinsatz hoch (KEH) >10 % ('97-'99), Einsatz konventioneller Futtermittel (KOF) ('00-'03) sowie 100 % Biofutter (BIO) ('04-'06) und weicht damit geringfügig von der Untergliederung der Hauptstudie ab (Sommer 2010). Für die Untersuchungsabschnitte wurde der relative Anteil der Futterkomponenten an der eingesetzten TM ausgewiesen (Tab. 1). Auf die detaillierte Zusammensetzung der TM-Komponenten wurde aus Platzgründen verzichtet. Sie ist bei Sommer (2010) nachzulesen. Die Anteile an NEL und XP aus eigenen, fremden und konventionellen Ressourcen wurden ermittelt, die NEL- und XP-Konzentrationen der eingesetzten TM berechnet und zur Jahresdurchschnittsleistung aus der Milchleistungsprüfung (MLP) ins Verhältnis gesetzt.

Tab. 1: Relativer Anteil der Futterkomponenten an der eingesetzten TM

TM-Komponenten	1993 1996 %	1997 1999 %	2000 2003 %	2004 2006 %
∑ Grundfutter eigen	81,05	78,46	78,57	73,73
∑ Kraftfutter eigen	6,71	12,04	6,26	6,75
∑ Körnerleguminosen	6,40	4,45	1,92	2,48
∑ Saffutter eigen	0,64	0,00	0,51	1,09
∑ Grundfutter Zukauf	0,00	0,00	7,32	9,33
<i>ökologischer Herkunft</i>	0,00	0,00	0,00	9,33
<i>konventioneller Herkunft</i>	0,00	0,00	7,32	0,00
∑ Kraftfutter Zukauf	4,79	4,54	5,20	6,41
∑ Mineralfutter	0,41	0,51	0,21	0,21
∑	100,00	100,00	100,00	100,00

3. Ergebnisse

In den Abschnitten KEG und KEH wurde die Milchleistung zu über 90 % aus eigenen NEL- und XP-Ressourcen erzeugt. Im Abschnitt KOF wurden die notwendigen Energiemengen zu 23,8 % und die Rohproteinmengen zu 25,5 % aus fremden Ressourcen bzw. zu 19,3 und 20,5 % aus konventionellen Ressourcen bezogen (Tab. 1).

Tab. 1: Anteile an NEL und XP aus eigenen, fremden und konventionellen Ressourcen

Ressource	eigen		fremd		konventionell	
	NEL	XP	NEL	XP	NEL	XP
%						
KEG	94,8	93,2	5,2	6,8	0,0	0,0
KEH	95,2	94,9	4,8	5,1	0,0	0,0
KOF	76,6	74,5	23,8	25,5	19,3	20,5
BIO	84,0	83,5	17,3	15,7	0,0	0,0

Die NEL-Konzentration des Futters wurde von 1993–2002 von 5,9 auf 7,2 MJ NEL kg TM⁻¹, die XP-Konzentration des Futters wurde im selben Zeitraum von 156 auf 206 g XP kg TM⁻¹ erhöht. Die Jahresmilchleistung konnte von anfangs 6 243 auf 8 157 kg Milch je Kuh und Jahr im Jahr 2003 gesteigert werden (Abb. 1).

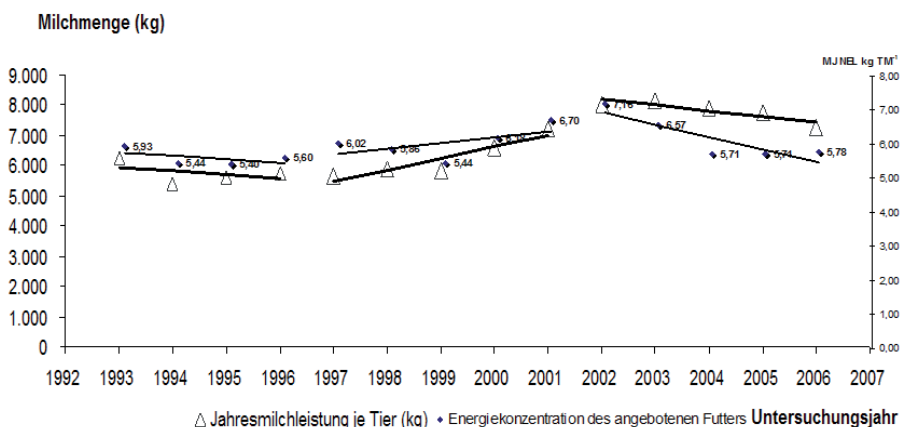


Abb. 1: Vergleich der Entwicklung der Energiekonzentration des angebotenen Futters und der Jahresmilchleistung je Tier im Untersuchungszeitraum

In den ersten drei Untersuchungsjahren fiel zwar die Energiedichte der eingesetzten TM zunächst von 5,9 auf 5,4 MJ NEL kg TM⁻¹ bzw. die XP-Konzentration von 156 auf 153 g XP kg TM⁻¹ ab. Durch den gesteigerten Krafftuttermittelaufwand ab 1996 (Tab. 1) konnte dieser Einbruch jedoch kompensiert und die NEL-Konzentration der TM von 5,4 auf 6,02 MJ NEL kg TM⁻¹ sowie vornehmlich durch den Einsatz von Körnerleguminosen die XP-Konzentration der TM auf über 160 g XP kg TM⁻¹ erhöht werden. Der Einsatz von Biertreber konventioneller Herkunft ab 2000 (Tab. 1) führte schließlich zu NEL-Konzentrationen zwischen 6,57 und 7,18 MJ NEL kg TM⁻¹ (Abb. 1) und XP-Konzentrationen zwischen 170 und 208 g XP kg TM⁻¹. Mit dem Wegfall von Biertreber sanken – trotz der Bemühung des Ausgleichs durch verstärkten Einsatz von Körnerleguminosen – in den folgenden Jahren bis 2006 die NEL-Konzentration über 6,6 auf 5,7 MJ NEL kg TM⁻¹ und die XP-Konzentration über 189 auf 155 g XP kg TM⁻¹. Es konnte ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Milchleistung und der NEL- und XP-Konzentration ($R^2=0,51$) gezeigt werden (Abb. 2).

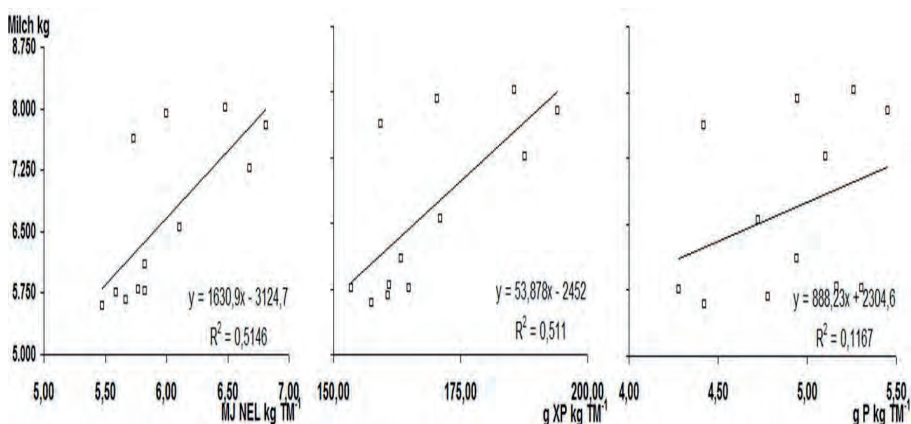


Abb. 2: Vergleich der Entwicklung von Nährstoffangebot und Winterweizenertrag im Untersuchungszeitraum

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Der ausführlich bekannte Zusammenhang zwischen der Milchleistung und der NEL- und XP-Konzentration der TM (Steingäß et al., 2001) findet sich erwartungsgemäß auch in dieser Studie. Von Bedeutung ist an dieser Stelle, dass die zur Erzielung von hohen Milchleistungen >7 500 kg notwendigen XP-Konzentra-

tionen hier nur durch den Einsatz konventioneller Futtermittel, in vorliegendem Fall der Biertreber, gelang. Die Kompensation nach dessen Einsatzverbot durch Körnerleguminosen (Sommer et al., 2005) führte nicht zu dem gewünschten Ziel, das erreichte Leistungsniveau zu halten. Dennoch zeigen die Ergebnisse der Betriebsanalyse, dass bei der Nährstoffnutzung ein großes Optimierungspotential erschlossen werden kann. Dies gelingt jedoch nur durch ein intensiviertes und professionelles Nährstoffmanagement werden.

Es ist davon auszugehen, dass hohe Milchleistungen in der ökologischen Milcherzeugung nur durch den Einsatz geeigneter Futtermittel zu erreichen sind. Sind solche Futtermittel in der ökologischen Landwirtschaft generell nicht verfügbar, so ist ein reduziertes und an die Gegebenheiten angepasstes Leistungsniveau anzustreben.

Prinzipiell sollte die Handlungsmaxime in der ökologischen Landwirtschaft die sein, vorhandene Ressourcen optimal und mit hoher Effizienz auszunutzen.

5. Literaturangaben

- Gruber, L., Steinwender, R., Guggenberger, T., Häusler, J., Schauer, A., 2000: Vergleich zwischen biologischer und konventioneller Wirtschaftsweise im Grünlandbetrieb. 2. Mitteilung: Futteraufnahme, Milchleistung, Gesundheit und Fruchtbarkeit. *Bodenkultur* 52, 55-70.
- Hülsbergen, K.-J., 2010: Nachhaltige Modelle für die Zukunft finden. *Ökologie & Landbau* 155, 24.
- Niggli, U., Gerber, A., 2010: Innovationsmotor für zukünftige Landwirtschaft. *Ökologie & Landbau* 155, 10-12.
- Pallauf, J., 1985: Leistungsmerkmale der Milchkuh unter dem Einfluss der Ernährung. Ergebnisse landw. Forschung an der Justus-Liebig-Universität, Heft XVII, Gießen, 103–114.
- Sommer, H., Leithold, G., Schmid-Eisert, A., 2005: Analyse und Bewertung der Energie-, Eiweiß- und Mineralstoffversorgung von Milchkühen im ökologischen Landbau am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof [Analysis and evaluation of the energy, protein and mineral supply of dairy cows in ecological farming showed at the trial station Gladbacherhof]. In: Heß, J., Rahmann, G. (Hrsg.): Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau.

- Sommer, H. 2010: Untersuchungen zur Steigerung der Produktionsintensität im ökologischen Landbau am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Sundrum, A., Sommer, H., 2011: Nährstoffkreisläufe schließen – reale oder virtuelle Leitidee? Beiträge 11. Wiss.-Tagung Ökologischer Landbau, Vol. 1, 15.-18. März 2011, Gießen, 163-166.
- Spiekers, H., 2002: Tierphysiologische Anforderungen an die Silagequalität (nutritional requirements in silage quality) LfL, Institut für Tiernahrung und Futterwirtschaft, Grub 2002.
- Steingäß, H., Kröber, T., Diebold, G., Drochner, W., 2001: Einfluss unterschiedlicher Rohproteinversorgung auf Futteraufnahme, Leistung und Verdauungsvorgänge bei Milchkühen. In: Pen, A. (Hrsg.): Proceedings of the 10th Conference on Nutrition of Domestic Animals. 8.-9.11.2001. 53-63.

Evaluierung des DLG-Schlüssels 2006 für Silagen mit heterofermentativer Milchsäuregärung (*Lactobacillus buchneri*-Typ)

K. Weiß, R. Krause

Humboldt Universität, Berlin

1. Einführung

Mit dem DLG-Schlüssel 2006 wird die Gärqualität von Silagen als Ausdruck für den Konservierungserfolg aus Gehalt und Verhältnis der unerwünschten Stoffabbauprodukte Essigsäure (ES) und Buttersäure (BS) bewertet. Erhöhte ES-Gehalte stehen insbesondere bei Silagen aus nitrathaltigem Material direkt im Zusammenhang mit dem Auftreten von Fehlgärungen (Weiß, 2000, 2003) und führen in der Bewertung der Gärqualität oberhalb von 3,0 % ES in TM stufenweise und folgerichtig zur Abwertung (Kaiser und Weiß, 2001, 2002, 2005).

Der DLG- Schlüssel 2006 wurde anhand von Laborsilagen mit bekannter chemischer Zusammensetzung des Ausgangsmaterials zur Silierung aus den Gehalten und dem gegenseitigen Verhältnis von BS zu ES abgeleitet. Zu dieser wissenschaftlichen Ableitung wurden keine Silagen mit heterofermentativen Zusätzen einbezogen.

Bei Zusatz von heterofermentativen Milchsäurebakterien (MSB he, *Lactobacillus buchneri*-Typ) wird Milchsäure unter anaeroben Verhältnissen und niedrigen pH-Werten zu 1,2-Propandiol (PD)/Propionsäure und ES umgewandelt (Oude-Elfering et al., 2001). In diesen Silagen können am Ende der Lagerung ES-Gehalte über 3,0 bzw. 3,5 % in TM auftreten, wie auch eigene Laboruntersuchungen im Rahmen von Zulassungsversuchen für Siliermittel zeigten.

Bezüglich der Anwendung des DLG-Schlüssels ergeben sich folgende Fragen:
Ist eine Abwertung von Silagen mit heterofermentativer Gärung feststellbar?
Wie werden Silagen mit Zusatz von MSB he durch den DLG-Schlüssel bewertet?
Wie ist die Bewertung von Silagen mit erhöhten ES-Gehalten aus der heterofermentativen Milchsäure (MS)-Gärung, die im Hinblick auf die Verbesserung der aeroben Stabilität durchaus erwünscht ist, von der Bewertung des Gärerfolges zu trennen?

2. Material und Methoden

Für die Auswertung wurden 1355 BS-freie Silagen aus Gras, Gras/Leguminosen, Getreideganzpflanzen (GPS), Grünroggen (AM 1, N = 476) mit einer Lagerungsdauer von mindestens 60 Tagen sowie Sudangras, Hirse, Mais (AM 2, N = 879) mit einer Lagerungsdauer von mindestens 42 Tagen herangezogen. Angaben zu den Inhaltsstoffen der Ausgangsmaterialien zur Silierung lagen nicht für alle Silagen vor und wurden deshalb nicht in die Auswertung einbezogen. Es wurde die Häufigkeit der Noten in ES-Klassen $>3,0\%$ in TM für alle Silagen, getrennt nach AM 1 und AM 2 sowie unter Berücksichtigung des 1,2-PD-Gehaltes ermittelt. Außerdem sind Zusammenhänge zwischen ES- und 1,2-PD-Gehalt ohne und mit Zusatz von MSB he mit Hilfe von Regressionen geprüft worden.

3. Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 1 zeigt zusammengefasst die Anzahl bewerteter BS-freier Silagen in den Noten des Gärerfolges nach DLG-Schlüssel 2006.

Die Abwertung dieser BS-freien Silagen erfolgte ausschließlich aufgrund der erhöhten ES-Gehalte. Wurden alle 1355 Silagen herangezogen (Tab. 1), so ist bei 8,8% dieser BS-freien Silagen eine Abwertung in Note 3 (6,3%) und Note 4 (2,5%) festzustellen. Da ES auch aus Fehlgärungsprozessen stammen könnte, insbesondere bei Silagen aus nitrathaltigem Ausgangsmaterial, wurden als nächstes nur die Silagen mit nachweisbaren Gehalten an 1,2-PD (N = 696) für die Auswertung herangezogen. Aus Tabelle 1 geht hervor, dass 12,8% aller BS-freien Silagen mit 1,2-PD aufgrund erhöhter ES-Gehalte in Note 3 (10,1%) und in Note 4 (2,7%) abgewertet wurden.

Es ergab sich die Frage, ob ein Unterschied in Bezug auf die Ausgangsmaterialien zur Silierung feststellbar ist. Es zeigte sich, dass bei AM 1 von 315 BS-freien Silagen mit 1,2-PD insgesamt 11,9% in Note 3 und 4 kamen. Beim AM 2 waren es 13,6% der 381 Silagen, die abgewertet wurden. Die Unterschiede waren auch in der Höhe der analysierten ES-Gehalte festzustellen: in AM 1 (Grassilagen u. ä.) führten ES-Gehalte $>3,5\%$ in TM zu Note 3 und 4, in AM 2 (Maissilagen u. ä.) führten ES-Gehalte $>4,5\%$ in TM zu Note 3 und 4.

Tab.1: Anzahl n bewerteter Silagen in den Noten nach DLG 2006

AM	Zusätze	1,2-PD	N	Anzahl N in den Noten				
				Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5
alle	alle ¹⁾	0-6,37	1355	1154	82	85	34	0
				85,2	6,1	6,3	2,5	0
alle	alle	0,06-6,37	696	534	73	70	19	0
				76,7	10,5	10,1	2,7	0
AM1	alle	0,07-4,83	315	235	43	31	6	0
				74,6	13,7	9,8	1,9	0
AM2	alle	0,06-6,37	381	299	30	39	13	0
				78,5	7,9	10,2	3,4	0
AM1	ohne	0,07-4,83	64	46	9	8	1	0
				71,9	14,1	12,5	1,6	0
	MSBhe	0,07-4,03	142	95	25	9	4	0
				73,2	17,6	6,3	2,8	0
AM2	ohne	0,06-6,37	187	165	10	8	4	0
				88,2	5,3	4,3	2,1	0
	MSBhe	1,15-5,98	122	66	19	29	8	0
				54,1	15,6	23,8	6,6	0

¹⁾alle Zusätze: MSB homofermentativ, MSB heterofermentativ, chemische Zusätze, Kombiprodukte

In einem weiteren Auswertungsschritt wurde der Frage nachgegangen, wie Silagen mit explizit heterofermentativer Gärung vom *Lactobacillus buchneri*-Typ bewertet werden. Dazu sind in Tabelle 2 die Häufigkeiten der Noten für AM 1 in den ES- Klassen für BS- freie Silagen mit 1,2-PD ohne und mit Zusatz von heterofermentativen Milchsäurebakterien (MSBhe), in Tabelle 3 für AM 2 ausgewiesen.

Bei dieser Herangehensweise ist davon ausgegangen worden, dass in Silagen ohne Silierzusätze bei Nachweis von 1,2-PD eine natürlich ablaufende heterofermentative Gärung vorliegt.

Wie Tabelle 2 ausweist, werden in Grassilagen u. ä. Ausgangsmaterial (AM 1) 14,1 % der 64 Silagen ohne Zusatz bzw. 9,1 % der 142 Silagen mit Zusatz von MSB he in Note 3 und 4 abgewertet. Bei Maissilagen u. ä. (AM 2), insbesondere bei Zusatz von MSB he ist der Anteil abgewerteter Silagen deutlich höher. Aus Tabelle 3 ist ersichtlich, dass 6,4 % der Silagen aus AM 2 in Note 3 und 4 und 29,9 % der 122 Silagen mit MSB-Zusatz mit Note 3 und 4 bewertet werden, bei ES-Gehalten oberhalb von 4,5% in TM.

Tab.2: Häufigkeit der Noten in den ES- Klassen für BS- freie Silagen mit 1,2-Propandiol ohne und mit Zusatz MSB he für AM1

Häufigkeit der Noten in den ES-Klassen ohne Zusatz/mit MSB he					
ES in % TM	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5
bis=3%	46/89	1/3	0/0	0/0	0/0
>3,0 bis 3,5	0/15	2/7	0/0	0/0	0/0
>3,5 bis 4,0	0/0	2/8	0/7	0/0	0/0
>4,0 bis 4,5	0/0	4/6	4/2	0/0	0/0
>4,5 bis 5,0	0/0	0/1	4/0	1/4	0/0
>5,0	0/0	0/0	0/0	1/4	0/0
N	46/104	9/25	8/9	1/4	0/0
N%	71,9/73,2	14,1/17,6	12,5/6,3	1,6/2,8	0/0

Tab.3: Häufigkeit der Noten in den ES- Klassen für BS-freie Silagen mit 1,2-Propandiol ohne und mit Zusatz MSB he für AM2

Häufigkeit der Noten in den ES-Klassen ohne Zusatz/mit MSB he					
ES in % TM	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5
bis=3%	161/63	0/0	0/0	0/0	0/0
>3,0 bis 3,5	4/3	0/0	0/0	0/0	0/0
>3,5 bis 4,0	0/0	3/7	0/0	0/0	0/0
>4,0 bis 4,5	0/0	6/9	0/0	0/0	0/0
>4,5 bis 5,0	0/0	1/3	1/10	0/0	0/0
>5,0	0/0	0/0	7/19	4/8	0/0
N	165/66	10/19	8/29	4/8	0/0
N%	88,2/ 54,1	5,3/15,6	4,3/23,0	2,1/6,6	0/0

Zur Frage, wie die Bewertung von Silagen mit erhöhten ES-Gehalten aus einer heterofermentativen Gärung vom *Lactobacillus buchneri*-Typ von der Bewertung des Gärerfolges, bei der erhöhte ES-Gehalte auf eine Fehlgärung zurückzuführen sind, zu trennen ist, wurden mittels Regressionen die Beziehungen zwischen ES und 1,2-PD ermittelt. Die Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Regression zwischen dem 1,2-PD-Gehalt und dem ES-Gehalt für AM 2 mit Zusatz von heterofermentativen MSB. In Tabelle 4 sind die Daten für AM 1 und AM 2 mit und ohne Zusatz vollständig aufgeführt.

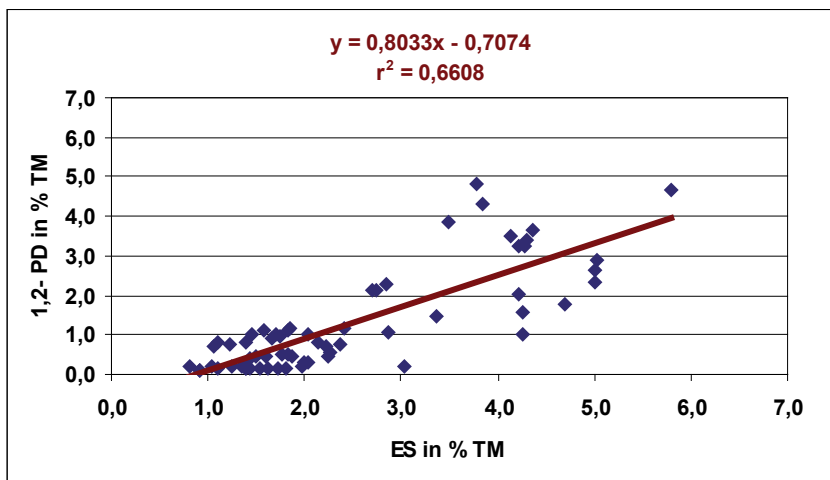


Abb. 1: Korrelation zwischen dem Gehalt an 1,2-PD und dem ES- Gehalt in Maissilagen u. ä. (AM 2) mit Zusatz von MSB he; n = 122

Tab. 4: Korrelation zwischen dem Gehalt an 1,2-PD und ES-Gehalt in AM 1 und AM 2 ohne und mit Zusatz von MSB he

AM	Zusatz	n	r ²	1,2- PD in % TM bei ES > 3,0 %
1	ohne	64	0,66	0,2 bis 4,8
1	MSB he	142	0,33	0,2 bis 4,0
2	ohne	187	0,61	0,1 bis 6,4
2	MSB he	122	0,65	0,2 bis 6,0

Wie aus Abbildung 1 und Tabelle 4 ersichtlich ist, sind die Beziehungen zwischen 1,2-PD und ES mit einem mittleren r^2 von 0,56 eng und vergleichbar zwischen den Varianten ohne und mit Zusatz von MSB he bei beiden AM. Bei Nachweis von 1,2-PD, insbesondere oberhalb von 3,0% ES in TM ist von einer heterofermentativen Gärung auszugehen – und *nicht* von einer Fehlgärung.

4. Schlussfolgerungen

Bei der Bewertung von Silagen mit Zusatz von heterofermentativen Milchsäurebakterien bzw. ohne Zusatz und Ablauf einer heterofermentativen Gärung vom *Lactobacillus buchneri*-Typ ist zu beachten, dass erhöhte Essigsäure-Gehalte nicht auf eine Fehlgärung zurückzuführen sind. Deshalb ist 1,2-Propandiol als Kriterium für den Ablauf der heterofermentativen Gärung in Silagen zu analysieren. Bei BS-freien Silagen mit 1,2 PD und ES >3,0 % in TM ohne und mit Zusatz von MSB he sollte kein Abzug für erhöhte ES-Gehalte vorgenommen werden. Für die DLG-Siliermittelprüfung ist dies zu beachten.

Auch für die landwirtschaftliche Praxis empfiehlt sich bei der Untersuchung der Gärqualität die Analyse auf 1,2-PD. Sollte dies nicht möglich sein, kann nach Bewertung der Silagen mittels DLG-Schlüssel 2006 und bei Angabe des Siliermitteleinsatzes MSB he (WR 2, *Lactobacillus buchneri*-Typ) auf einen Abzug von Punkten aufgrund erhöhter ES-Gehalte verzichtet werden.

5. Zusammenfassung

Eine Abwertung von BS-freien Silagen aufgrund erhöhter Essigsäure-Gehalte aus der heterofermentativen Gärung ist feststellbar, unter der Annahme, dass das Auftreten von 1,2-Propandiol eng mit der heterofermentativen Gärung verbunden ist und in dem Falle Essigsäure nicht aus einer Fehlgärung stammt. In der vorliegenden Auswertung sind Unterschiede in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial hinsichtlich des Anteils abgewerteter BS-freier Silagen mit 1,2-PD festgestellt worden. Als Ursache der hohen ES-Gehalte ist hier heterofermentative Gärung vom *Lactobacillus buchneri*-Typ anzunehmen. Deshalb sollte 1,2-Propandiol in Silagen analysiert werden.

6. Literaturangaben

- Kaiser, E., Weiß, K., 2001: Grassilage richtig einschätzen. Vorschlag zur Bewertung der Gärqualität von Silagen aus Grünfutter. *Neue Landwirtschaft* 7, 67-69.
- Kaiser, E., Weiß, K., 2002: Evaluation of the fermentation quality of silages on the basis of their butyric and acetic acid contents. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 11, 139.
- Kaiser, E., Weiß, K., 2005: A new system for the evaluation of the fermentation quality of silages. *Proc. XX International Grassland Congress, Dublin, Ireland, 26.6.-1.07.2005*, 476.
- Oude-Elferink, S.J.W.H., Krooneman, J., Gottschal, J.C., Spoelstra, S.F., Faber, F., Driehuis, F., 2001: Anaerobic degradation of lactic acid to acetic acid and 1,2-propanediol by *Lactobacillus buchneri*. *Appl. Environm. Microbiol.* 67 (1), 125-132.
- Weiß, K., 2000: Gärungsverlauf und Gärqualität von Silagen aus nitratarmem Grünfutter. Dissertation, Berlin, Humboldt-Universität.
- Weiß, K., 2003: Gärproduktmuster in Silagen in Abhängigkeit von den Gärungsbedingungen. *VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 59, 97-98, Kongressband 2003 Saarbrücken. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.*

Einfluss einer Kombination von Milchsäurebakterien auf den Umfang der Proteolyse in Grassilagen unterschiedlichen Ausgangsmaterials

E. Kramer¹, P. Leberl², C. Kalzendorf³

¹ISF GmbH, Wahlstedt, ²Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie, Universität Hohenheim, ³LK Niedersachsen, Oldenburg

1. Einleitung

Im Verlauf der Silierung finden in größerem Umfang Ab- und Umbauprozesse des pflanzlichen Proteins statt (Proteolyse). Der Umfang der Proteolyse ist neben pflanzen-internen Faktoren auch von pflanzen-externen Faktoren abhängig (Hoedtker et al., 2010). Hier kommt einer möglichst kurzen Feldliegephase sowie einer schnellen und dauerhaften pH-Absenkung während des Silierprozesses eine entscheidende Bedeutung zu, um die Aktivität von pflanzlichen Proteasen und proteolytisch aktiven Mikroorganismen wie Clostridien und Enterobakterien möglichst gering zu halten.

2. Material und Methoden

Als Versuchsvarianten des Dauergrünlands mit dem Hauptbestandbildner Deutsches Weidelgras wurden drei unterschiedliche TM-Stufen (20-30%; 30-40%; 40-50%) sowie zwei Düngevarianten (I) je ha 25 m³ Gülle + 100 kg Kalkammonsalpeter (KAS) und II) je ha 25 m³ Gülle + 250 kg KAS) in den Laborsilagen angelegt. Dabei wurde jeweils eine Variante mit und ohne Zusatz der Milchsäurebakterienkombination durchgeführt.

Neben der Rohnährstoffanalyse mittels Nahinfrarotspektroskopie erfolgte die Bestimmung der flüchtigen Fettsäuren über HPLC. Des Weiteren wurden der NH₃-N-Gehalt der Grassilagen nach VO (EG) 152/2009 III E bestimmt sowie eine Rohproteinfraktionierung nach Licitra et al. (1996) durchgeführt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die einzelnen Proteinfraktionen nach der Methode Licitra et al. (1996) sowie den sich hieraus ableitenden Konsequenzen für die Abbaubarkeit des Proteins beim Wiederkäuer.

Tab. 1: Chemische Fraktionierung des Rohproteins von Futtermitteln für Wiederkäuer (nach Licitra et al., 1996)

Fraktion	Verfügbarkeit	Rohprotein-Fraktion
A	Im Pansen sofort abbaubar zu NH ₃	NPN (Harnstoff, Peptide, NH ₃)
B1	Im Pansen schnell abbaubar zu NH ₃	Reinprotein
B2	Im Pansen potenziell vollständig abbaubar	Reinprotein
B3	Im Pansen langsam, nicht unbedingt vollst. abbaubar	Zellwandgebundenes Reinprotein
C	Im Pansen und Dünndarm nicht verfügbar	An Lignin, Tannin oder Maillard-Produkte gebundenes Protein

3. Ergebnisse und Diskussion

Über alle TM-Stufen und Düngevarianten war ein deutlicher Effekt der Milchsäurebakterienkombination zu beobachten - dokumentiert durch eine mittlere Anzahl an DLG-Punkten für Gärqualität von 99,5 von 100 möglichen Punkten gegenüber durchschnittlich 71,3 Punkten bei der unbehandelten Variante.

Tab. 1: DLG-Noten für Gärqualität für die verschiedenen Versuchsvarianten

Düngevariante	TM-Bereich	DLG-Note	
		Kontrolle	Behandlung
I	20-30	37	100
	30-40	50	100
	40-50	90	100
II	20-30	67	97
	30-40	94	100
	40-50	90	100
Mittelwert		71,3	99,5

Hinsichtlich der $\text{NH}_3\text{-N}$ -Gehalte und der einzelnen Proteinfractionen zeigten sich eindeutige Unterschiede zwischen den Varianten mit und ohne Zusatz des Siliermittels.

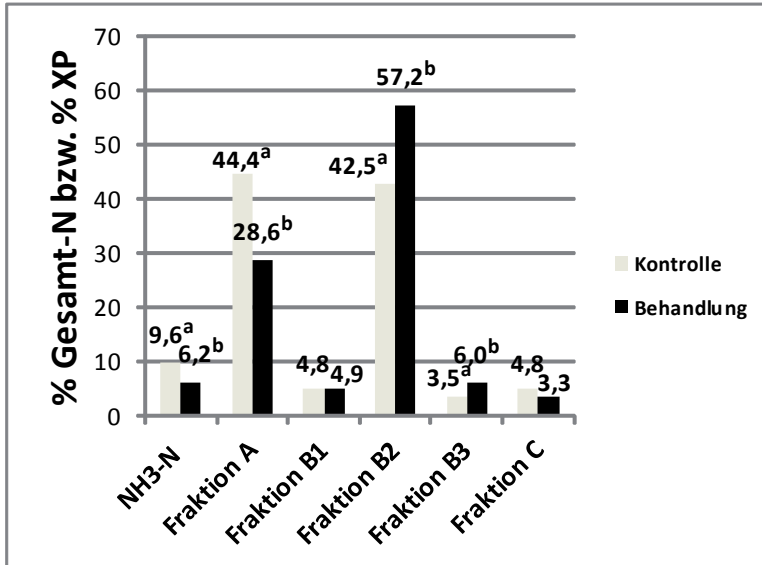


Abb. 1: Proteinfraktionen und $\text{NH}_3\text{-N}$ bei Kontrolle und Behandlung im TM-Bereich von 30-40 % und in der Düngestufe I (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede)

Abbildung 1 zeigt die Proteinfraktionen sowie $\text{NH}_3\text{-N}$ bei Kontrolle und Behandlung für TM-Stufe 30-40 % sowie Düngestufe I. Bis auf eine Ausnahme im TM-Bereich von 20-30 % der Düngestufe II wurde bei den behandelten Grassilagen eine signifikante Reduzierung ($p < 0,05$) der Fraktion A (unmittelbar im Pansen abbaubare NPN-Verbindungen) sowie eine Erhöhung ($p < 0,05$) des im Pansen potentiell vollständig, aber mit Verzögerung abbaubaren Reinproteins in Fraktion B2 erzielt.

Die Ergebnisse in dieser Studie lassen den Schluss zu, dass das pflanzliche Protein beim Einsatz einer gezielten Milchsäurebakterienkombination in wesentlich geringerem Umfang ab- und umgebaut wird. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass beim Einsatz der speziellen Milchsäurebakterien-Kombinationen der pH-Wert in den ersten Tagen der Silierung wesentlich schneller und im weiteren Silierverlauf auch tiefer gegenüber einer unbehandelten Variante abgesenkt

wird. Außerdem ist anzunehmen, dass die proteinabbauenden Gärschädlinge infolge der Konkurrenzstärke der selektierten Milchsäurebakterien zurückgedrängt werden können.

Eine Verschiebung in den Proteinfractionen einer Grassilage von A in Richtung B2 resultiert für die Milchkuh in einer geringeren RNB-Bilanz und dadurch einer geringeren Leberbelastung, da die Mengen an sofort im Pansen verfügbarem NPN-Stickstoff in reduziertem Umfang via Leber zu Harnstoff entgiftet werden müssen. Dies gilt umso mehr, je größer der Anteil der Grassilage in der Ration ist. Dazu kommt, dass eine Silage mit einem hohen Anteil des Rohproteins in Fraktion A und entsprechend einer geringen Menge an Reinprotein vermutlich auch erhöhte Gehalte an biogenen Aminen in der Silage aufweist, was grundsätzlich im Hinblick auf eine gesundheitliche Beeinträchtigung des tierischen Organismus kritisch gesehen wird (Hoedtke et al., 2011; Richardt, 2011; Theermann et al., 2011).

Weiterhin ist davon auszugehen, dass die Lieferung an nXP aus der Grassilage unter der Annahme einer geringeren Proteolyse zunimmt, wodurch in der Rationsgestaltung Proteinfuttermittel wie z. B. Soja- oder Rapsextraktionsschrot einzusparen wären. Abschließend bleibt festzustellen, dass weiterer Forschungsbedarf besteht, um die aufgestellten Thesen zu verifizieren.

4. Zusammenfassung

Die Ergebnisse in dieser Untersuchung weisen darauf hin, dass das pflanzliche Protein beim Einsatz einer gezielten Milchsäurebakterienkombination in wesentlich geringerem Umfang ab- und umgebaut wird. Für eine Bestätigung der Ergebnisse sind weitere Untersuchungen ebenso erforderlich wie die Etablierung einer Standard-Analysemethode zur besseren Beschreibung der Proteinqualität einer Silage.

5. Literatur

Hoedtke, S., Gabel, M., Zeyner, A., 2010: Der Proteinabbau im Futter während der Silierung und Veränderungen in der Zusammensetzung der Rohproteinfraktion. Übers. Tierernähr. 38, 157-179.

- 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.
- Richardt, W., 2011: Untersuchungen zur Veränderung der Proteinqualität während der Silierung von Grassilagen unter Berücksichtigung biogener Amine. VDLUFA-Kongress 123. Kurzfassung der Referate, V 035.
- Theermann, S., Gresner, N., Eicken, K., Scholz, H., Bollwein, H., Hoeltershinken, M., 2011: In vitro studies on the effect of grass silage containing low true protein on γ -Aminobutyric Acid (GABA) in bovine fluid. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 20, 128.

Zur Wirkung von Leinsamen auf Fruchtbarkeit und Leistung von Milchkühen

F. Weller¹, S. Dunkel², K. Trauboth², K. Gödeke², M. Strube³

¹Martin-Luther-Universität, Halle, ²Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, ³Landwirtschaftsgenossenschaft e. G., Förtha

1. Einleitung

Die Unfruchtbarkeit von Hochleistungskühen ist nach wie vor einer der Hauptabgangsursachen in der Milchproduktion und übt wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Landwirtschaftsbetriebe aus. Als Gründe für die Unfruchtbarkeit werden neben der Genetik, Mängel in der Haltung, Geburtshygiene, dem Brunstmanagement und auch der Fütterung angesehen. Um die Fruchtbarkeit zu verbessern, wird in der Literatur mehrfach der Einsatz von Leinsamen beschrieben. Durch seinen hohen Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren soll die Trächtigkeitsrate verbessert und die Zwischentragezeit verkürzt werden. Die Wirkung vom Leinsamen auf Milchleistung und -inhaltsstoffe wird widersprüchlich diskutiert.

Deshalb war es Ziel dieser Untersuchung, den Einsatz von Leinsamen in der Milchkuhfütterung auf Fruchtbarkeitsparameter sowie Milchleistung und -inhaltsstoffe zu prüfen. Aufgrund dessen wurde ein Fütterungsversuch in einem Praxisbetrieb mit extrudiertem Leinsamen („Flaxpro“) durchgeführt und ausgewertet.

2. Material und Methoden

Der Milchkuhversuch wurde über einen Zeitraum von 12 Monaten unter Produktionsbedingungen durchgeführt.

2.1 Fütterung

Für den Fütterungsversuch wurden zwei Rationen mit gleichen Grundfutteranteilen (Mais-, Grasanwelksilage und Heu) kalkuliert (Tab. 1). Der Silageanteil in der Trockenmasse lag in beiden Gruppen bei 48 %. Das Grundfutter bestand in beiden Gruppen aus 21 % Grassilage (1. Schnitt, 37 % T, 5,7 MJ NEL/kg T, 146

g XP/kg T, 133 g nXP/kg T) sowie 49,6 % Maissilage (27,9 % T, 6,4 MJ NEL/kg T, 77,3 g XP/kg T, 129 g nXP/kg T) in Ergänzung mit Heu. Zusätzlich erhielten die Tiere täglich 350 g eines Mineralstoffgemisches einschließlich Natriumbicarbonat, Futterkalk und Viehsalz.

Das Kraftfutter setzte sich in beiden Rationen aus verschiedenen Energieträgern (hofeigenen Getreidemischung, Fett und Glycerin) und Proteinträgern (Sojaextraktionsschrot, Rapskuchen, Flaxpro) sowie 2 Mischfuttermitteln zusammen. Die gequetschte Getreidemischung bestand zu 50 % aus Weizen und zu 50 % aus Gerste. Beim eingesetzten Sojaextraktionsschrot handelt es sich um den Normtyp 44. Das Milchleistungsfutter „deukalac 234“ bestand hauptsächlich aus Maisschrot (49 %) sowie Raps- und Sojaextraktionsschrot zu je 25 % in pansengeschützter Form (XP 23 %, nXP 215 g/kg FM, RNB +2 sowie 7,4 MJ NEL/kg FM). Im Milchleistungsfutter „deuka MK 204- M“ waren neben 26,1 % Rapsextraktionsschrot je 20 % von Weizenkleber und Maisschrot sowie 9,6 % Rapskuchen (XP 20 %, nXP 175 g/kg FM, RNB +4 sowie 7,0 MJ NEL/kg FM). Weiterhin wurden in der Ration Malzkeime und Melasse eingesetzt. Bei dem Versuchsfutter handelt es sich um extrudierten, calciumverseiften Leinsamen „Flaxpro“ (Tab. 2).

Die Rationen waren ansonsten entsprechend der GfE (2001) unter Einbeziehung der betrieblichen Vorgaben kalkuliert und isokalorisch und isonitrogen zusammengesetzt (Tab. 1). Grundlage der Kalkulation war eine tägliche Milchleistung von 42 kg mit 4,0 % Fett und 3,4 % Eiweiß. Die Fütterung erfolgte zweimal täglich über eine Total-Mischration (TMR).

Folgende Parameter wurden täglich je Gruppe erfasst: Futtermenge, Restfuttermenge, Tierzahl pro Gruppe sowie Trockensubstanzgehalt der TMR. In festgelegten Abständen wurden die Rohnährstoffgehalte der Grob-, Kraftfutter und TMR analysiert.

Die Nährstoff- und Energiegehalte des Versuchsfuttermittels Flaxpro sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 1: Zusammensetzung und Nährstoffgehalte der kalkulierten Ration. Für eine Milchkuh mit 650 kg Lebendmasse, 42 kg Milch mit 3,4 % Eiweiß und 4,3% Fett

	Versuch	Kontrolle
<i>Komponenten der Ration (kg FM/Tier*d)</i>		
Maissilage	26	26
Grassilage	11	11
Heu	0,8	0,8
Getreidemischung	3,2	3,2
Maiskörnerschrot	1,3	1,3
Deukalac 234	1,3	1,3
Deuka MK 204- M	2,5	2,5
Sojaextraktionsschrot	1,3	1,4
Rapskuchen	1,4	1,4
Malzkeime	1,5	1,5
Melasse	0,8	0,8
Melasseschnitzel	0,5	0,5
FLAXPRO	0,4	0
Glycerin	0	0,3
Fett Palmit (Calciumseife)	0	0,15
Mineralfutter	0,20	0,20
Kohlensaurer Futterkalk	0,08	0,08
Natriumbikarbonat	0,05	0,05
Viehsalz	0,02	0,02
<i>Trockenmasseaufnahme (kg/Tier*Tag)</i>	24,8	24,9
<i>Energie- und Nährstoffaufnahme</i>		
Trockensubstanz (% der FM)	47,4	47,5
XL (g/kg TS)	45	43
XF (g/kg TS)	162	161
XS (g/kg TS)	212	211
XZ (g/kg TS)	61	61
XP (g/kg TS)	161	159
nXP (g/kg TS)	161	159
RNB (gN/Tier und Tag)	-1	+1
NEL (MJ/kg TS)	7,0	7,1

Tab. 2: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe von Flaxpro (BASU 2008)

Zusammensetzung	70% Leinsaat (extrudiert) 30% Calcium-Salz der Palmfettsäure	
Inhaltsstoffe	Trockenmasse	89%
	Rohprotein	17,0%
	Rohfett	50,0%
	Rohfaser	6,0%
	Rohasche	13,0%
	Calcium	3,6%
	Umsetzbare Energie	21,3 MJ/kg TS
	Nettoenergie-Laktation	14,0 MJ/kg TS
	Nutzbares Rohprotein	150 g/kg TS
	Ruminale Stickstoffbilanz+	3,2 gN/kg TS
	UDP	30% des XP

2.2 Tiere im Versuch

Die Milchkühe für die Versuchs- und Kontrollgruppe im Fütterungsversuch wurden aus der Milchviehherde der Landwirtschaftsgenossenschaft e. G. Förtha (Rasse Deutsche Holsteins) zusammengestellt. Die mittlere Laktationsleistung aller Kühe des Betriebes lag zwischen 2007 und 2009 bei 10 166 kg mit 4,0% Fett und 3,53% Eiweiß.

Angelehnt an die Gruppeneinteilung der Milchkühe in dem Versuchsbetrieb, entsprach die Versuchsgruppe der Gruppe 2 und die Kontrollgruppe der Gruppe 3. Die Milchkühe wurden aus der Transitgruppe (Gruppe 4) zwischen dem 20. und 35. Laktationstag der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe zugeordnet. Die Einteilung der Tiere erfolgte nach der aktuellen Milchleistung und der Anzahl der Laktationen. Als Versuchsbeginn ist der Eintritt des Tieres in die jeweilige Gruppe definiert (Tab. 3). Mit dem Eintritt des Tieres in die Versuchs- oder Kontrollgruppe beginnt der Erhebungszeitraum.

Zur Auswertung wurden nur Tiere herangezogen, welche mindestens 50 Versuchstage in der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe standen.

Die Milchkühe wurden während der Untersuchung in Liegeboxenlaufställen mit Gummimatten im Liegebereich, Vollspaltenboden und Fressgittern gehalten. Wasser stand den Tieren ad libitum zur Verfügung.

Tab. 3: Mittlere Kenndaten der Gruppenzusammensetzung zu Versuchsbeginn

Gruppeneintritt	Versuchsgruppe	Kontrollgruppe
Tieranzahl	160	165
Milch kg/d	37,7	37,7
Laktationsnummer	1,9	2,0
Anzahl Erstlingskühe (%)	44,4	43,6

2.3 Milchleistung

Die Messung der Milchleistung erfolgte dreimal täglich über den Melkstand. Milchproben wurden zweimal im Monat zu jeder Melkung (früh, mittags, abends) genommen und die Milchinhaltsstoffe im Milchlabor der TVL bzw. der TLL ermittelt.

2.4 Fruchtbarkeitsparameter

Die Besamungen (Anzahl Portionen, Name des Besamers bzw. Name des eingesetzten Bullen), die Trächtigkeitsuntersuchungen (Datum und Ergebnis), die zuchthygienischen Untersuchungen, Erkrankungen, eventuelle Zuchtuntauglichkeit, Kalbungen, Verkaltungen und Abgänge wurden im Herdenmanagementprogramm Herde W protokolliert und waren die Grundlage der Datenauswertung.

2.5 Statistik

Zur mathematisch statistischen Auswertung der Milchleistung und der Milchinhaltsstoffe (Fett, Eiweiß, Laktose, Fett- Eiweißquotient und Laktose) kam ein linear gemischtes Modell (Testtagsmodell nach Ali und Schaeffer (1987), aus Mielenz et al. (2006), Doluschitz et al. (2009)) zum Einsatz. Die Schätzung der Parameter erfolgte mit dem Statistik Programm SAS (Statistical Analysis Program, Version 9.1). Es wurde die Methode Reml zur Varianzkomponentenschätzung (procedure mixed) verwendet sowie die Freiheitsgradapproximation von Kemward und Roger (1997) aus Mielenz et al. (2006).

3. Ergebnisse

In Tabelle 4 sind von ausgewählten Futtermitteln die Nährstoff- und Energiegehalte angegeben. Die für die kalkulierte Ration vor Versuchsbeginn herangezogenen Nährstoff- und Energiegehalte der Mais- und Anwelksilage unterschieden sich von den tatsächlich ermittelten Analysenwerten. So war nicht nur der Energiegehalt der Maissilage (6,4 vs. 6,6 MJ NEL) deutlich höher, sondern vor allem der der AWS (5,7 vs. 6,4 MJ NEL). Die Laboranalysen des Versuchsfuttermittels Flaxpro stimmten weitestgehend mit den Herstellerangaben überein. Während TS, XA und XL übereinstimmten, lag der analysierte Rohproteingehalt mit 4 % unter den Herstellangaben. Aufgrund nicht vorliegender Verdaulichkeitsangaben für extrudierten, calciumverseiften Leinsamen war es nicht möglich, die Angaben für NEL, nXP und RNB zu berechnen.

Tab. 4: Analysenwerte der Nährstoff- und Energiegehalte ausgewählter Rationskomponenten

Futtermittel	n	TS	XA	XP	XF	XL	NEL	nXP	RNB
		% der FM	% der TS	% der TS	% der TS	% der TS	MJ/kg TS	% der TS	gN/kg TS
Maissilage	20	31,16	4,04	8,25	19,06	3,24	6,62	13,35	-8
Anwelksilage	22	31,95	8,99	16,02	24,71	ne	6,38	14,18	3
Flaxpro	8	95,85	13,29	15,05	8,97	51,63	ne		

n=Anzahl analysierter Proben, ne=nicht ermittelt

Die Ergebnisse des Fütterungsversuchs sind in Tabelle 5 und 6 dargestellt.

Der Anteil an Mais- und Grassilage sowie Heu war in beiden Gruppen gleich. Jedoch lag die tatsächlich verfütterte Menge bei MS deutlich unter und bei AWS deutlich über der vorab kalkulierten Menge (23 vs. 26 sowie 17 vs. 11 kg FM/Tier und Tag). Die Trockenmasseaufnahme war in beiden Gruppen nahezu identisch. Insgesamt lag diese sogar 2 kg höher als zuvor kalkuliert wurde (Tab. 1). Deswegen sind auch die Nährstoff- und Energieaufnahme geringfügig höher im Vergleich zur kalkulierten Ration. So wurde ein Energiegehalt von knapp 7,1 MJ NEL/kg TM kalkuliert, wobei tatsächlich ein Gehalt von 7,2 MJ NEL/kg TM zugeführt wurde. Der Rohproteingehalt lag gegenüber der kalkulierten Ration um etwa 9g/kg TM höher.

Tab.5: Mittlere Ration, TM-Aufnahme , Nährstoff- und Energiegehalte über den Versuchszeitraum. Für eine Milchkuh mit 650 kg Lebendmasse, 42kg Milch mit 3,4 % Eiweiß und 4,3 % Fett

	VG	KG
<i>Rationskomponenten (kg FM/Tier/d)</i>		
Maissilage	22,7	22,7
Grassilage	16,7	16,7
Heu	0,8	0,8
Getreidemischung	3,3	3,4
Deukalac 234	2,5	2,5
Deuka MK 204- M	2,5	2,5
Sojaextraktionsschrot	1,8	1,8
Rapskuchen	1,3	1,3
Malzkeime	1,1	1,1
Melasse	1,0	1,0
Melasseschnitzel bis 21.06.2008	0,5	0,5
FLAXPRO	0,4	0
Glycerin	0	0,3
Fett Palmit (Calciumseife)	0,05	0,15
Mineralstoffe	0,22	0,22
Kohlensaurer Futterkalk	0,08	0,08
Anti- Mykotox vom 11.09.08 bis 17.11.08	0,07	0,07
Natriumbikarbonat	0,05	0,05
Viehsalz	0,02	0,02
<i>Trockenmasseaufnahme (kg/Tier/Tag)</i>	26,6	26,7
<i>Energie- und Nährstoffaufnahme</i>		
TS (% der FM)	46,8	48,2
XL (g/kg TS)	45,1	41,4
XF (g/kg TS)	148	147
XS (g/kg TS)	195,4	196,1
XZ (g/kg TS)	59,8	59,2
XP (g/kg TS)	170	168
nXP (g/kg TS)	166	163
RNB (gN/Tier und Tag)	+14,3	+19
NEL (MJ/kg TS)	7,2	7,2

Die ruminale Stickstoffbilanz war in beiden Gruppen positiv, wobei in der Kontrollgruppe (+19 gN/Tier und Tag) wesentlich höher war als in der Versuchsgruppe (+14,5 gN/Tier und Tag). Im Vergleich zur vorab kalkulierten Ration trat eine Differenz von +18 gN/Tier und Tag (KG) und +15,5 gN/Tier und Tag (VG) auf. Auffallend war der niedrigere Rohfasergehalt von 15 % in der TM, der damit um 1 % unter dem kalkulierten Wert lag.

In Tabelle 6 sind die Ergebnisse der Untersuchung in Bezug auf Milchleistung und Milchinhaltstoffe dargestellt.

Tab. 6: Ergebnisse der Milchleistung und der Milchinhaltstoffe ($x \pm s$)

Parameter	Versuch	Kontrolle	P
n	147	153	
Milchmenge, kg/d	38,8 \pm 0,32	36,9 \pm 0,33	<0,0001
ECM, kg/d	37,0 \pm 0,32	36,3 \pm 0,32	0,0733
Fettgehalt, %	3,55 \pm 0,04	3,48 \pm 0,04	0,0689
Eiweißgehalt, %	3,38 \pm 0,01	3,44 \pm 0,019	<0,0001
Fett- Eiweiß- Quotient	1,05 \pm 0,01	1,01 \pm 0,01	0,0024
Laktosegehalt, %	4,94 \pm 0,01	4,95 \pm 0,01	0,2182
Harnstoffgehalt, mg/l	286 \pm 2,27	284 \pm 2,24	0,4228

n=Anzahl ausgewerteter Tiere

Insgesamt war ein hohes Leistungsniveau in beiden Gruppen festzustellen. Dabei lag die Milchmenge in der Versuchsgruppe um etwa 2 kg signifikant höher als in der Kontrollgruppe. Jedoch trifft diese Aussage bei Betrachtung der Energie korrigierten Milch (ECM) nicht mehr zu. Hier unterscheiden sich die Gruppen nur noch geringfügig. Der Fettgehalt der Versuchsgruppe ist zwar gering erhöht, jedoch im Vergleich zur Kontrolle nicht signifikant. Auffällig ist ein insgesamt sehr niedriger Fettgehalt. Des Weiteren konnte ein deutlich höherer Eiweißgehalt der Kontrollgruppe beobachtet werden. Als Folge der Unterschiede zwischen VG und KG in Fett und Eiweißgehalten der Milch ist auch der Fett- Eiweißquotient der VG signifikant erhöht. Der Milchharnstoffgehalt war in beiden Gruppen nahezu identisch.

Durch die Nutzung des Testtagsmodells von Ali und Schaeffer (1987) aus Mielenz et al. (2006), Doluschitz et al. (2009) ist es möglich, eine Laktationskurve für VG und KG anzupassen (Abb. 1).

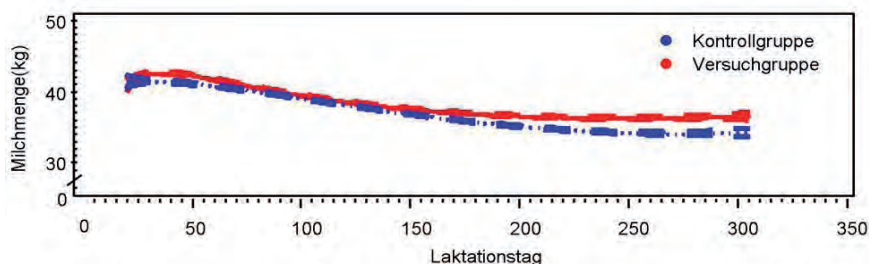


Abb. 1: Laktationskurven der Versuchs- und Kontrollgruppe

Die Ergebnisse der Analysen des Milchfettes sind in Tabelle 7 dargestellt.

 Tab. 7: Gehalte wichtiger Fettsäuren in der Milch ($\bar{x} \pm s$)

Parameter	Versuch	Kontrolle	P
n	143	152	
<i>SAFA</i>			
C10:0	3,69 ± 0,02	3,98 ± 0,02	<0,0001
C12:0	4,28 ± 0,02	4,73 ± 0,02	<0,0001
C14:0	13,03 ± 0,05	13,60 ± 0,05	<0,0001
C16:0	32,62 ± 0,05	32,41 ± 0,05	0,0038
C18:0	8,48 ± 0,04	7,95 ± 0,04	<0,0001
<i>MUFA</i>			
C16:1	1,67 ± 0,004	1,69 ± 0,004	<0,0001
C17:1	0,24 ± 0,001	0,26 ± 0,001	<0,0001
C18:1	20,67 ± 0,079	19,74 ± 0,077	<0,0001
<i>PUFA</i>			
C18:3a (Ω3)	0,43 ± 0,0018	0,38 ± 0,0018	<0,0001
C20:5 (Ω3)	0,039 ± 0,0002	0,041 ± 0,0002	<0,0001
C22:6 (Ω3)	0,012 ± 0,0003	0,013 ± 0,0003	0,0526
C18:2 (Ω6)	2,35 ± 0,0078	2,21 ± 0,0076	<0,0001
C18:3g (Ω6)	0,093 ± 0,0006	0,097 ± 0,0006	<0,0001
C20:3 (Ω6)	0,083 ± 0,0004	0,082 ± 0,0004	0,0838
C20:4 (Ω6)	0,072 ± 0,0011	0,074 ± 0,0011	0,2552

Wie aus Tabelle 7 ablesbar ist, unterscheiden sich die meisten Fettsäuren deutlich in den verschiedenen Gruppen. Dabei fällt auf, dass die grundlegende Zusammensetzung des Milchfettes annähernd gleich ist. Die SAFA (**S**aturated

Fatty Acid) stellen mit rund 70 % den größten Anteil dar, gefolgt von den MUFA (**Monounstaturated Fatty Acid**) mit rund 25 %. Den kleinsten, aber physiologisch wertvollsten Teil vertreten die PUFA (**Polyunsaturated Fatty Acid**) mit ca. 3 %. Dabei scheint der Anteil der einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren in der Versuchsgruppe geringfügig größer zu sein, während der Anteil der gesättigten FS geringfügig kleiner ist.

Die Ergebnisse der Fruchtbarkeitsuntersuchungen (Tab. 8) zeigten, dass sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen herausstellten.

Tab. 8: Ergebnisse der Fruchtbarkeitsuntersuchungen (nicht statistisch gesichert)

Parameter	VG (n)	KG (n)
Verzögerungszeit (d)	28 (78)	29 (74)
Zwischentragezeit (d)	111 (58)	113 (62)
Zwischenkalbezeit (d)	403 (64)	398 (65)
Rastzeit (d)	75 (78)	76 (74)
Zwischenbesamungszeit (d)	39 (62)	29 (61)
Besamungsaufwand	1,9 (58)	2,0 (62)
Besamungsindex	2,7 (58)	2,4 (62)
Erstbesamungserfolg (%)	48,3 (28)	45,2 (28)
Non Return Rate 90 (%)	50,0 (39)	48,7 (36)

4. Schlussfolgerungen

Das Ziel der Untersuchung war es, die Wirkung von Leinsamen auf die Fruchtbarkeit und Leistung von Milchkühen zu testen. In dem hier beschriebenen Praxisversuch wurde über ein Jahr der Einsatz des Futtermittels Falxpro in einer Versuchsgruppe mit 160 Tieren im Vergleich zu einer Kontrollgruppe mit 165 Tieren geprüft. Aus den Ergebnissen wurde ersichtlich, dass extrudierter Leinsamen keinen Einfluss auf die Trockenmasseaufnahme hatte. Sowohl die Versuchs- als auch die Kontrollgruppe nahmen nahezu identische und hohe Mengen (26,6 vs. 26,7 kg) auf. Jedoch war in der Versuchsgruppe eine deutlich höhere statistisch gesicherte Milchleistung von 2 kg (38,8 vs. 36,9 kg) messbar. Der Proteingehalt der Milch war in der Versuchsgruppe signifikant niedriger (3,44 vs. 3,38 %), was u. a. an der hohen Milchleistung („Verdünnungseffekt“) gelegen haben könnte. Dafür war der Milchfettgehalt in der Versuchsgruppe geringfügig höher, jedoch

insgesamt im Vergleich zur Standardmilch relativ niedrig. Ursache dafür könnte ein zu geringer Rohfasergehalt der Ration (nur 15 % der TM) und eine zu starke Vermusung der Total-Mischration im Futterwagen gewesen sein. In Bezug auf den Laktose- und Harnstoffgehalt konnten keine Effekte festgestellt werden. Das Fettsäuremuster der Milch der Versuchsgruppe spiegelte den typisch hohen Gehalt an α -Linolensäure des Leinsamens wieder. Insgesamt führte die Fütterung von Leinsamen zur Erhöhung des Anteils der mehrfach ungesättigten Fettsäuren in der Milch. Das günstige Verhältnis von Omega-6 zu Omega-3-FS von 5:1 in der VG stellt einen physiologischen Nutzen für die Humanernährung dar. Die Auswertung der Fruchtbarkeitsparameter zeigte keinen abgesicherten Effekt des Leinsamens. Alle Fruchtbarkeitskennzahlen waren in den Gruppen ähnlich.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich der Einsatz von extrudiertem Leinsamen ab der Kalbung bis zur sicheren Trächtigkeit positiv auf die Energiekonzentration in der Ration auswirkt und zu einer besseren Milchleistung beiträgt. Weiterhin kann die Produktqualität der Milch hinsichtlich des Omega-6 zu Omega-3 Verhältnisses verbessert werden. Auf die Fruchtbarkeitsparameter zeigte sich kein statistisch abgesicherter Effekt.

5. Literatur

- Basu, 2008: Produktdatenblatt Flaxpro.
- Doluschitz, R., Spilke, J., 2009: Agrarinformatik. UTB Ulmer. Stuttgart.
- GfE, 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG Verlag. Frankfurt/Main.
- Mielenz, N., Spielke, J., Krejkova, 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.

Einsatz von vollfetten thermisch behandelten Sojabohnen in der Ferkelaufzucht

W. Wetscherek, Ch. Mair, K. Schedle

Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie des Interuniversitären Departments für Agrarbiotechnologie, IFA-Tulln der Universität für Bodenkultur Wien

1. Fragestellung

Überprüfung des partiellen Ersatzes von Sojaextraktionsschrot durch 10 % thermisch behandelten, vollfetten Sojabohnen in der Ferkelaufzucht. Dabei wurden für den Lebendmassebereich von 10 bis 30 kg folgende Parameter erhoben:

- Futtermittelaufnahme
- Tageszunahmen
- Futtermittelaufwand je kg Zunahme
- Gesundheitszustand
- Ausfälle

2. Literatur

In der Literatur wird beim Einsatz von rohen vollfetten Sojabohnen im Ferkelaufzuchtsfutter eine dramatische Leistungsminderungen beschrieben. Cook et al. (1988) stellten bei einem kompletten Austausch von Sojaextraktionsschrot durch rohe Sojabohnen bei 7 kg schweren Ferkeln um über 50 % geringere Tageszunahmen und etwa 15 % verringerte Futtermittelaufnahmen fest. Ähnliche Ergebnisse beobachteten Crenshaw und Danielson (1985) bei 23 kg schweren Ferkeln bei einem vollständigen Austausch des Sojaextraktionsschrotes durch rohe vollfette Sojabohnen mit einer 30 % reduzierten Futtermittelaufnahme und 50 % geringeren Tageszunahmen. In einem Ferkelaufzuchtversuch von Preißinger et al. (2010) bewirkte der Einsatz mit 10 % rohen vollfetten Sojabohnen eine Leistungsminderung um etwa 30 %.

Der Einsatz von geringeren Mengen an rohen vollfetten Sojabohnen führte bei

5 % zu einer Leistungsminderung von 3 % bzw. bei 10 % zu einer Verschlechterung des Tageszuwachses um 9,5 %. Die gleichen Dosierungen von getoasteten vollfetten Sojabohnen waren problemlos in der Ferkelaufzucht von 13 bis 30 kg Lebendmasse einsetzbar (Wetscherek, 1994). Eine weitere Untersuchung von Wetscherek und Zollitsch (1996) zeigte beim Einsatz von 10 % getoasteten vollfetten Sojabohnen bessere Tageszuwächse als in der Kontrollgruppe mit Sojaextraktionsschrot. Bei 20 % Einsatz war die Wachstumsleistung um 7 % geringer als in der Kontrollgruppe.

Die Einsetzbarkeit von vollfetten Sojabohnen in der Ferkelfütterung ist stark abhängig von ihrem Gehalt an Trypsininhibitoren. Dieser ist sortenunterschiedlich und sehr stark durch die Art, Temperatur und Dauer der Hitzebehandlung beeinflusst. Dies zeigten beispielsweise Arbeiten von Zarkadas und Wiseman (2005) oder Varga-Visi et al. (2009).

3. Versuchsanstellung

Der Versuch wurde am landwirtschaftlichen Betrieb Hannl durchgeführt. Die Tiere stammten vom Versuchsbetrieb. Für jede Gruppe wurden jeweils 52 Ferkel nach Wurf, Geschlecht und Lebendgewicht ausgesucht und in 2 Boxen mit je 26 Ferkeln aufgeteilt. Je Gruppe wurden 23 Kastraten und 29 weibliche Tiere eingeteilt. Nach dem Absetzen von der Muttersau bekamen alle Ferkel das gleiche Absetzfutter. Der Versuch begann nach der 6. Lebenswoche und endete mit einem Lebendgewicht von etwa 30 kg. Während der Versuchsperiode wurden die Tiere in 4 strohlosen Boxen mit Spaltenböden gehalten.

3.1 Fütterung

Die 10 % thermisch behandelten Sojabohnen in der Versuchsgruppe ersetzen Sojaextraktionsschrot und Sojaöl. Um eine energie- und rohproteinäquivalente Mischung zu erreichen, wurden auch Faserträger in geringen Mengen gegen Getreidekomponenten getauscht. Die Rezepturen werden in der Tabelle 1 bzw. die errechneten Energie- und Nährstoffgehalte in der Tabelle 2 dargestellt. Für den Versuch wurden Sojabohnen der Sorte Merlin verwendet, welche zurzeit in Österreich die am häufigsten in der Tierernährung eingesetzte Sorte darstellt.

Tab. 1: Zusammensetzung der Ferkelaufzuchtfuttermischungen

Futtermittel (%)	V e r s u c h s g r u p p e	
	Kontrolle	Versuch
Sojaextraktionsschrot HP	21,70	13,50
Sojabohnen getoastet	-	10,00
Mais	28,10	28,90
Weizen	20,00	20,00
Gerste	20,00	20,00
Trockenschnitzel	4,00	3,00
Lignocellulose	0,50	0,30
Fixkraft Primus F 500	4,00	4,00
Sojaöl	1,70	0,30

3.2 Datenerhebungen

- Wägungen: Die Ferkel wurden bei der Einstellung gewogen. Weitere Gewichtsfeststellungen erfolgten nach 3 bzw. 6 Versuchswochen.
- Futtererhebung: Die pro Box und Abschnitt gefressenen Futtermengen wurden aufgezeichnet.
- Futterverwertung: Die Relation der je Box und Abschnitt aufgenommenen Futtermengen zur Summe der Lebendgewichtszunahmen der Tiere je Box wurde berechnet.

- Behandlungen, Ausfälle und Krankheiten: Diese wurden mit Tiernummer, Datum, Gewicht und Ursache festgehalten.
- Beurteilung der Durchfallserscheinungen:
 - kein Durchfall.
 - leichter Durchfall: In der Box war sehr weicher Kot zu finden, Tiere waren nicht verschmutzt und machten keinen kranken Eindruck, sondern waren sehr lebendig und aufgeweckt.
 - mittlerer Durchfall: In der Box war flüssiger Kot zu finden, Tiere waren nicht verschmutzt und machten keinen kranken Eindruck, sondern waren lebendig und aufgeweckt.
 - schwerer Durchfall: In der Box war flüssiger Kot zu finden, Tiere waren verschmutzt und machten einen kranken Eindruck.

Tab.2: Errechneter Energie- und Nährstoffgehalt der Ferkelaufzucht-futtermischungen

bezogen auf kg FM	V e r s u c h s g r u p p e	
	Kontrolle	Versuch
Trockensubstanz, g	876	880
Rohprotein, g	173	171
Rohfaser, g	37	37
Rohfett, g	37	41
Polyensäuren, g	22,2	24,6
Umsetzb. Energie (ME), MJ	13,16	13,15
Lysin, g	11,87	11,79
Methionin+Cystin, g	7,02	6,95
Lysin: MJ ME	0,90	0,90
verd.Lysin: MJ ME	0,81	0,79
Calcium, g	7,9	7,8
Phosphor, g	4,9	5,0
verd.Phosphor mit Phytase	3,4	3,5
Natrium, g	1,9	1,9

3.3 Futteranalysen

Die Futtermischungen und die Sojabohnen bzw. der Sojaextraktionsschrot wurden jeweils auf Trockenmasse, Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, Rohasche, Stärke und Zucker untersucht sowie der Gehalt an Umsetzbarer Energie berechnet. Der Gehalt an Trypsininhibitoren wurde in den Sojabohnen bzw. dem Sojaextraktionsschrot bestimmt.

3.4 Statistische Auswertung

Die Lebendmasseentwicklung und die Tageszunahmen wurden mit einer zweifachen Varianzanalyse für die fixen Effekte der Gruppe und des Geschlechtes mit dem Statistikpaket SAS berechnet.

4. Ergebnisse

4.1 Analysenergebnisse

Die in Tabelle 3 gezeigten Nährstoffgehalte von Sojaextraktionsschrot HP bzw. getoasteter vollfetter Sojabohne entsprachen den Werten der Literatur. Die Trypsininhibitoraktivität des Sojaextraktionsschrotes entsprach den Literaturwerten. Die thermische Behandlung der Sojabohne für die Versuchsgruppe bedingte eine Reduktion der Trypsininhibitoraktivität in einen Bereich, der eine gute Einsetzbarkeit des Futtermittels ermöglichte.

Die Analysenergebnisse der Ferkelaufzuchtfuttermischungen entsprachen den errechneten wertbestimmenden Bestandteilen. Zwischen den beiden Mischungen traten keine nennenswerten Unterschiede auf, beide Gruppen wurden daher gleich und laut Bedarfsanforderungen ausreichend mit Nährstoffen versorgt (Tab. 4).

Tab. 3: Analysenergebnisse von Sojaextraktionsschrot bzw. thermisch behandelte Sojabohne

bezogen auf kg FM	Sojaextraktions- schrot	getoastete Sojabohne
Trockensubstanz, g	889	925
Rohprotein, g	457	356
Rohfett, g	27	207
Rohfaser, g	36	83
Rohasche, g	66	48
Stärke, g	65	63
Zucker, g	101	86
ME, MJ	14,50	16,13
Trypsininhibitoraktivität, g/kg	1,7	4,8

Tab. 4: Analysenergebnisse der Ferkelaufzuchtfuttermischungen

bezogen auf kg FM	V e r s u c h s g r u p p e	
	Kontrolle	Versuch
Trockensubstanz, g	899	900
Rohprotein, g	179	177
Rohfett, g	42	48
Rohfaser, g	40	40
Rohasche, g	56	58
Stärke, g	718	427
Zucker, g	37	38
ME, MJ	13,67	13,76

4.2 Zootechnische Leistungen

Während des Versuches traten keine gesundheitlichen Probleme auf und es wurde kein Auftreten von Durchfall registriert. Alle Versuchstiere beendeten den Versuch.

Tab. 5: Statistische Auswertung der zootechnischen Leistung der Aufzuchtferkel

Merkmal	V e r s u c h s g r u p p e		s	P-Wert
	Kontrolle	Versuch		
Lebendmasse, kg				
Versuchsbeginn	10,52	10,67	0,12	0,3715
17. Versuchstag	19,24	19,29	0,23	0,8713
35. Versuchstag	31,39	31,45	0,34	0,9011
Tageszunahmen, g				
1. bis 17. Versuchstag	513	507	8,23	0,6032
17. bis 35. Versuchstag	675	675	9,19	0,9790
1. bis 35. Versuchstag	596	594	7,48	0,7907
Futtermittelverbrauch, kg				
1. bis 17. Versuchstag	1,92	2,01		
17. bis 35. Versuchstag	1,76	1,76		
1. bis 35. Versuchstag	1,82	1,86		

Die Leistungsparameter beider Gruppen lagen auf sehr hohem Niveau. Wie in der Tabelle 5 dargestellt, unterschieden sich die Tageszuwächse und der Futteraufwand nur minimal. Es konnte daher kein negativer Einfluss des Einsatzes von 10 % thermisch behandelte, vollfetter Sojabohne in der Ferkelaufzuchtphase festgestellt werden.

5. Zusammenfassung

Bei der Überprüfung der Einsatzmöglichkeit von thermisch behandelten, vollfetten Sojabohnen in der Ferkelaufzucht im Vergleich zu einer negativen Kontrollgruppe mit Sojaextraktionsschrot im Gewichtsbereich 10 bis 30 kg wurden die Effekte auf die Tageszunahmen und den Futteraufwand sowie den Gesundheitsstatus erhoben.

- Es konnten keine negativen Auswirkungen auf den Gesundheitsstatus der Ferkel festgestellt werden.
- Es traten keine Unterschiede in den Zuwachseleistungen und im Futteraufwand auf.
- Bei einer ausreichenden thermischen Deaktivierung der Trypsininhibitoren ist der Einsatz von bis zu 10 % vollfetten Sojabohnen in der Ferkelaufzucht von 10 bis 30 kg Lebendmasse problemlos möglich.

6. Literaturangaben

Cook, D.A., Jensen, A.H., Fraley, J.R., Hymowitz, T., 1988: Utilization by growing and finishing pigs of raw soybeans of low Kunitz trypsin inhibitor content. *J Anim Sci.* 66, 1686-1691.

Crenshaw, M.A., Danielson, D.M., 1985: Row soybeans for growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 66, 725-730.

Preißinger, W., Linder Mayer, H., Propstmeier, G., Bauer, A., 2010: Rohe Vollfettsojabohnen in der Ferkelaufzucht und Schweinemast. *LfL Tierernährung.*

Varga-Visi, E., Albert, Cs., Loki, K., Csapo, J., 2009: Evaluation of the inactivation of heat sensitive antinutritive factors in fullfat soybean. *Acta Univ. Sapientiae Alimentaria* 2, 1, 111-117.

Wetscherek, W., 1994: Einsatz von rohen bzw. getoasteten Sojabohnen in der

Ferkelaufzucht. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 38, 839-842. Kongressband 1994 Jena, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Wetscherek, W., Zollitsch, W., 1996: Einsatz von thermisch behandelten, vollfetten Sojabohnen in der Ferkelaufzucht. Der Förderungsdienst-Spezial 44, 4, 5-7.

Zarkadas, L.N., Wiseman, J., 2005: Influence of processing of full fat soya beans included in diets for piglets. I. Performance. Animal Feed Science and Technology 118, 109-119.

Untersuchungen zum Einfluss einer gestaffelten Supplementierung von Vitamin B₁₂ und Kobalt zum Mastfutter auf das Wachstum von Broilern und Mastenten

I. Halle

Institut für Tierernährung, FLI, Braunschweig

1. Einleitung

Dem Vitamin B₁₂ kommt im Stoffwechsel zahlreiche Funktionen zu, dabei ist aber der tatsächliche Vitamin-B₁₂-Bedarf des Geflügels nur schwer zu ermitteln, die existierenden Zahlen sind deshalb auch mehr oder weniger geschätzt. Das NRC (1994) gibt für Broiler und Mastenten als Bedarf 10 µg/kg Futter an und die GfE (1999) empfiehlt 9 µg/kg Futter. Der Bedarf an Kobalt (Co) für das Geflügel wurde nicht untersucht, und es gibt keinen Hinweis auf einen Bedarf des Geflügels. Über den Prämix für praktische Broiler-/Entenmastrationen wird dann allerdings neben Vitamin B₁₂ auch oftmals Co dem Fertigfutter zugesetzt. Laut Futtermittelrecht ist eine Vitamin B₁₂ Zufuhr ins Broilerfutter unbegrenzt möglich und 2 mg Co pro kg Fertigfutter sind erlaubt.

Das Ziel der Untersuchungen bestand darin, den Einfluss einer gestaffelten Anreicherung des Futters mit Vitamin B₁₂ und/oder Co auf Wachstumsmerkmale von Broilern und Mastenten zu untersuchen.

1. Material und Methoden

In den zwei Versuchen über 35 bzw. 49 Tagen wurden 768 männliche Broilerküken bzw. 384 männliche Pekingenten in 8 Versuchsgruppen (0/10/20/40 µg Vitamin B₁₂ per kg Futter; 0,65 mg Co; 0,65 mg Co + 10 µg B₁₂; 0,65 mg Co + 20 µg B₁₂; 0,65 mg Co + 40 µg B₁₂) mit jeweils 8 Abteilen eingeteilt. Das Futter wurde zur freien Aufnahme angeboten. Einmal wöchentlich erfolgten eine Futterrückwaage und die Wägung der Tiere. Nach dem Versuchsabschluss wurde aus jedem Abteil ein Broiler bzw. eine Ente, dessen Lebendmasse dem Mittelwert des Abteils der Gruppe entsprach, geschlachtet und die Massen an wertvollen Fleischteilen und Organen ermittelt.

Die zweifaktorielle Auswertung der Merkmale erfolgte unter Verwendung des Programmpaketes SAS (Version 9.1., 2002/2003). Es wurden die signifikanten Unterschiede in den Merkmalen zwischen den Gruppen des Versuches über den multiplen Mittelwertvergleich (Student-Newman-Keuls-Test) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P \leq 0,05$ errechnet.

2. Ergebnisse

Die Erhöhung des Vitamin B₁₂-Gehaltes im Broilerfutter erhöhte statistisch gesichert die tägliche Futterraufnahme von 76 auf 81 g, die Lebendmassezunahme von 52 auf 56 pro Tier und Tag und die Mastendmasse von 1 874 g auf 2 007 g pro Broiler (Tab. 1). Die Supplementierung von 0,65 mg Co pro kg Futter verbesserte die Futterraufnahme und Entwicklung der Broiler (Tab. 2). Die Futtermittelnutzung wurde nur in den ersten zwei Lebenswochen der Broiler durch die Supplementierung von Vitamin B₁₂ bzw. der Kombination aus B₁₂ x Co beeinflusst. Die bessere Entwicklung der Broiler mit Vitamin B₁₂ im Futter führte zu einem höheren Brustfleischertrag und Abdominalfettgehalt im Schlachtkörper.

Tab. 1: Einfluss von B₁₂ auf die Entwicklung der Broiler (Mittelwerte, $P \leq 0,05$)

Vitamin B ₁₂ , µg/kg	0	10	20	40
Futterraufnahme, g/Broiler/Tag	76 c	78 bc	80 ab	81 a
Mastendmasse, g	1 874 c	1 907 bc	1 965 ab	2 007 a

a; b; c; signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bei einem Merkmal sind durch unterschiedliche kleine Buchstaben gekennzeichnet

Tab. 2: Einfluss von Co auf die Entwicklung der Broiler (Mittelwert, $P \leq 0,05$)

Co, mg/kg	0	0,65
Futterraufnahme, g/Broiler/Tag	77 b	80 a
Mastendmasse, g	1 900 b	1 977 a

a; b; signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bei einem Merkmal sind durch unterschiedliche kleine Buchstaben gekennzeichnet

Die Supplementierung von Vitamin B₁₂ oder Cobzw. Vitamin B₁₂+Co zum Entenmastfutter hatte keinen statistisch gesicherten Einfluss auf die Futterraufnahme, die tägliche Lebendmassezunahme und Mastendmasse (Tab. 3). Der Futterraufwand war statistisch gesichert schlechter nach Co-Supplementierung ins Futter (Tab. 4). Die Supplementierung von 20 µg Vitamin B₁₂ per kg oder 0,65 mg Co per kg erhöhte gesichert den Brustfleischertrag bei den Enten.

Tab. 3: Einfluss von B₁₂ auf die Entwicklung der Enten (Mittelwert, P < 0,05)

B ₁₂ , µg/kg	0	10	20	40
Futterraufnahme, g/Ente/Tag	194	190	190	189
Futterraufwand, kg/kg	2,38	2,37	2,34	2,36
Mastendmasse, g	3872	3836	3863	3835
Brustfleisch, g	202 b	212 ab	229 a	224 ab

a; b; signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bei einem Merkmal sind durch unterschiedliche kleine Buchstaben gekennzeichnet

Tab. 4: Einfluss von Co auf die Entwicklung der Enten (Mittelwert, P < 0,05)

Co, mg/kg	0	0,65
Futterraufnahme, g/Ente/Tag	190	192
Futterraufwand, kg/kg	2,33 b	2,39 a
Mastendmasse, g	3875	3828
Brustfleisch, g	209 b	224 a

a; b; signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bei einem Merkmal sind durch unterschiedliche kleine Buchstaben gekennzeichnet

3. Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass 20 µg Vitamin B₁₂ pro kg Futter den Bedarf von Broiler und Pekingente decken und eine zusätzliche Co-Supplementierung keinen additiven Einfluss hat.

5. Literatur

GfE, 1999: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). DLG-Verlag, Frankfurt/Main.

NRC, 1994: Nutrient Requirements of Poultry, National Academy Press, Washington, D.C..

ANKOM Technologie – Innovative Technik für die energetische Bewertung von Biomasse und Futtermitteln

B. Stadler¹, N. Engler²

¹Gesellschaft für Analysentechnik, Salzwedel, ²Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät Technikum Abfallwirtschaft und Bioenergie, Rostock

1. Einleitung

ANKOM Technology ist seit 1986 Hersteller und Entwickler analytischer Geräte für Laboratorien in den Bereichen Umwelt, Landwirtschaft, Biomasse und Lebensmittelindustrie. Die Gerätesysteme auf Basis der ANKOM Filter Bag Technologie können für die Bestimmung der verschiedenen Faserfraktionen (Rohfaser, ADF, NDF), Ballaststoffe, Fett, Verdaulichkeit, mikrobielle Fermentation (anaerob oder aerob) und vieles mehr eingesetzt werden. Die Entwicklung der FBT erfolgte gemeinsam mit Dr. P. J. Van Soest an der Cornell University (US-Bundessaat New York). Dort wurden auch zahlreiche Studien zur Überprüfung der Vergleichbarkeit und Genauigkeit der FBT gegenüber den Standardmethoden nach Van Soest durchgeführt.

Ende 2007 wurde das ANKOM^{RF} Gas Production System zur Messung der Kinetik der Gasbildung bei Gärungs-, Fermentations- und Stoffwechselprozessen eingeführt.

2. ANKOM^{RF} Gas Production System

2.1 Anwendungsbeispiele

- Ermittlung des energetischen Futterwertes (HFT-Test)
- Bestimmung der energetischen Nutzbarkeit von Biomasse (HBT-Test)
- Bestimmung des Gasbildungspotentials von Schlamm und Feststoffen (GB21) nach DIN 38414-S8
- Vergärung organischer Stoffe nach VDI 4630
- Bestimmung der Hefeaktivität



2.2 Ausstattung

Starter-Kit

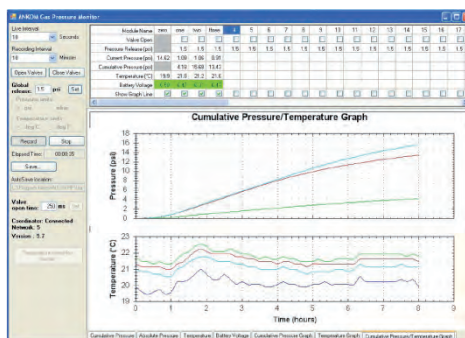
- 5 Gasbildungsmodule mit Druckmesskopf (ohne Glasflaschen)
- 1 Referenzmodul für den Luftdruck
- 1 Basis-Koordinator mit USB-Kabel
- 1 CD mit Treiber und Software
- 6 Akkupacks
- 10-Platz-Ladegerät
- 1 Antennenverlängerungskabel



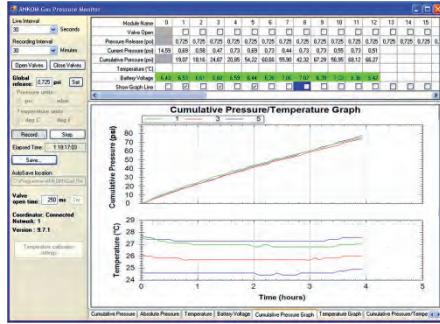
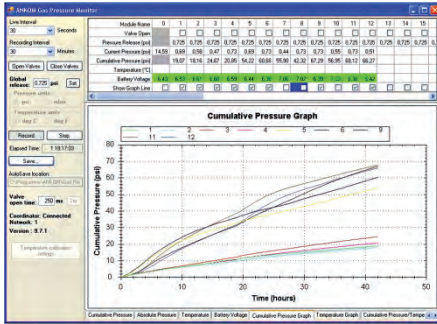
Das System ist modular aufgebaut und erlaubt dem Anwender, die Anzahl der Module auf bis zu 50 Stück zu erweitern. Das Referenz-Modul dient zur Überwachung und Aufzeichnung des Atmosphärendrucks. Dabei wird der gebildete Druck in allen angeschlossenen Modulen überwacht und die Daten zu einem computergesteuerten Tabellenkalkulationsprogramm übertragen. Ausgestattet mit einem Temperatursensor kann jedes Modul auch die Umgebungstemperatur überwachen.

Software

Die Informationen werden mittels Radiofrequenztechnologie (RF) zu einem Computer übertragen. dabei beträgt die RF - Sichtverbindung bis zu 1,6 km. Über die Software kann der Anwender zahlreiche Aspekte der Moduleistung wie Aufnahmeabstand und die Freigabe des Drucks in jedem einzelnen Modul durch interne Ventile steuern. Zusätzlich zur Erfassung der Datenpunkte für Druck und Temperatur, hat die GPM-Software eine automatische Funktion zur Darstellung der Liniendiagramme für den kumulierten Druck und die absolute Temperatur für jedes ausgewählte Modul innerhalb eines Tests.

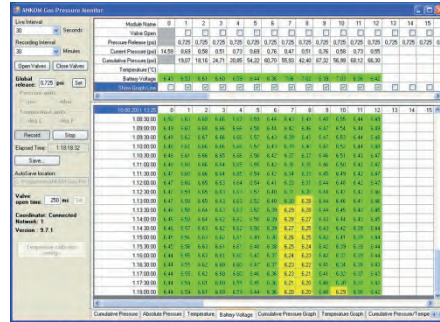
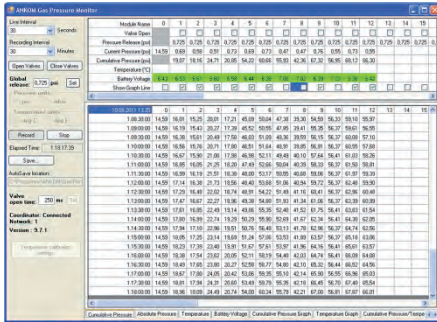


Ergebnisdarstellung durch die Software



Graphik kumulativer Druck

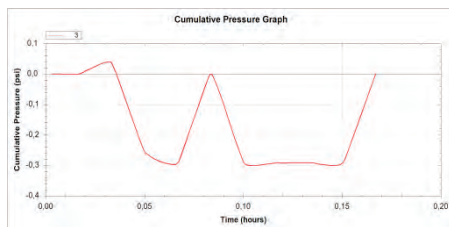
Graphik kumulativer Druck und Temperatur



Daten kumulativer Druck

Anzeige Batterieladung

Das System kann Druckanstieg und Druckabfall (Unterdruck) messen. Die Sensoren messen dabei einen absoluten Druck von 0 bis 30 psi, d. h. bei normalem Luftdruck (absolut ca. 14 psi) können die Sensoren einen Unterdruck bis ca. -16 psi erkennen



3. Leistungsmerkmale

- Modular und erweiterbar bis zu 50 Module
- Individuelle Einstellungen für jedes Modul (Frequenz der Druckmessung,

Druckentlastungspunkte)

- Graphische Darstellung des kumulierten Drucks und des Temperaturverlaufs
- Datenschnittstelle mit Excel zur automatischen Speicherung
- Gasprobeentnahme oder Zugabe von Additiven möglich

4. Vergleichsmessungen zur Ermittlung des Biogasertrags ANKOM^{RF} Gas Production System - Batch-Test VDI 4630

Methoden

Zeitlich parallel wurde der Biogasertrag des Probenmaterials in einem Batch-Test nach VDI 4630 in 30 l Fermentern und im ANKOM^{RF} Gas Production System in 250 ml Modulen ermittelt.



Nach 5 Tagen Versuchsdauer wurde jeweils der Hälfte der Module ein synthetisches Substrat zugefüttert. Die Verwendung des synthetischen Substrats erlaubt den Vergleich des ermittelten Biogasertrags mit dem theoretischen Maximalertrag nach BUSWELL.

Biogasertrag nach 13 Tagen Verweilzeit

ANKOM-Gärefäße	106,3 ml (N)/g _{OTS}
Batch-System nach VDI 4630	108,3 ml (N)/g _{OTS}

5. Untersuchungen des Einflusses von Additiven auf die biologische Aktivität in Biogasfermentern

5.1 Zielstellung

Vergleichende Quantifizierung der biologischen Aktivität von NaWaRo-Biogasfermentern durch Messung des Umsatzes eines standardisierten Substrates unter standardisierten Bedingungen.

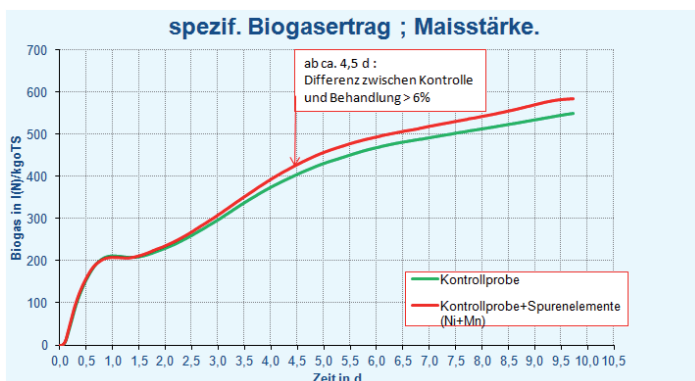
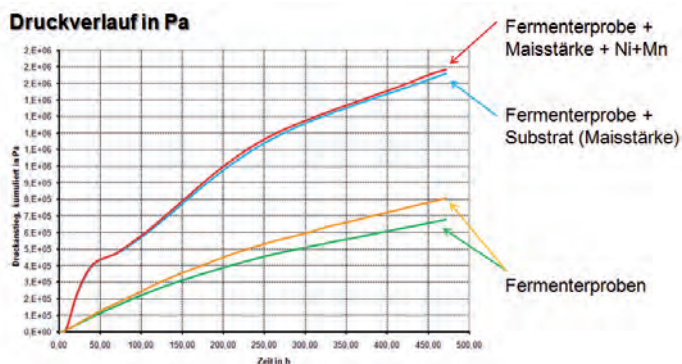
5.2 Versuchsaufbau

- ANKOM Gasbildungsmodule mit 500 ml Nennvolumen
- Probeneinwaage von ca. 15 g oTM, das entspricht ca. 200-400 g Fermenterprobe
- Temperierung bei 38 °C im Wasserbad
- Abstand der Datenerfassung -30 min

Versuchsansatz

Nullprobe	- Fermenterprobe ohne Zusätze
Kontrollversuch	- Fermenterprobe mit Standardsubstrat (Maisstärke)
Behandlungsversuch	- Fermenterprobe mit Standardsubstrat und Additiv (Ni+Mn)

5.3 Ergebnisse



Ab Versuchstag 4 konnte bei der mit Ni und Mn behandelten Fermenterprobe eine signifikante Erhöhung des Biogasertrags gegenüber der unbehandelten Kontrollprobe festgestellt werden.

6. Zusammenfassung

Durch die hohe zeitliche Auflösung der Messung sind mit dem ANKOM^{RF}-System Aussagen zur Kinetik der Biogasbildung ableitbar. Die Verwendung standardisierter Substrate unter ebenfalls standardisierten Versuchs-Randbedingungen ermöglicht es, die biologische Aktivität in Biogasfermentern zu quantifizieren. Des Weiteren können mit der beschriebenen Methode die Auswirkungen von Additiven z. B. Enzymen, Spurenelementen usw. auf den Prozess der Biogasbildung untersucht werden.

Im gezeigten Beispiel wurde durch die einmalige Zugabe von zwei Spurenelementen die Biogasbildung signifikant erhöht. Damit konnte der Nachweis erbracht werden, dass die vergleichsweise geringe biologische Aktivität der Fermenterbiologie mindestens teilweise durch eine entsprechende Unterversorgung begründet ist.

Die Methodik des Tests wurde im Rahmen eines durch die AIF geförderten gemeinsamen Forschungsvorhabens unter Leitung des Fraunhofer Instituts UMSICHT, Oberhausen mit der FH Göttingen, Fachgebiet NEUTec und der Universität Rostock, Lehrstuhl für Abfall- und Stoffstromwirtschaft, weiterentwickelt. Nach den Standorten der drei Projektpartner wurde das Verfahren Oberhausen-Rostock-Göttinger Aktivitätstest, kurz ORGA-Test genannt.

Schnelles Pestizid-Screening im komplexen Matrixproben mittels High ResolutionTOF-MS

J. Wendt

LECO Instrumente GmbH, Mönchengladbach

1. Einleitung

Hochauflösende Massenspektrometrie war lange Zeit eine Domäne von Magnetsektor- und FT-ICR-Massenspektrometer. Durch innovative Weiterentwicklungen können nun auch Flugzeit-Massenspektrometer in diesem Bereich eingesetzt werden.

Hochauflösende TOF-Systeme (HRTOF) werden heutzutage auch verstärkt zur Rückstandsanalytik eingesetzt. Gerade für analytische Fragestellungen, bei denen zielgerichtete (targeted) als auch nicht zielgerichtete (non-targeted) Informationen in einem Analysenlauf aufgenommen werden sollen, ist HRTOF-MS die bevorzugte Technologie.

Die Einsatzmöglichkeiten des neuen hochauflösenden LECO LC-HRTOF bei der Analytik von Pestizidrückständen in komplexen Realproben wurde evaluiert. Der Citius™ LC-HRT basiert auf der von LECO patentierten Folded Flight Path™ (FFP™) Technologie (Abb. 1) und erlaubt die Aufnahme von Full-Scan-Massenspektren mit einer Massenauflösung von 100 000 und einer Massengenauigkeit besser als 1 ppm bei Datenaufnahmeraten von maximal 200 Spektren/sec.

Für die Untersuchungen wurden unterschiedliche Realproben (grüner Tee, Futtermittel und Eiextrakt) mit einem Pestizidstandard (250 Komponenten) gespiked, aufgearbeitet und dann vermessen. Dabei wurden die Datenaufnahmebedingungen (Massenauflösung, Scangeschwindigkeit, Datenakquisition mit externer und interner Kalibrierung, UHPLC Laufzeiten) systematisch variiert und Einflüsse auf die Messergebnisse untersucht. Weiterhin wurden unterschiedliche Auswertestrategien, die von Software zur Verfügung gestellt werden, verglichen.

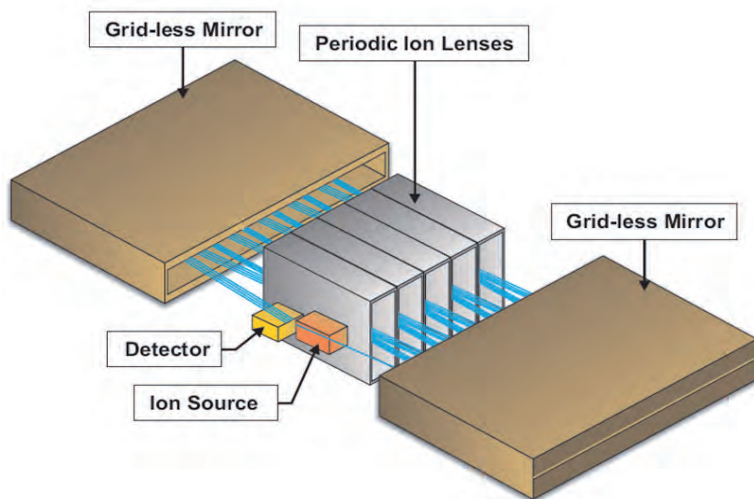


Abb. 1: Multi-Reflecting TOF mit Folded Flight Path™ (FFP™)

2. Probenvorbereitung und LC-HRT Methode

Aufgearbeitete Proben (grüner Tee, Futtermittel und Eiextrakt, gespiked mit Pestizidkonzentrationen von 1, 10 und 100 ng/ml) wurden von der Firma TeLA GmbH Bremerhaven (Dr. Norbert Helle) zur Verfügung gestellt. Die Aufarbeitung wurde mit einem Gerstel MPS-3 mit automatischer SPE Option durchgeführt. Die chromatographische Trennung erfolgte mittels eines Agilent 1290 Infinity UHPLC, an das ein hochauflösendes LECO LC-HRT angeschlossen war. In Abhängigkeit von den verwendeten Säulen wurden zwei LC-Methoden erstellt. LC Methode 1 beinhaltet einen moderaten Gradienten, bei dem die letzte Komponente nach 10 min eluierte. Die LC Methode 2 war deutlich schneller; hier eluierte der letzte Analyt nach 3 min. Neben den beiden LC Methoden wurden weiterhin zwei MS-Methoden erstellt. Die erste arbeitete im High Resolution Modus ($R=50\,000$ (FWHM)) mit einer Datenaufnahmerate von 2,5 Spektren/sec, wobei der gesamte Massenbereich vorgegeben wurde. Für die zweite Methode wurde auf den Ultra High Resolution Modus umgeschaltet ($R=100\,000$ (FWHM)) und die Datenaufnahmerate im Bereich von 5-150 Spektren/sec variiert.

3. Diskussion der Messergebnisse

Abbildung 2 zeigt die zwei übereinandergelegte Totalionenchromatogramme (TIC) von zwei Teeproben, die sich in der zugesetzten Pestizidkonzentration um den Faktor 10 unterschieden. Die TICs sind fast deckungsgleich, was darauf hindeutet, dass Matrixinterferenzen die Pestizidpeaks überdecken.

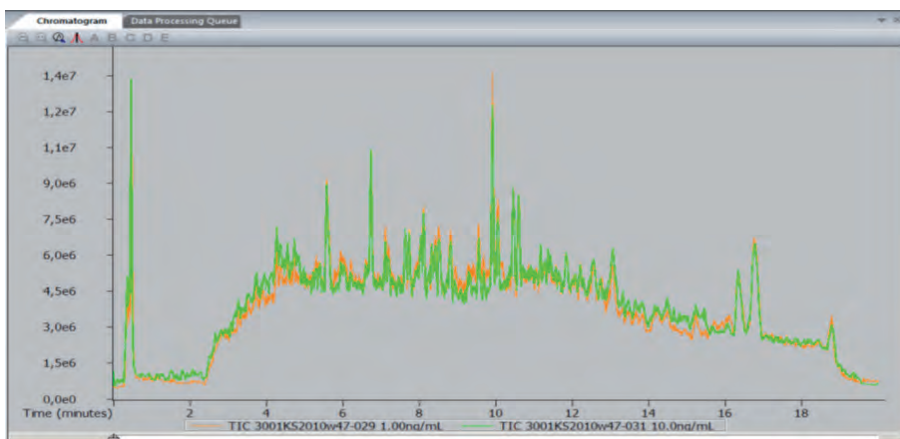


Abb. 2: TIC Overlay zweier Teeproben mit einer Pestizidkonzentration von 1 und 10 ppb

Bei der Target Analyse wird eine Komponentenliste erstellt, die neben dem Substanznamen, die dazugehörige Summenformel, exakte Masse und wahlweise die Retentionszeit enthält. Diese Informationen werden in den Datenauswertungsteil der Software importiert. Der Peak Find Algorithmus generiert damit die entsprechenden extrahierten Ionenspuren und stellt diese dar (Abb. 3).

Für die Teeprobe mit einer Pestizidkonzentration von 10 ppb wurden alle Pestizide gefunden, die im positiven ESI-Modus detektiert wurden. Für den 1 ppb Extrakt sind es noch 88 %. Weiterhin wurde die Massengenauigkeit in Anhängigkeit von der Signalintensität (chromatographische Peakhöhe) untersucht. Die Massengenauigkeit ist sehr stark von der Ionenstatistik abhängig. Dies bedeutet, dass die Streuung der Messungen grösser wird, wenn die Signalintensität abnimmt. Gerade bei der 1 ppb Konzentration macht sich dieser Effekt besonders bemerkbar. Trotzdem ist festzustellen, dass 80 % der 360 Messwerte in einem Fenster von ± 1 ppm liegen und 90 % in einem Fenster von $\pm 1,5$ ppm (Abb. 4).

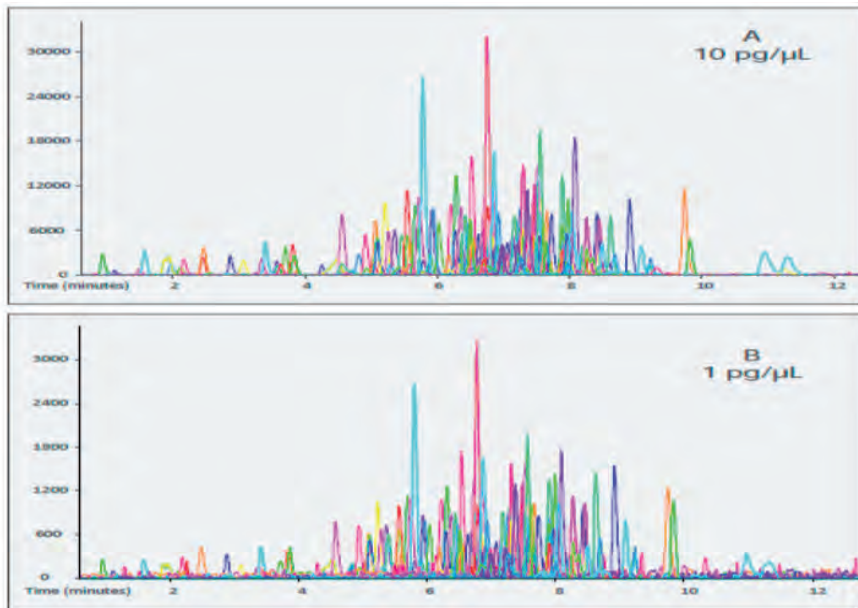


Abb. 3: PeakFind Algorithmus für Targeted Analysis

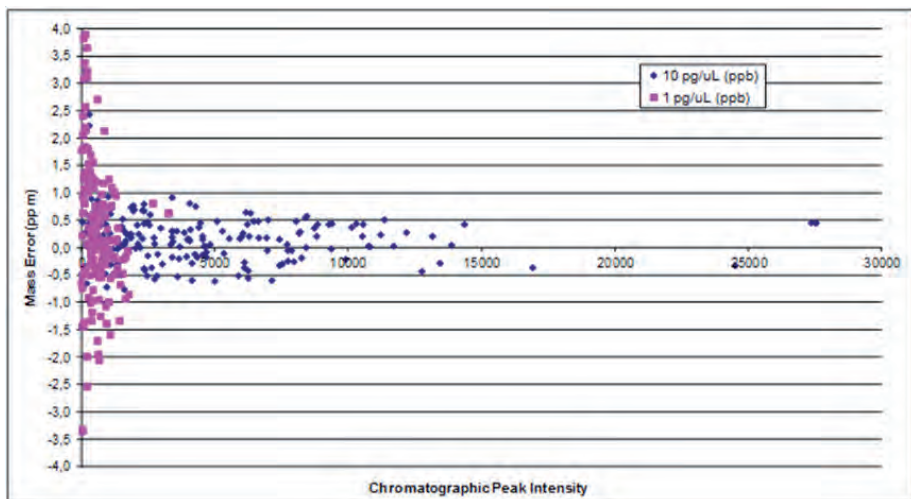


Abb. 4: Massengenauigkeit in Abhängigkeit von der Signalintensität

Informationen über die Verteilung der Massengenauigkeit sind sehr nützlich, um bei der Erstellung von empirischen Formeln aus der akkuraten Masse das optimale Massenfenster vorzugeben. Vorteilhaft erweist sich das hohe Auflösungsvermögen, um isobare Verbindungen zu unterscheiden. Methabenzthiazuron und Carbofuran sind zwei isobare Verbindungen, die unter den gegebenen chromatographischen Bedingungen praktisch koeluiieren. Trotzdem lassen sich die beiden Verbindungen im Ultra High Resolution Modus sowohl über die Spektren als auch die extrahierten Ionenspuren trennen (Abb. 5).

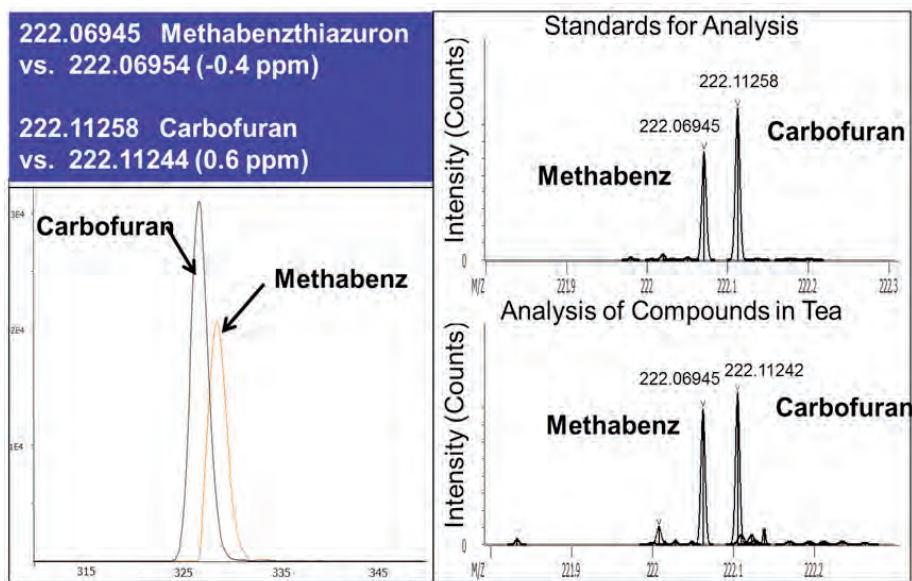


Abb. 5: Auflösung von isobaren Pestiziden

Die Messbedingungen wurden nun geändert und die Matrixproben unter UHPLC-Bedingungen vermessen. Die Analysenzeit reduzierte sich dabei von 10 auf 3 min (Abb. 6). Weiterhin wurden die Datenaufnahmeraten im Bereich von 5-150 Spektren/sec variiert. Diese Erhöhung hat aber keinen signifikanten Einfluss auf Systemkenngrößen wie Massenauflösung, Massengenauigkeit und dynamischen Bereich.

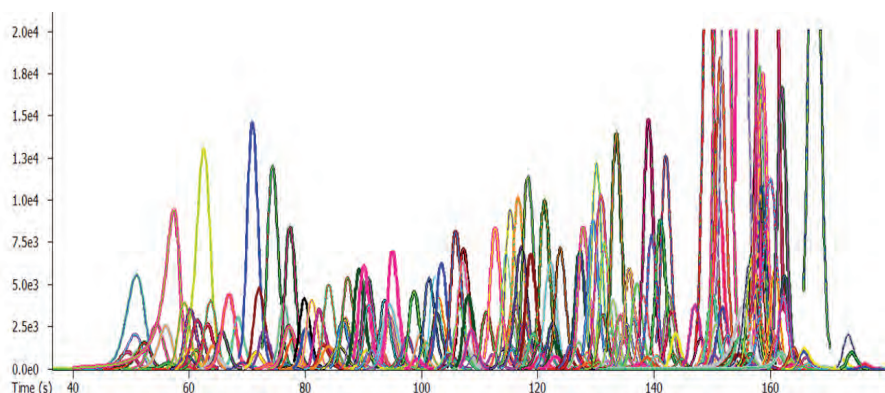


Abb. 6: Ultra-High Speed Analyse von Pestiziden mittels UHPLC

4. Zusammenfassung

Das neue hochauflösenden LECOLC-HRTOF-System basiert auf der patentierten Folded Flight Path™ (FFP™) Technologie (Abb. 1) und erlaubt die Aufnahme von Full-Scan-Massenspektren mit einer Massenauflösung von 100 000 und einer Massengenauigkeit besser als 1 ppm bei Datenaufnahmeraten von maximal 200 Spektren/sec.

Abhängig von der Anzahl der Reflexionen sind drei Betriebsarten möglich, wobei der Standardmodus (HighRes) mit einer Auflösung von 50 000 (FWHM) arbeitet. Um die Eignung des LC-HRTs für die Spurenanalytik in komplexen Matrices zu untersuchen, wurde ein Pestizid-Mix in verschiedenen Matrixproben untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Kombination von hohem Auflösungsvermögen und Massengenauigkeiten <1 ppm auch für anspruchsvolle Target und Non-Target Analysen geeignet ist.

Entwicklung und Validierung einer Analysenmethode zur quantitativen Bestimmung von As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, U, V und Zn in Misch- und Mineralfutter sowie Düngemitteln mittels ICP-MS

M. Leiterer¹, J. Bilz², H.-J. Detlefsen³, R. Klose⁴, H. Meister⁵

¹ Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, ² Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Halle, ³ Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt ITL, Kiel, ⁴ Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Leipzig, ⁵ Landwirtschaftliches Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg, Karlsruhe

1. Einleitung

Sowohl die Düngemittelverordnung als auch die aktuelle Fassung der Futtermittelverordnung enthalten zahlreiche Kennzeichnungsschwellenwerte für Nebenbestandteile, Kennzeichnungsschwellen- und Grenzwerte für Schadstoffe in Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsstoffen sowie Mindestgehalte für Spurennährstoffe in Spurennährstoffdüngern bzw. Höchstgehalte an unerwünschten Stoffen sowie Mindest- und Höchstgehalte für Zusatzstoffe in Futtermitteln. Gleichzeitig werden die Toleranzen der Kennzeichnung bzw. Messunsicherheiten vorgeschrieben. Die Analytik ist gefordert, diese gesetzlichen Vorgaben hinsichtlich der Präzision und Richtigkeit zuverlässig in der Routine abzusichern. Aufgrund ihrer hohen Effizienz kommt dabei dem Einsatz von Multimethoden wie ICP-AES und ICP-MS eine immer größere Bedeutung zu. In der Fachgruppe VIII Umwelt- und Spurenanalytik des VDLUFA werden in Zusammenarbeit mit den Fachgruppen III, Düngemittel und VI, Futtermittel seit vielen Jahren neue Methoden für die amtliche Kontrolle von Düngemitteln und Futtermitteln entwickelt und validiert. Für die Analyse von As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Ti, U und V in Grund- und Mischfuttermitteln mit hohem pflanzlichen Anteil liegt seit 2003 eine VDLUFA-Methode für die ICP-MS vor (VDLUFA, 2003). Zielstellung der vorliegenden Methodenentwicklung und Validierung war die Erweiterung der Anwendung der ICP-MS als hochempfindliche Multielementmethode für die Analyse von Schwermetallen und Spurenelementen in Düngemitteln sowie Misch- und Mineralfuttermitteln. Eine besondere Her-

ausforderung stellt dabei die Auswahl der geeigneten Messisotope und Messbedingungen sowie die Anwendung geeigneter Verfahren zur Reduzierung der bei der ICP-MS-Analyse auftretenden Molekülioneninterferenzen dar. Für die Analyse der Elemente As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, U, V und Zn in Düngemitteln sowie Misch- und Mineralfuttermitteln ergeben sich bei Anwendung der Quadrupol ICP-MS einige relevante Störungen, die entweder mathematisch korrigiert oder mittels geeigneter physikalischer bzw. chemischer Verfahren reduziert werden müssen (Tab. 1).

Tab. 1: Übersicht über die für die Analyse von Mineralfutter- und Düngemitteln relevanten Störungen durch Molekülionen

Analytisotop	störendes Molekülion	empfohlene Korrekturisotope
^{51}V	$^{35}\text{Cl}^{16}\text{O}^+$, $^{37}\text{Cl}^{14}\text{N}^+$	^{35}Cl
^{52}Cr	$^{35}\text{Cl}^{16}\text{O}^+\text{H}^+$	^{35}Cl
^{56}Fe	$^{40}\text{Ar}^{16}\text{O}^{*1}$, $^{40}\text{Ca}^{16}\text{O}^+$	^{43}Ca
^{59}Co	$^{43}\text{Ca}^{16}\text{O}^+$, $^{42}\text{Ca}^{16}\text{O}^+\text{H}^+$	^{43}Ca
^{60}Ni	$^{44}\text{Ca}^{16}\text{O}^+$ $^{23}\text{Na}^{37}\text{Cl}^+$, $^{25}\text{Mg}^{35}\text{Cl}^+$	^{43}Ca ^{35}Cl
^{63}Cu	$^{40}\text{Ar}^{23}\text{Na}^+$	$^{23}\text{Na}^{*2}$
^{65}Cu	$^{32}\text{S}^{33}\text{S}^+$	^{33}S
^{75}As	$^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$, $^{40}\text{Ca}^{35}\text{Cl}^+$	^{35}Cl
^{82}Se	$^{12}\text{C}^{35}\text{Cl}^{35}\text{Cl}^+$	^{35}Cl

*1mathematische Korrektur ist nicht möglich;

*2mathematische Korrektur ist wegen der hohen Signalintensitäten bei $^{23}\text{Na}^+$ schwierig

2. Material und Methoden

Für die Methodenentwicklung und Validierung (Breuer et al., 2008) wurden insgesamt neun unterschiedliche Probenmatrices, vier Probenextrakte und eine Standardlösung ausgewählt (Tab.2).

Tab. 2: In den Validierungsringversuchen eingesetzte Proben

Nr.	Ringversuch	Probenart	Herkunft
1	138/2009/M	Rohphosphat	VDLUFA-Enquete 127/06/M
2	145/2010/M	Düngemittel N-P-K	EU Q1 2009
3	138/2009/M 145/2010/M	Mischfutter, pelletiert (Ferkelaufzuchtfutter)	Bonner Enquete 2003
4	138/2009/M	Mineralfutter f. Rinder	Bonner Enquete 2003
5	145/2010/M	Mineralfutter f. Mast- schweine	Bonner Enquete 2008
6	138/2009/M	Kompost I	Ringversuch Sachsen/Thüringen 2008
7	145/2010/M	Kompost II	Ringversuch Sachsen/Thüringen 2009
8	138/2009/M	Klärschlamm I	Ringversuch Sachsen/Thüringen 1997
9	145/2010/M	Klärschlamm II	Ringversuch Sachsen/Thüringen 2004
10	138/2009/M	Königswasserextrakt Klärschlamm I	
11	138/2009/M	Königswasserextrakt Mischfutter, pelletiert	
12	138/2009/M	Königswasserextrakt Blindwert	
13	138/2009/M	Mikrowellendruckauf- schluss-lösung Klärschlamm I	
14	138/2009/M	Mikrowellendruckauf- schluss-lösung Mischfutter, pelletiert	
15	138/2009/M	Mikrowellendruckauf- schluss-lösung Blindwert	
	Standard	Kontrollstandardlösung Alfa Aesar 40485	

Bei allen Proben handelte es sich um Probenmaterial aus früheren Ringversuchen des VDLUFA bzw. Sachsen/Thüringen (Tab. 2). Zur Überprüfung der Richtigkeit standen damit Referenzwerte, die mit unabhängigen Analysenverfahren

ermittelte wurden, zur Verfügung. Den Teilnehmern der beiden Validierungsringversuche war die Probenherkunft vorher nicht bekannt.

Zur Extraktion der zu analysierenden Elemente aus den Feststoffproben des Ringversuchs 138/2009/M wurden drei unterschiedliche Aufschlussverfahren eingesetzt und die im Ringversuch ermittelten Ergebnisse verglichen.

Im Ringversuch 138/2009/M eingesetzte Extraktionsverfahren:

1. Mikrowellenbeheizter Druckaufschluss (VDLUFA, 2008)
 - Einwaage: 0,5 g (fein gemahlen) / 5 ml konz. HNO_3 + 2 ml konz. H_2O_2
 - mind. 30 min Vorreaktion im offenen Druckaufschlussgefäß
 - 5 min / 100 W → 500 W
 - 15 min 800 W
 - Überführen und Auffüllen mit Reinstwasser auf 15 ml

2. Königswasserextraktion (VDLUFA, 2008)
 - Einwaage: 3 g / 21 ml konz. HCl + 7 ml konz. HNO_3
 - 2 h Kochen unter Rückfluss
 - Überführen und Auffüllen mit Reinstwasser auf 100 ml
 - Filtration über Faltenfilter MN 280¼

3. Extraktion mit konz. HNO_3
 - Einwaage: 3 g / mindestens 25 ml konz. HNO_3
 - 2 h Kochen unter Rückfluss
 - Überführen und Auffüllen mit Reinstwasser auf 100 ml
 - Filtration über Faltenfilter MN 280¼

Für die quantitative Analyse kamen ICP-MS-Geräte unterschiedlicher Hersteller mit verschiedenen Optionen zur Reduzierung der Molekülioneninterferenzen zum Einsatz:

- ohne zusätzliches Bauteil zur Verminderung von Molekülionen-Interferenzen
- Kollisionszelle (CC)
- Dynamische Reaktionszelle (DRC)
- Kollisions-/Reaktionsinterface (CRI)
- Hochauflösende ICP-MS (HR-ICP-MS)

An den beiden Validierungsringversuchen 138/2009/M und 145/2010/M beteiligten sich insgesamt 13 Laboratorien von VDLUFA-Mitgliedern sowie drei Applikationslabore von Geräteherstellern. Die statistische Auswertung erfolgte nach DIN 38402-45:2002-04 mit dem Programm ProLab (quodata).

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Vergleich der eingesetzten Extraktionsverfahren

Der Vergleich der im Ringversuch 138/2009/M eingesetzten drei unterschiedlichen Extraktionsverfahren, Königswasserextraktion, mikro-wellenunterstützte Extraktion mit $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ und Extraktion mit HNO_3 ergab für den mikrowellen-beheizten Druckaufschluss mit $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ (VDLUFA, 2008) die Ergebnisse mit der besten Vergleichbarkeit der Laboratorien untereinander (Tab. 3-7). Bis auf wenige Ausnahmen stimmten die für die drei angewendeten Extraktionsverfahren ermittelten Ringversuchsmittelwerte MW gut überein. Für Sb wurde im Königswasseraufschluss ein 10fach höherer Wert in den Proben Kompost I und Klärschlamm I im Vergleich zum mikrowellenbeheizten Druckaufschluss mit $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}$ und der HNO_3 -Extraktion ermittelt. Die mit dem mikrowellenbeheizten Druckaufschluss erhaltenen etwas höheren Ringanalysenmittelwerte für Chrom in den Proben Kompost I und Klärschlamm I können evtl. auf eine ungenügende Korrektur der durch das Molekülion $^{40}\text{Ar}^{12}\text{C}^+$ hervorgerufenen Interferenz mit dem Messisotop ^{52}Cr zurückzuführen sein. In Abhängigkeit von den Aufschlussbedingungen (Temperatur, Zeit) sind beim mikrowellenbeheizten Druckaufschluss dieser Proben mit erhöhtem organischen Anteil Restkohlenstoffgehalte in den Messlösungen im Bereich von 2-5 % zu erwarten.

Im Königswasseraufschluss wurden für Tl tendenziell niedrigere Analysenwerte im Vergleich zum Mikrowellendruckaufschluss analysiert.

Die nur von drei Laboratorien durchgeführte HNO_3 -Extraktion liefert für die meisten Elemente vergleichbare Ergebnisse. Für die Elemente Tl sowie teilweise für Cr, Mo, V und U wurden etwas niedrigere Werte erhalten.

Tab. 3: Vergleich unterschiedlicher Aufschlussverfahren für die Probe 1 (Rohphosphat)

	Königwasserextraktion			Mikrowellendruckaufschluss HNO ₃ /H ₂ O ₂			HNO ₃ -Extraktion			VDLUFA- Enquete 127/06/M
	n	MW	HORRAT _R	n	MW	HORRAT _R	n	MW	MW	
As mg/kg	13	18,2 ± 1,2	1,17	12	17,9 ± 1,5	1,43	3	18,56 ± 0,40	-	
Be mg/kg	11	2,04 ± 0,20	1,19	9	2,06 ± 0,17	0,89	2	2,101 ± 0,048	-	
Bi µg/kg	5	60 ± 43	3,34	6	40 ± 10	1,25	2	32 ± 17	-	
Co mg/kg	12	0,73 ± 0,16	2,29	11	0,71 ± 0,11	1,57	3	0,608 ± 0,078	-	
Fe g/kg	7	1,37 ± 0,20	3,59	7	1,50 ± 0,17	2,85	2	1,58 ± 0,31	-	
Mo mg/kg	13	2,24 ± 0,24	1,37	11	2,18 ± 0,26	1,38	3	2,136 ± 0,048	-	
Sb mg/kg	11	2,67 ± 0,27	1,25	9	2,67 ± 0,32	1,32	-	- ± -	-	
Se mg/kg	11	1,97 ± 0,79	4,62	9	1,87 ± 0,50	2,79	3	2,39 ± 0,69	-	
Tl µg/kg	8	83 ± 22	1,68	8	97,7 ± 9,5	0,62	2	91 ± 23	-	
U mg/kg	12	143,8 ± 8,2	1,37	11	141 ± 11	1,76	3	144,9 ± 6,3	157,5	
V mg/kg	12	253,8 ± 8,4	0,87	12	248 ± 14	1,40	3	276 ± 33	-	
Cd mg/kg	13	11,16 ± 0,71	1,04	12	11,18 ± 0,83	1,17	3	12,03 ± 0,72	-	
Cr mg/kg	13	269 ± 11	1,08	12	263 ± 14	1,33	3	289 ± 10	-	
Cu mg/kg	11	33,7 ± 2,2	1,17	10	34,9 ± 1,9	0,93	2	36,4 ± 3,3	-	
Ni mg/kg	13	25,5 ± 2,1	1,54	12	26,4 ± 1,7	1,18	3	28,6 ± 4,8	-	
Pb mg/kg	13	4,17 ± 0,48	1,64	12	4,11 ± 0,19	0,66	3	4,21 ± 0,25	-	
Zn mg/kg	11	207 ± 24	2,73	10	217 ± 18	1,86	2	242 ± 13	-	

Tab. 4: Vergleich unterschiedlicher Aufschlussverfahren für die Probe 3 (Mischfutter, pelletiert - Ferkelaufzuchtfutter/Alleinfutter)

	Königswasserextraktion			Mikrowellendruckaufschluss HNO ₃ /H ₂ O ₂			HNO ₃ -Extraktion			Bonner Enquete 2003		
	n	MW	HORRAT _R	n	MW	HORRAT _R	n	MW	n	MW	n	MW
As mg/kg	9	0,222 ± 0,072	2,47	12	0,182 ± 0,022	1,00	3	0,164 ± 0,022	-	-	-	-
Be mg/kg	3	0,018 ± 0,018	3,12	4	0,0100 ± 0,0020	0,68	-	-	-	-	-	-
Bi µg/kg	4	19 ± 24	4,35	4	6,1 ± 4,6	2,33	-	-	-	-	-	-
Co mg/kg	11	0,605 ± 0,026	0,45	12	0,600 ± 0,038	0,67	3	0,67 ± 0,11	-	-	-	-
Fe g/kg	6	0,349 ± 0,028	1,64	8	0,366 ± 0,032	2,03	2	0,263 ± 0,022	-	-	-	-
Mo mg/kg	11	1,126 ± 0,088	0,85	12	1,095 ± 0,050	0,52	3	1,06 ± 0,80	-	-	-	-
Sb mg/kg	5	0,050 ± 0,030	2,67	7	0,0240 ± 0,0060	1,28	-	-	-	-	-	-
Se mg/kg	7	0,58 ± 0,18	2,38	9	0,468 ± 0,046	0,86	3	0,53 ± 0,15	-	-	-	-
Tl µg/kg	4	3,1 ± 2,0	1,76	4	2,9 ± 2,5	2,27	2	1,1 ± 3,6	-	-	-	-
U mg/kg	9	0,146 ± 0,026	1,41	10	0,149 ± 0,024	1,20	3	0,151 ± 0,042	-	-	-	-
V mg/kg	8	0,85 ± 0,34	3,67	12	1,02 ± 0,10	1,12	3	0,83 ± 0,16	-	-	-	-
Cd mg/kg	10	0,0350 ± 0,0060	0,92	12	0,0340 ± 0,0040	0,67	3	0,0350 ± 0,0080	-	-	-	-
Cr mg/kg	9	2,68 ± 0,92	3,77	11	2,47 ± 0,50	2,45	3	1,70 ± 0,65	-	-	-	-
Cu mg/kg	10	158 ± 13	1,86	11	157 ± 14	2,08	2	163 ± 53	-	-	-	-
Ni mg/kg	11	1,83 ± 0,25	1,58	12	1,98 ± 0,18	1,15	3	1,98 ± 0,48	-	-	-	-
Pb mg/kg	11	0,263 ± 0,032	1,05	11	0,251 ± 0,022	0,84	3	0,262 ± 0,086	-	-	-	-
Zn mg/kg	10	184 ± 24	2,87	11	167 ± 16	2,18	2	162 ± 23	-	-	-	-

Tab. 5: Vergleich unterschiedlicher Aufschlussverfahren für die Probe 4 (Mineralfutter für Rinder)

	Königswasserextraktion			Mikrowellendruckaufschluss HNO ₃ /H ₂ O ₂			HNO ₃ -Extraktion			Bonner Enquete 2003	
	n	MW	HORRAT _R	n	MW	HORRAT _R	n	MW	n	MW	MW
As mg/kg	10	1,99 ± 0,33	1,84	11	1,90 ± 0,28	1,97	3	1,70 ± 0,12	3	1,70 ± 0,12	1,64
Be mg/kg	7	0,111 ± 0,012	0,76	9	0,114 ± 0,034	2,01	2	0,1160 ± 0,0080	2	0,1160 ± 0,0080	-
Bi µg/kg	5	19,0 ± 9,8	2,02	6	16,8 ± 8,7	2,19	2	13,0 ± 6,3	2	13,0 ± 6,3	-
Co mg/kg	12	17,10 ± 0,97	0,96	13	16,5 ± 1,3	1,42	3	16,92 ± 0,61	3	16,92 ± 0,61	15,5
Fe g/kg	6	3,12 ± 0,28	2,40	8	3,08 ± 0,29	2,85	2	2,85 ± 0,70	2	2,85 ± 0,70	3,33
Mo mg/kg	10	0,566 ± 0,064	1,04	11	0,515 ± 0,058	1,10	2	0,440 ± 0,042	2	0,440 ± 0,042	-
Sb mg/kg	6	0,140 ± 0,016	0,72	7	0,126 ± 0,060	2,88	-	- ± -	-	- ± -	-
Se mg/kg	10	20,5 ± 1,5	1,16	11	19,3 ± 3,3	2,78	3	20,4 ± 5,6	3	20,4 ± 5,6	20,4
Tl µg/kg	4	14,5 ± 3,0	0,82	6	15,0 ± 2,4	0,69	2	9,94 ± 0,21	2	9,94 ± 0,21	-
U mg/kg	10	0,276 ± 0,044	1,31	11	0,284 ± 0,046	1,41	3	0,259 ± 0,026	3	0,259 ± 0,026	-
V mg/kg	11	7,02 ± 0,91	1,82	13	7,29 ± 0,67	1,42	3	7,19 ± 0,20	3	7,19 ± 0,20	-
Cd mg/kg	10	0,088 ± 0,010	0,85	11	0,089 ± 0,014	1,10	3	0,0910 ± 0,0020	3	0,0910 ± 0,0020	0,086
Cr mg/kg	11	2,89 ± 0,66	2,79	13	2,94 ± 0,50	2,27	3	2,50 ± 0,39	3	2,50 ± 0,39	-
Cu mg/kg	10	574 ± 40	1,86	11	579 ± 40	1,92	2	590 ± 162	2	590 ± 162	581
Ni mg/kg	12	5,1 ± 1,1	3,09	13	5,04 ± 0,67	1,94	3	4,78 ± 0,15	3	4,78 ± 0,15	-
Pb mg/kg	11	1,39 ± 0,13	1,02	12	1,29 ± 0,13	1,19	3	1,363 ± 0,032	3	1,363 ± 0,032	1,17
Zn mg/kg	9	5287 ± 360	2,36	10	5486 ± 387	2,64	2	5335 ± 1229	2	5335 ± 1229	5567

Tab. 6: Vergleich unterschiedlicher Aufschlussverfahren für die Probe 6 (Kompost I)

	Königswasserextraktion			Mikrowellendruckaufschluss HNO ₃ /H ₂ O ₂			HNO ₃ -Extraktion			Ringanalyse SH/TH 2008		
	n	MW	HORRAT _R	n	MW	HORRAT _R	n	MW	n	MW	n	MW
As mg/kg	12	4,86 ± 0,28	0,83	12	5,06 ± 0,30	0,85	3	4,54 ± 0,38	-	-	-	-
Be mg/kg	9	0,73 ± 0,11	1,33	9	0,80 ± 0,14	1,57	2	0,641 ± 0,094	-	-	-	-
Bi µg/kg	8	218 ± 40	1,82	9	200 ± 17	0,66	2	177,2 ± 7,6	-	-	-	-
Co mg/kg	13	6,17 ± 0,33	0,80	12	6,31 ± 0,40	0,92	3	5,91 ± 0,44	-	-	-	-
Fe g/kg	7	13,09 ± 0,73	2,03	6	12,8 ± 1,7	4,30	2	12,5 ± 1,0	-	-	-	-
Mo mg/kg	12	1,191 ± 0,094	0,92	11	0,88 ± 0,11	1,26	3	0,821 ± 0,086	-	-	-	-
Sb mg/kg	9	1,04 ± 0,15	1,34	6	0,100 ± 0,036	2,06	-	- ± -	-	-	-	-
Se mg/kg	6	0,45 ± 0,23	3,45	7	0,27 ± 0,10	2,59	3	0,295 ± 0,048	-	-	-	-
Tl µg/kg	10	163 ± 30	1,39	9	233 ± 21	0,70	3	134,1 ± 4,5	-	-	-	-
U mg/kg	11	0,83 ± 0,10	1,20	10	0,91 ± 0,10	1,10	3	0,623 ± 0,024	-	-	-	-
V mg/kg	12	22,5 ± 2,0	1,54	12	28,7 ± 2,8	1,76	3	18,4 ± 2,6	-	-	-	-
Cd mg/kg	12	0,580 ± 0,038	0,68	11	0,564 ± 0,048	0,82	3	0,58 ± 0,10	-	-	-	-
Cr mg/kg	13	30,0 ± 2,4	1,56	12	39,0 ± 3,2	1,56	3	25,9 ± 3,8	-	-	-	-
Cu mg/kg	11	49,7 ± 3,1	1,21	10	51,0 ± 2,1	0,84	2	47,5 ± 5,5	-	-	-	-
Ni mg/kg	13	21,3 ± 1,2	1,00	12	21,8 ± 1,6	1,30	3	20,3 ± 3,4	-	-	-	-
Pb mg/kg	13	42,0 ± 2,0	0,98	12	42,4 ± 1,8	0,83	3	44,0 ± 3,4	-	-	-	-
Zn mg/kg	11	207,1 ± 8,0	0,99	10	208 ± 10	1,14	2	212 ± 16	-	-	-	-

Tab. 7: Vergleich unterschiedlicher Aufschlussverfahren für die Probe 8 (Klärschlamm I)

	Königswasserextraktion			Mikrowellendruckaufschluss HNO ₃ /H ₂ O ₂			HNO ₃ -Extraktion			Ringanalyse SH/TH 1997	
	n	MW	HORRAT _R	n	MW	HORRAT _R	n	MW	n	MW	MW
As mg/kg	13	16,21 ± 0,67	0,76	12	15,60 ± 0,96	1,04	3	14,27 ± 0,65			-
Be mg/kg	10	1,10 ± 0,19	1,79	9	1,49 ± 0,23	1,55	2	0,98 ± 0,22			-
Bi µg/kg	11	5295 ± 453	1,15	10	4918 ± 318	0,83	2	4722 ± 76			-
Co mg/kg	13	15,00 ± 0,70	0,8	12	15,23 ± 0,83	0,91	3	15,0 ± 2,1			-
Fe g/kg	7	27,7 ± 1,9	2,79	7	23,2 ± 5,6	9,16	2	25,3 ± 1,1			-
Mo mg/kg	13	3,4 ± 3,2	0,92	11	2,75 ± 0,46	2,03	3	2,86 ± 0,18			-
Sb mg/kg	10	6,90 ± 0,52	1,00	7	0,59 ± 0,09	1,31	-	- ± -			-
Se mg/kg	8	1,55 ± 0,66	4,09	8	1,40 ± 0,17	1,15	3	1,59 ± 0,21			-
Tl µg/kg	10	233,5 ± 30,3	1,05	8	368 ± 46	1,46	3	215,8 ± 5,1			-
U mg/kg	12	2,34 ± 0,14	0,80	11	2,39 ± 0,25	1,24	3	2,08 ± 0,12			-
V mg/kg	12	43,1 ± 4,5	2,05	12	57,1 ± 5,4	1,90	3	39,0 ± 4,4			-
Cd mg/kg	13	12,40 ± 0,39	0,54	12	12,40 ± 0,61	0,80	3	12,4 ± 1,4			12,1
Cr mg/kg	13	110,1 ± 5,8	1,25	12	121,8 ± 7,5	1,40	3	110,6 ± 5,2			107,8
Cu mg/kg	11	222 ± 14	1,53	10	215,6 ± 9,2	0,98	2	216,5 ± 2,4			215
Ni mg/kg	13	328 ± 14	1,22	12	324 ± 16	1,30	3	341 ± 24			327
Pb mg/kg	13	171,4 ± 4,4	0,68	12	166 ± 11	1,53	3	173,4 ± 3,0			173
Zn mg/kg	11	1630 ± 51	1,69	10	1642 ± 99	1,83	2	1677 ± 97			1648

3.2 Vergleich der Präzision zwischen Extraktion und Messung

Anhand der Proben Mischfutter (Probe 3) sowie Klärschlamm I (Probe 8) wurden die Anteile von Extraktion und ICP-MS-Messung an der Messunsicherheit des Gesamtverfahrens untersucht. Die Königswasserextrakte der beiden Proben (Proben 10 und 11) und die HNO₃/H₂O₂-Mikrowellendruckaufschlusslösungen (Proben 13 und 14) inklusive der zugehörigen Blindwertlösungen (Proben 12 und 15) wurden im Labor der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft hergestellt und an alle Ringversuchsteilnehmer zur Messung verschickt. Der Vergleich der erhaltenen Ringversuchsmittelwerte mit den Ringversuchsmittelwerten der Gesamtanalytik (Extraktion/Aufschluss + Messung durch die Ringversuchsteilnehmer) ergab keine signifikanten Unterschiede (Tab. 8 und 9).

Tab. 8: Vergleich fertiger Aufschlusslösung - Aufschluss durch Ringversuchsteilnehmer für den mikrowellenunterstützten Druckaufschluss - Mischfutter, pelletiert

	fertige Aufschlusslösung				Aufschluss durch Teilnehmer			
	n	MW	V _R in %	HORRAT _R	n	MW	V _R in %	HORRAT _R
As mg/kg	14	0,18	24,5	1,19	12	0,18	20,6	1
Be mg/kg	5	0,012	42,5	1,38	4	0,01	21,4	0,68
Bi µg/kg	5	3,44	71,6	1,92	4	6,06	79,7	2,33
Co mg/kg	14	0,63	11	0,65	12	0,6	11,6	0,67
Fe g/kg	9	0,35	10	1,52	8	0,37	13,3	2,03
Mo mg/kg	14	1,13	5,2	0,34	12	1,1	8,2	0,52
Sb mg/kg	8	0,025	30,2	1,09	7	0,024	35,7	1,28
Se mg/kg	12	0,47	13,2	0,74	9	0,47	15,3	0,86
Tl µg/kg	6	3,09	44,9	1,19	4	2,85	87	2,27
U mg/kg	13	0,146	15,6	0,73	10	0,149	25,4	1,2
V mg/kg	14	1,04	10,5	0,66	12	1,02	17,8	1,12
Cd mg/kg	13	0,033	16,3	0,62	12	0,034	17,8	0,67
Cr mg/kg	13	4,22	11,8	0,92	11	2,47	34	2,45
Cu mg/kg	12	151	8,7	1,17	11	157	15,35	2,08
Ni mg/kg	14	1,82	13,8	0,95	12	1,98	16,5	1,15
Pb mg/kg	13	0,227	8,6	0,43	11	0,251	16,4	0,84
Zn mg/kg	12	159	9,8	1,31	11	167	16	2,18

Überraschend war, dass bis auf wenige Ausnahmen auch keine signifikanten Unterschiede in der Vergleichspräzision erhalten wurden. Für den mikrowellenunterstützten Druckaufschluss mit $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ der Mischfutterprobe war die Vergleichsstandardabweichung beim Aufschluss durch die Teilnehmer für Eisen ($\text{HORRAT}_R = 2,03$), Chrom ($\text{HORRAT}_R = 2,45$), Kupfer ($\text{HORRAT}_R = 2,08$) und Zink ($\text{HORRAT}_R = 2,18$) etwas erhöht (Tab. 8). Bei der Klärschlammprobe I ergab sich für Molybdän ein leicht erhöhter VR-Wert ($\text{HORRAT}_R = 2,03$), während im Falle der Analyse der verschickten, fertigen Aufschlusslösung bei Selen und Zink erhöhte VR-Werte ($\text{HORRAT}_R = 2,47$ bzw. $2,27$) im Ringversuch ermittelt wurden (Tab. 9). Daraus kann geschlossen werden, dass der Hauptanteil der Messunsicherheit für die Vergleichbarkeit der Laboratorien untereinander durch die ICP-MS-Messung verursacht wird.

Tab. 9: Vergleich fertiger Aufschlusslösung - Aufschluss durch Ringversuchsteilnehmer für den mikrowellenunterstützten Druckaufschluss – Klärschlamm I

	fertige Aufschlusslösung				Aufschluss durch Teilnehmer			
	n	MW	V_R in %	HORRAT_R	n	MW	V_R in %	HORRAT_R
As mg/kg	14	16,3	9,3	0,89	12	15,6	11	1,04
Be mg/kg	12	1,39	14,1	0,93	9	1,49	23,2	1,55
Bi $\mu\text{g}/\text{kg}$	12	5131	5	0,4	10	4918	10,4	0,83
Co mg/kg	14	15,8	12,2	1,16	12	15,2	9,6	0,91
Fe g/kg	9	26,4	9,3	2,68	7	23,2	32,2	9,16
Mo mg/kg	13	3,09	10,8	0,8	11	2,75	27,7	2,03
Sb mg/kg	10	0,56	12,8	0,74	7	0,59	22,6	1,31
Se mg/kg	12	1,29	37,8	2,47	8	1,4	17,4	1,15
Tl $\mu\text{g}/\text{kg}$	12	330	11,1	0,59	8	368	18,1	0,98
U mg/kg	13	2,41	10,9	0,78	11	2,39	17,3	1,24
V mg/kg	14	52,4	7,3	0,84	12	57,1	16,5	1,9
Cd mg/kg	14	12,8	6,6	0,61	12	12,4	8,7	0,8
Cr mg/kg	14	122,6	6,9	0,89	12	121,8	10,9	1,4
Cu mg/kg	12	219	7,9	1,12	10	216	7	0,98
Ni mg/kg	14	333	10,6	1,59	12	324	8,7	1,3
Pb mg/kg	14	175	8,5	1,17	12	166	11,3	1,53
Zn mg/kg	11	1609	11,9	2,27	10	1642	9,6	1,83

Tab.10: Empfohlene Messisotope, ausgewählte Isobare und Molekülionenstörungen (nach May und Wiedmeyer, 1989)

Element	Isotop	Störung durch
As	⁷⁵ As	⁴⁰ Ar ³⁵ Cl ⁺ , ⁴⁰ Ca ³⁵ Cl ⁺ , ³⁶ Ar ³⁹ K ⁺ , ⁵⁹ Co ¹⁶ O ⁺
Be	⁹ Be	
Bi	²⁰⁹ Bi	
	¹¹⁰ Cd	¹¹⁰ Pd ⁺
Cd	¹¹¹ Cd	⁹⁵ Mo ¹⁶ O ⁺ , ⁹⁴ Mo ¹⁶ O ¹ H ⁺ , ⁹⁴ Zr ¹⁶ O ¹ H ⁺
	¹¹² Cd	¹¹² Sn ⁺ , ⁹⁶ Ru ¹⁶ O ⁺
	¹¹⁴ Cd	¹¹⁴ Sn ⁺ , ⁹⁸ Mo ¹⁶ O ⁺ , ⁹⁸ Ru ¹⁶ O ⁺
Co	⁵⁹ Co	⁴³ Ca ¹⁶ O ⁺ , ⁴² Ca ¹⁶ O ¹ H ⁺ , ²⁴ Mg ³⁵ Cl ⁺ , ³⁶ Ar ²³ Na ⁺
Cr	⁵² Cr	⁴⁰ Ar ¹² C ⁺ , ³⁵ Cl ¹⁶ O ¹ H ⁺ , ³⁶ Ar ¹⁶ O ⁺ , ³⁶ S ¹⁶ O ⁺
	⁵³ Cr	³⁷ Cl ¹⁶ O ⁺ , ⁴⁰ Ar ¹³ C ⁺
Cu	⁶³ Cu	⁴⁰ Ar ²³ Na ⁺ , ³¹ P ¹⁶ O ¹⁶ O ⁺ , ²⁶ Mg ³⁷ Cl ⁺ , ⁴⁷ Ti ¹⁶ O ⁺
	⁶⁵ Cu	³² S ³³ S ⁺ , ⁴⁰ Ar ²⁵ Mg ⁺ , ⁴⁹ Ti ¹⁶ O ⁺
Fe	⁵⁴ Fe	⁵⁴ Cr ⁺ , ⁴⁰ Ar ¹⁴ N ⁺ , ³⁸ Ar ¹⁶ O ⁺ , ³⁷ Cl ¹⁶ O ¹ H ⁺
	⁵⁶ Fe	⁴⁰ Ar ¹⁶ O ⁺ , ⁴⁰ Ca ¹⁶ O ⁺
Mo	⁹⁵ Mo	⁴⁰ Ar ³⁹ K ¹⁶ O ⁺
	⁹⁸ Mo	⁹⁸ Ru ⁺ , ⁴¹ K ⁴¹ K ¹⁶ O ⁺
Ni	⁵⁸ Ni	⁵⁸ Fe ⁺ , ²³ Na ³⁵ Cl ⁺ , ⁴⁰ Ar ¹⁸ O ⁺ , ⁴² Ca ¹⁶ O ⁺ , ⁴⁰ Ca ¹⁸ O ⁺
	⁶⁰ Ni	⁴⁴ Ca ¹⁶ O ⁺ , ²³ Na ³⁷ Cl ⁺ , ²⁵ Mg ³⁵ Cl ⁺
	²⁰⁶ Pb	
Pb	²⁰⁷ Pb	
	²⁰⁸ Pb	
Sb	¹²¹ Sb	
	¹²³ Sb	
	⁷⁸ Se	³⁸ Ar ⁴⁰ Ar ⁺ , ³⁸ Ar ⁴⁰ Ca ⁺
Se	⁸⁰ Se	⁸⁰ Kr ⁺ , ⁴⁰ Ar ⁴⁰ Ar ⁺
	⁸² Se	¹² C ³⁵ Cl ³⁵ Cl ⁺
	²⁰³ Tl	
Tl	²⁰⁵ Tl	
U	²³⁸ U	
V	⁵¹ V	³⁵ Cl ¹⁶ O ⁺ , ³⁷ Cl ¹⁴ N ⁺
	⁶⁴ Zn	⁴⁸ Ti ¹⁶ O ⁺ , ³² S ³² S ⁺ , ³² S ¹⁶ O ¹⁶ O ⁺ , ⁴⁸ Ca ¹⁶ O ⁺ , ³⁶ Ar ¹⁴ N ¹⁴ N ⁺
Zn	⁶⁶ Zn	⁵⁰ Ti ¹⁶ O ⁺ , ³² S ³⁴ S ⁺ , ³⁴ S ¹⁶ O ¹⁶ O ⁺ , ³² S ¹⁶ O ¹⁸ O ⁺
	⁶⁸ Zn	³⁴ S ³⁴ S ⁺ , ³⁴ S ¹⁶ O ¹⁸ O ⁺ , ³² S ¹⁸ O ¹⁸ O ⁺ , ⁴⁰ Ar ¹⁴ N ¹⁴ N ⁺ , ³⁶ Ar ³² S ⁺

3.3 Interferenzen und Matrixeffekte

Für die Analyse der Elemente As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, U, V und Zn in Düngemittel sowie Misch- und Mineralfuttermitteln werden die in Tab. 10 enthaltenen Messisotope empfohlen.

Für die quantitative Bestimmung von Eisen und Antimon konnte in beiden Validierungsringversuchen keine ausreichend gute Präzision erreicht werden. Im Falle des Eisens lagen acht von zehn und im Falle des Antimons sechs von zehn der aus den Ringversuchsdaten berechneten Horwitz-Koeffizienten $HORRAT_R$ über dem international für die Bewertung von Ringversuchen anerkannten Wert von 2 (Tab. 11). Beide Elemente sind deshalb in der am 02.03.2011 verabschiedeten VDLUFA-Methode nicht enthalten.

Tab. 11 a: $HORRAT_R$ -Werte und Anzahl der am Validierungsringversuch beteiligten Laboratorien (Werte in Klammern)

Probe-Nr.	Element							
	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mo
1	1,43 (12)	0,89 (9)	1,17 (12)	1,57 (11)	1,33 (12)	0,93 (10)	2,85 (7)	1,38 (11)
2	-	-	-	-	0,77 (13)	1,41 (12)	1,47 (10)	-
3 (138/09/M)	1,00 (12)	0,68 (4)	0,67 (12)	0,67 (12)	2,45 (11)	2,08 (11)	2,03 (11)	0,52 (12)
3 (145/10/M)	-	-	-	-	1,70 (14)	0,90 (12)	9,96 (10)	-
4	1,97 (11)	2,01 (9)	1,10 (11)	1,42 (13)	2,27 (13)	1,92 (11)	2,85 (8)	1,10 (11)
5	-	-	-	-	2,48 (13)	1,70 (12)	4,70 (10)	-
6	0,85 (12)	1,57 (9)	0,82 (11)	0,92 (12)	1,56 (12)	0,84 (10)	4,30 (6)	1,26 (11)
7	-	-	-	-	2,94 (13)	0,89 (12)	1,27 (10)	-
8	1,04 (12)	1,55 (9)	0,80 (12)	0,91 (12)	1,40 (12)	0,98 (10)	9,16 (7)	2,03 (11)
9	-	-	-	-	1,24 (13)	0,67 (12)	11,26 (10)	-

Für die quantitative Analyse von Chrom in den beiden Mineralfutterproben (Proben 4 und 5), in der pelletierten Mischfutterprobe (Probe 3) sowie in einer der beiden Kompostproben (Probe 7) wurden ebenfalls $HORRAT_R$ -Werte >2 erhalten (Tab. 11).

Tab. 11b: $HORRAT_R$ -Werte und Anzahl der am Validierungsringversuch beteiligten Laboratorien (Werte in Klammern)

Probe-Nr.	Element							
	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	U	V	Zn
1	1,18 (12)	0,66 (12)	1,32 (9)	2,79 (9)	0,62 (8)	1,76 (11)	1,40 (12)	1,86 (10)
2	-	-	1,20 (11)	6,23 (11)	-	-	-	1,19 (12)
3 (138/09/M)	1,15 (12)	0,84 (11)	1,28 (7)	0,86 (9)	2,27 (4)	1,20 (10)	1,12 (12)	2,18 (11)
3 (145/10/M)	-	-	2,91 (10)	1,05 (12)	-	-	-	2,31 (12)
4	1,94 (13)	1,19 (12)	2,88 (7)	2,78 (11)	0,69 (6)	1,41 (11)	1,42 (13)	2,64 (10)
5	-	-	3,75 (9)	1,86 (11)	-	-	-	1,83 (12)
6	1,30 (12)	0,83 (12)	2,06 (6)	2,59 (7)	0,70 (9)	1,10 (10)	1,76 (12)	1,14 (10)
7	-	-	4,85 (10)	3,11 (11)	-	-	-	0,91 (12)
8	1,30 (12)	1,53 (12)	1,31 (7)	1,15 (8)	1,46 (8)	1,24 (11)	1,90 (12)	1,83 (10)
9	-	-	6,82 (10)	1,98 (11)	-	-	-	1,84 (12)

Im Falle der beiden Mineralfutterproben sowie der pelletierten Mischfutterprobe handelte es sich um ein grobkörniges, sehr hartes Probenmaterial. Als Ursache für die überhöhte Streuung der Analysenwerte kann deshalb eine Kontamination bei der für den Ringversuch geforderten Probenaufbereitung (Feinmahlung) zur Homogenisierung des Probenmaterials in den Labs einiger Ringversuchsteil-

nehmer vermutet werden. Im Falle der Mischfutter- und Kompostprobe in den Ringversuchen 138/2009/M bzw. 145/2010/M wird zusätzliche eine ungenügende Korrektur bzw. Verminderung der durch das Molekülion $^{40}\text{Ar}^{12}\text{C}^+$ hervorgerufenen Interferenz mit dem Analytisisotop ^{52}Cr bei einigen der Ringversuchsteilnehmer vermutet. Dies wird durch die deutliche Verbesserung der Vergleichbarkeit bei der Wiederholung der Analyse der pelletierten Mischfutterprobe nach den Hinweisen zur Beachtung der Kontaminationsgefahr durch die Mahlung und zur Notwendigkeit der Berücksichtigung der ArC-Molekülioneninterferenz im Ringversuch 145/2010/M gestützt. Die erneute Einbeziehung der o. g. Probe war den Teilnehmern des 2. Validierungsringversuchs vorher nicht bekannt. Eine Abhängigkeit der im Ringversuch ermittelten Chromwerte von der bei den Ringversuchsteilnehmern zur Reduzierung der Molekülionen eingesetzten Technik konnte allerdings nicht nachgewiesen werden.

Während die evtl. durch inhomogene Verteilung innerhalb der Probe und/oder Kontaminationen im Untersuchungslabor bedingten HORRAT_R -Werte >2 für Zink in den Probe 3 und 4 sowie die nur geringfügig über 2 liegenden HORRAT_R -Werte für Be in Probe 3 und Cu in Probe 4 keine Relevanz für die Methodenvvalidierung haben, bedürfen die zum Teil beträchtlichen Abweichungen für die quantitative Selenbestimmung (max. $\text{HORRAT}_R = 6,82$ für Klärschlammprobe II) einer detaillierten Untersuchung. Bedingt durch die starke Interferenz des empfindlichsten ^{80}Se -Isotops (natürliche Häufigkeit: 49,61 %) mit dem $^{40}\text{Ar}^{40}\text{Ar}^+$ -Molekülion aus dem Plasmagas sowie die Überlagerung des zweitempfindlichsten ^{78}Se -Isotops (natürliche Häufigkeit: 23,78 %) mit dem $^{40}\text{Ar}^{38}\text{Ar}^+$ -Molekülion stellt die quantitative Analyse des Selens mittels Quadrupol-ICP-MS grundsätzlich ein schwierig zu lösendes Problem dar (Hattendorf und Günther, 2003). Aufgrund der deutlich höheren Empfindlichkeit der HR-ICP-MS im Vergleich zur Quadrupol-ICP-MS ist bei Verwendung der HR-ICP-MS ein Ausweichen auf das wenig gestörte, aber deutlich unempfindlichere ^{77}Se -Isotop (natürliche Häufigkeit: 7,63 %) möglich. Allerdings erfordert die Analyse von Dünge- und Futtermittelaufschlüssen zwingend den Einsatz des hochauflösenden Messmodus zur Abtrennung des Messsignals für das $^{40}\text{Ar}^{37}\text{Cl}^+$ -Molekülion (Abb. 1).

Die mittels Quadrupol-ICP-MS mit Kollisionszellentechnik (Kollisionsgas: He) im Ringversuch ermittelten Selenwerte lagen im Vergleich zur HR-ICP-MS, der DR-ICP-MS sowie ICP-MS mit mathematischer Interferenzkorrektur tendenziell höher (Abb. 2). Bei der Verwendung dieser Technik zur Verminderung der Molekülionenstörungen bei der quantitativen Selenbestimmung ist deshalb

eine Hausvalidierung mit einer separaten Überprüfung der Richtigkeit der Analyseergebnisse anhand eines zweiten, unabhängige Analysenverfahren, z. B. Hydrid-AAS, für alle zu untersuchenden Matrices erforderlich.

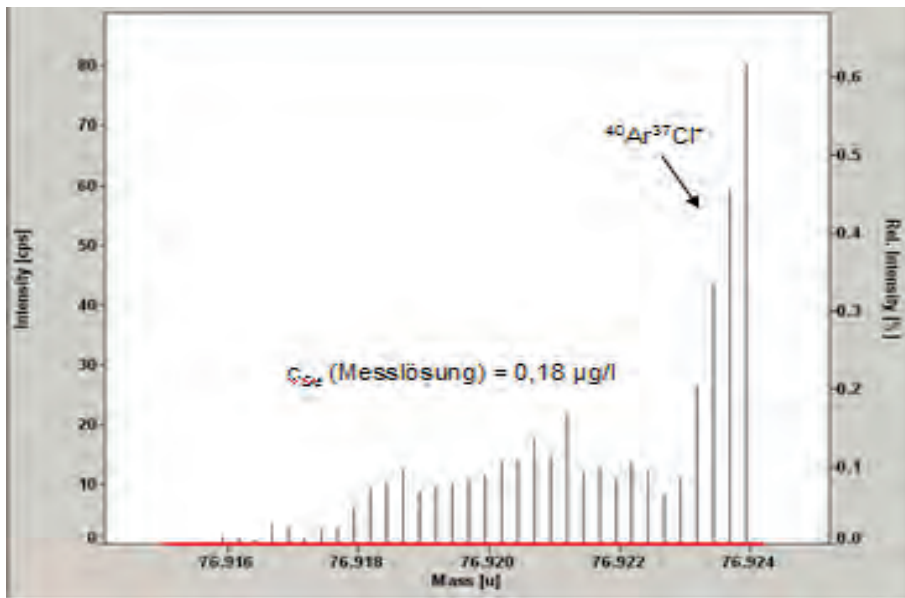


Abb. 1: HR-ICP-MS-Messsignal (Messmodus-Auflösung „high“ für ^{77}Se im Königswasserextrakt (Kompost I, Einwaage: 5 g/100 ml, 1 : 50-Verdünnung, $c_{\text{Se}} = 0,182 \text{ mg/kg}$)

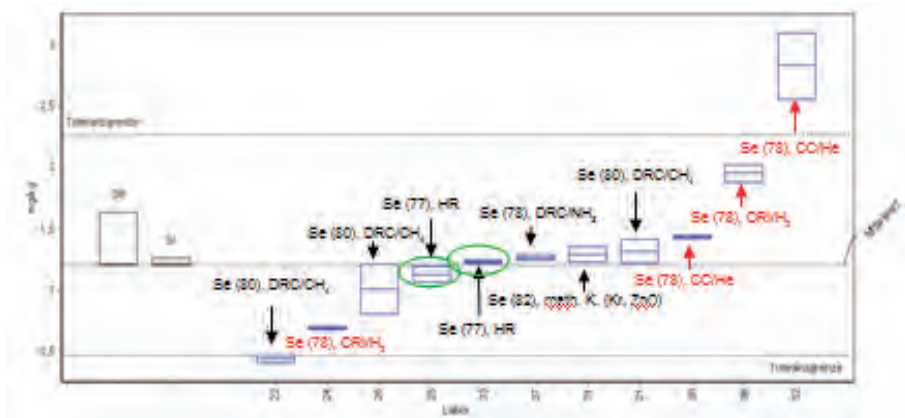


Abb. 2: Einzeldarstellung der Ringversuchsergebnisse für die Selenbestimmung in Klärschlammprobe II (Probe 9), Ringversuchsmittelwert = 1,20 mg/kg, $V_r = 4,8\%$, $V_R = 35,4\%$, Anzahl der Labore = 11

3.4 Untere Grenze des Quantifizierungsbereichs

In Anlehnung an die Horwitzfunktion kann aus der Darstellung der Abhängigkeit der Vergleichsstandardabweichung von der Analytkonzentration in den Ringanalysenproben, $S_R = f(c)$ durch Extrapolation auf $V_R = 33,3\%$ eine „untere Quantifizierungsgrenze“ abgeschätzt werden. Da die im Ringversuch ermittelten V_R -Werte mit einer nicht unbeträchtlichen Unsicherheit behaftet sind und für die empirische Ableitung pro Analyt insgesamt nur 12 Werte (Ringversuche 138/2009/M und 145/2010/M) bzw. 7 Werte (Ringversuch 138/2009/M) zur Verfügung standen, wurde die Anwendung einer linearen Regression für die Extrapolation als geeignet angesehen (Abb. 3). Die Ergebnisse der Schätzung liegen für alle Elemente unter 1/5 der gesetzlichen Grenz- bzw. Kennzeichnungswerte (Tab. 12). Für die quantitative Analyse geringer Selenkonzentrationen in Mischfutterproben sind in der Praxis jedoch teilweise niedrigere Bestimmungsgrenzen erforderlich. Der entsprechende Nachweis muss durch die Laboratorien im Rahmen der Sekundär- bzw. Hausvalidierung der Methode erbracht werden. Insbesondere für die Anwender von Quadrupolgeräten mit Kollisionszellentechnik erscheint dies von besonderer Bedeutung (siehe 3.3).

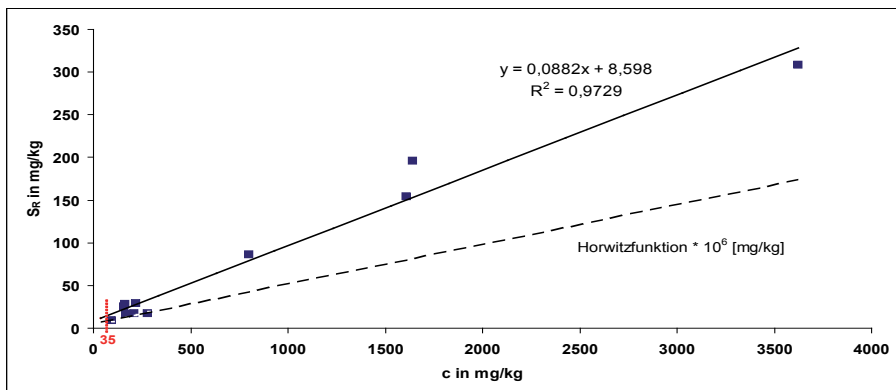


Abb. 3: Abschätzung der „unteren Quantifizierungsgrenze“ aus $S_R = f(c)$ für Zink

Tab. 12: Aus den Ringversuchsdaten $S_R = f(c)$ abgeschätzte „untere Quantifizierungsgrenze“, $V_R = 33\%$, $k = 3$

Element	$S_R = f(c)$	r^2	$uQG_{\text{berechnet}}$ in mg/kg	uQG_{gerundet} in mg/kg
As	$S_R = 0,0994c_{As} + 0,0276$	0,986	0,12	0,2
Be	$S_R = 0,1461c_{Be} + 0,03$	0,807	0,16	0,2
Bi	$S_R = 0,0741c_{Bi} + 0,0087$	0,841	0,034	0,5
Co	$S_R = 0,1886c_{Co} + 0,0199$	0,871	0,14	0,2
Fe	$S_R = 0,0821c_{Fe} + 21,038$	0,919	84	100
Mo	$S_R = 0,2373c_{Mo} - 0,1077$	0,704	1,1	2
Sb	$S_R = 0,175c_{Sb} + 0,011$	0,986	0,069	0,1
Se	$S_R = 0,2566c_{Se} + 0,027$	0,966	0,35	0,5
Tl	$S_R = 0,1773c_{Tl} - 0,0007$	0,704	0,0091	0,1
U	$S_R = 0,133c_U + 0,0232$	0,890	0,12	0,2
V	$S_R = 0,0948c_V + 0,8228$	0,964	3,4	5
Cd	$S_R = 0,0905c_{Cd} + 0,0202$	0,879	0,083	0,1
Cr	$S_R = 0,0847c_{Cr} + 1,2925$	0,917	5,2	5
Cu	$S_R = 0,0694c_{Cu} + 0,7648$	0,966	2,9	2
Ni	$S_R = 0,0955c_{Ni} + 0,4141$	0,985	1,7	2
Pb	$S_R = 0,1002c_{Pb} - 0,1875$	0,969	0,8	1
Zn	$S_R = 0,0882c_{Zn} + 8,5984$	0,972	35	50

S_R =Vergleichsstandardabweichung in mg/kg; c=Konzentration in mg/kg (Ringversuchsmittelwert)

4. Zusammenfassung

Im Arbeitskreis Anorganik der Fachgruppe VIII Umwelt- und Spurenanalytik des VDLUFA wurde eine Methode zur quantitativen Analyse der 15 Elemente As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Se, Tl, U, V und Zn entwickelt und optimiert. Die Methodenvvalidierung erfolgte anhand zweier sehr umfangreicher Ringversuche an insgesamt 13 Proben. Bei der Testung von drei unterschiedlichen Aufschlus-

sverfahren wurde für den mikrowellenunterstützten Druckaufschluss mit $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ die beste Vergleichbarkeit der Laboratorien untereinander erzielt.

Die im Ringversuch ermittelten Vergleichsvariationskoeffizienten für die ICP-MS-Analyse der fertigen Aufschlusslösungen und der durch die Ringversuchsteilnehmer gefertigten Aufschlusslösungen unterschieden sich nur in wenigen Fällen signifikant. Die Hauptquelle der Ergebnisunsicherheit liegt in der ICP-MS-Messung.

Für die Elemente Antimon und Eisen konnte in den Validierungsringversuchen keine ausreichend gute Vergleichbarkeit erzielt werden. Die große Streuung der Ringversuchsergebnisse für Chrom bei einigen Proben war nicht in den unterschiedlichen verwendeten ICP-MS-Messtechniken begründet. Als Ursache werden vielmehr mögliche Kontaminationen durch Mahlwerkzeuge oder die nicht ausreichende Korrektur der ArC^+ -Molekülionenstörung bei einigen Ringversuchsteilnehmern vermutet. Die mittels ICP-MS mit Kollisionszellentechnik (He) im Ringversuch ermittelten Selenwerte lagen im Vergleich zur HR-ICP-MS, der DRC-ICP-MS sowie ICP-MS mit mathematischer Interferenzkorrektur tendenziell höher.

Aus der Extrapolation der Regressionsgeraden $S_R = f(c)$ auf $V_R = 33,3\%$ wurden untere Quantifizierungsgrenzen für die Methode abgeschätzt. Sie liegen für alle Elemente im Bereich $<1/5$ der gesetzlich vorgeschriebenen Grenz- bzw. Kennzeichnungswerte. Für die Analyse geringer Selenkonzentrationen in Mischfutterproben müssen jedoch im Rahmen der Sekundärvalidierung in den Laboratorien teilweise niedrigere Bestimmungsgrenzen erzielt werden.

Die entwickelte Methode wurde am 02.03.2011 in 2. Lesung durch die FG VIII Umwelt und Spurenanalytik des VDLUFA verabschiedet und findet Eingang ins VDLUFA-Methodenbuch Bd. VII.

5. Literatur

Breuer, J., Honsel, U., Janßen, E., Kuchenbuch, R.O., Leiterer, M., Munzert, M., Schönherr, J., Trenkle, A., Übelhör, W., Uhlig, St., 2008: Positionspapier des VDLUFA zur Planung, Durchführung und Auswertung von Ringversuchen zur Methodenentwicklung. VDLUFA-Mitteilungen

Heft 1, 9-14.

- Hattendorf, B., Günther, D., 2003: Strategies for method development for an inductively coupled plasma mass spectrometer with bandpass reaction cell. Approaches with different reaction gases for determination of selenium; *Spectrochimica Acta Part B* 58, 2003, 1-13.
- May, T.W., Wiedmeyer, R.H., 1998: A Table of Polyatomic Interferences in ICP-MS, *Atomic Spectroscopy*, Vol. 19(5), 150-155.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2008: Methode 2.1.3, Mikrowellenbeheizter Druckaufschluss. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. VII Umweltanalytik, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2008: Methode 5.1.1.1, Aufschluss mit Königswasser. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. II.2 die Untersuchung von Sekundärrohstoffdüngern, Kultursubstraten und Bodenhilfsstoffen, 1. Aufl., 1. Erg., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Bestimmung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen (PSM) in Behandlungsflüssigkeiten

A. Trenkle

Landwirtschaftliches Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg, Karlsruhe

1. Einleitung

Zur Zeit der Blüte im Acker-, Obst- und Weinbau wurden in Baden-Württemberg seit mehr als 30 Jahren jedes Jahr insgesamt ca. 100-200 Spritzbrühproben bei den Landwirten und Winzern während der Spritzmittelapplikation direkt aus der Tankfüllung gezogen. Auf diese Weise wird in Baden-Württemberg das Anwendungsverbot von bienentoxischen Pflanzenschutzmitteln während der Blütezeit überwacht. Die dramatischsten Bienenschäden seit 1975 im Frühjahr 2008 entlang des Oberrheingrabens machten deutlich, dass der Bienenschutz auch andere Ursachen von Bienenvergiftungen im Auge haben muss. Damals löste dort clothianidinhaltiges Maissaatgut von minderer Beizqualität die Schädigungen der Bienenvölker aus (MLR, 2008; Trenkle, 2009; Trenkle, 2010).

2. Analysenverfahren

Zur **Herstellung einer** homogenen, **messfähigen Lösung** wurden 1 ml Behandlungsflüssigkeit in einen 10 ml Messkolben pipettiert und mit einer Mischung von Acetonitril, Ethanol und THF im Verhältnis 1:1:1 unter Schütteln bis zur Markierung aufgefüllt.

Die ca. 120 bienengefährlichen PSM wurden gaschromatographisch mittels massenselektiver Detektion (GC-EI-MS) und/oder flüssigkeitschromatographisch mit einem Tandem-Massenspektrometer (LC-MSMS) bestimmt (Amtliche Sammlung, 2007; VDLUFA, 2008).

Bedingungen der GC-EI-MS-Analyse:

GC-System: Agilent Technologies HP 6890
Säule: HP-5MS 30 m x 0,25 mm x 0,25 μ m
Mobile Phase: Helium
Gradientenprogr.: 1 min bei 60°C; mit 10°C/min auf 180°C; mit 4°C/min auf 265°C; mit 20°C/min auf 290°C; 5 min bei 290°C
Fluss: 1,0 ml/min konstanter Fluss; EPC (elektronische Druckkontrolle)
Injektionsvolumen: 3 μ l
Aufgabesystem: Gerstel KAS 3 (Kaltaufgabesystem)
Detektor: Agilent Technologies 5973MSD
Ionisation: Elektronstoßionisation (EI) mit 70 eV
Modus: SIM
Transfer-Kapillare: 300°C

Wirkstoffspektrum GC-EI-MS-Analyse:

Acrinathrin, Alphamethrin, Azinphosethyl, Azinphosmethyl, Bifenthrin, Bromophosethyl, Bromophosmethyl, Butocarboxim, Carbaryl, Carbofuran, Carbosulfan, Chlorfenvinphos, Chlormephos, Chlorpyriphosethyl, Chlorpyriphosmethyl, Chlorthion, Chlorthiophos, Cinerin 1+2 (Pyrethrum), Cyfluthrin, Cypermethrin, Cyproconazol, Deltamethrin, Diazinon, Dicrotophos, Dimefox, Dimethoat, Difenolan, Disulfoton, Esfenvalerat, Fenitrothion, Fenoxycarb, Fenson, Fensulfothion, Fenthion, Fenvalerat, Flucythrinat, Fluquinconazol, Fonophos, Formthion, Furathiocarb, γ -HCH, Heptenophos, Jasmolin 1+2 (Pyrethrum), lambda-Cyhalothrin, Metconazol, Methamidophos, Metolachlor, Monocrotophos, Naled, Paraoxonethyl, Paraoxonmethyl, Parathionethyl, Parathionmethyl, Penconazol, Permethrin, Phentoat, Phosalon, Piperonylbutoxid, Pirimiphosmethyl, Pyrazophos, Pyrethrin 1+2 (Pyrethrum), Quinalophos, Resmethrin, Spirodiclofen, tau-Fluvalinat, Tebuconazol, Teflubenzuron, Terbutylazin, Tetrachlorvinphos, Thiometon, Vamidothion.

Bedingungen der LC-MSMS-Analyse:

LC-System: Agilent Technologies 1 200 Serie
Säule: Zorbax Eclipse XDB-C18 600 bar, 1,8 μ m, 100 x 4,6 mm
Mobile Phase A: Wasser : Methanol : wässrige Ammoniumformiatlösung
1 mol/l 800 : 200 : 5
Mobile Phase B: Wasser : Methanol : wässrige Ammoniumformiatlösung
1 mol/l 100 : 900 : 5

Gradientenprogr.:	0-20 min von 100 % A auf 100 % B; 20-30 min 100 % B; 30-31 min von 100 % B auf 100 % A
Fluss:	0,3 ml/min
Injektionsvolumen:	1 μ l
Säulentemperatur:	40°C
Detektor:	Agilent Technologies 6460 Triple Quad LC/MSMS
Modus:	MRM
Massenübergänge:	in der Regel 2 pro PSM

Wirkstoffspektrum LC-MS-MS-Analyse:

Abamectin, Acephat, Amitraz, Azinphosethyl, Benfuracarb, Butocarboxim, Carbaryl, Carbenfenthiin, Carbofuran, Chlorthiophos, Clothianidin, Demeton, Demeton-S-methyl, Demeton-S-methylsulfon, Dichlorphos, Dicrotophos, Dimethoat, Dinobuton, Dioxathion, Disulfoton, Ethiofencarb, Ethion, Ethofenprox, Etrimep, Fenoxycarb, Fipronil, Flonicamid, Flusilazol, Formthion, Furathiocarb, Imidacloprid, Malaoxon, Malathion, Mephostolan, Methamidophos, Methidathion, Methiocarb, Methiocarbsulfon, Methiocarbsulfoxid, Mevinphos, Milbemectin A-3, Monocrotophos, Naled, Omethoat, Oxamyl, Oxydemetonmethyl, Phosphamidon, Phoxim, Prochloraz, Promecarb, Propoxur, Prothioconazol, Pymetrozin, Pyridat, Spinosad Spinosyn A, Spinosad Spinosyn D, Teflubenzuron, TEPP, Tetramethrin, Thiacloprid, Thiamethoxam, Thiocyclamhydrogenoxalat, Thiometon, Triazophos, Trichlorphon, Vamidothion.

Wiederfindungsversuche:

In den Behandlungsflüssigkeiten haben die bienengefährlichen PSM Gehalte in der Größenordnung von 0,01 %-0,1 %. Die Wiederfindungsversuche wurden mit einer ausreichend niedrigeren Konzentration von 1 mg/l bzw. 0,0001 % der hier aufgelisteten PSM durchgeführt. Diese Lösungen wurden wie oben beschrieben 5- bis 10-mal analysiert. Dabei wurden meist einige Wirkstoffe bis zu 50 %-86 % durch Reaktionen mit Bestandteilen der PSM-Präparate abgebaut. Je nach PSM-Formulierung waren die Wirkstoffverluste unterschiedlich.

Am häufigsten wurden solche Abbauprozesse bei den Pyrethroiden, den Carbamaten aber z. B. auch bei manchen Phosphorsäureestern beobachtet. Selbst bei niedrigen Wiederfindungen (WF) von 13 %-21 % waren die relativen Standardabweichungen bzw. Variationskoeffizienten (V) für die Wirkstoffgehalte von 1 mg/l (0,0001 %) mit 13 %-19 % recht niedrig. Somit waren die Abbauprozesse reproduzierbar und deshalb die entsprechenden PSM problemlos bestimmbar.

Die statistischen Kennzahlen z. B. WF und V werden für die in den Behandlungsflüssigkeiten identifizierte PSM am besten mit den entsprechenden Pflanzenschutzmitteln überprüft. In diesen Mischungen sind die PSM-Wirkstoffe stabilisiert d. h. vor Abbaugeschützt.

3. Ergebnisse

Seit 1994 wurden nur wenige Verstöße gegen die geltenden Bienenschutzverordnungen registriert (Abb. 1). Ein Verstoß bzw. eine Ordnungswidrigkeit liegt vor, wenn die bienentoxische Wirkstoffkonzentration in der Behandlungsflüssigkeit mindestens 1/10 des empfohlenen PSM-Gehaltes erreicht. Gehalte unterhalb dieser Grenze sind auf nicht ausreichend gereinigte Spritzgeräte, d. h. auf Verschleppungen aus anderen Anwendungen zurückzuführen.

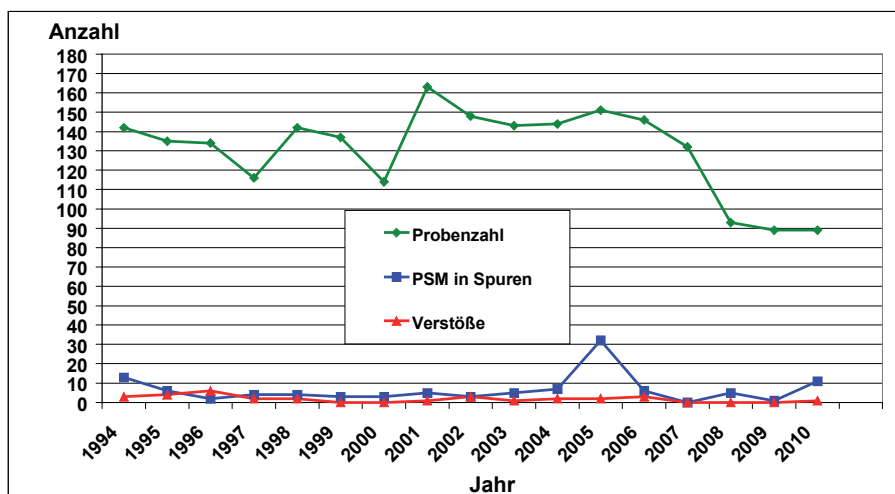


Abb.1: Kontrolle der Behandlungsflüssigkeiten auf bienentoxische Wirkstoffe 1994-2010 während der Blüte

In den letzten Jahren wurden unterhalb von 1/10 der empfohlenen Wirkstoffkonzentration unterschiedliche PSM in den Behandlungsflüssigkeiten identifiziert: Alphamethrin, Carbaryl, Chlorfenvinphos, Chlorpyrifos, Chlorpyrifosmethyl, Clothianidin, lambda-Cyhalothrin, Demeton-S-methyl, Dimethoat, Ethiofen-carb, Fenoxycarb, Fenthion, γ -HCH, Imidacloprid, Methamidophos, Methidathion, Oxydemetonmethyl, Parathionethyl, Parathionmethyl, Permethrin, Phosalon, Spinosad und Sulfotepp.

Bientoxische Wirkstoffe oder Wirkstoffkombinationen in kritischen Konzentrationen wurden folgende gefunden: Alphamethrin mit Tebuconazol, Azinphosmethyl, lambda-Cyhalothrin mit Tebuconazol, Deltamethrin, Demeton-S-methyl, Dimethoat, Fenoxycarb, Fenthion, Imidacloprid, Oxydemetonmethyl, Parathionethyl, Parathionmethyl, Propoxur und Sulfotepp.

Die Kombinationen bestimmter Pyrethroide mit Azolfungiziden wie z.B. Alphamethrin und Tebuconazol, lambda-Cyhalothrin und Tebuconazol, Alphamethrin und Metconazol, lambda-Cyhalothrin und Metconazol sind bienentoxische Sterol- bzw. Ergosterol-Biosynthesehemmer und dürfen erst abends nach dem Bienenflug im blühenden Raps appliziert werden (BienSchV, 1992).

Während den Kontrollaktionen von 2007-2009 wurden keine Fehlanwendungen durch bienengefährliche Pflanzenschutzmittel festgestellt. Im Verlaufe der Untersuchungskampagne 2010 wurde in einer Behandlungsflüssigkeit aus einer Birnenanlage 0,0051 % (51 mg/l) Fenoxycarb gefunden (Abb. 2).

Dieser Wirkstoff wird gegen den Birnenblattsauger in Konzentrationen von 0,04 %-0,133 % eingesetzt. Der Landwirt gab die Anwendung zu. In der Kultur hatte die Blüte gerade begonnen. Der Löwenzahn unterhalb der Bäume war schon in voller Blüte. Deshalb wurde nach den genannten Vorgaben ein Verfahren eingeleitet. Der ermittelte Fenoxycarbgehalt liegt mit 0,0051 % über 0,004 % d. h. über 1/10 der empfohlenen Wirkstoffkonzentration von 0,04 %.

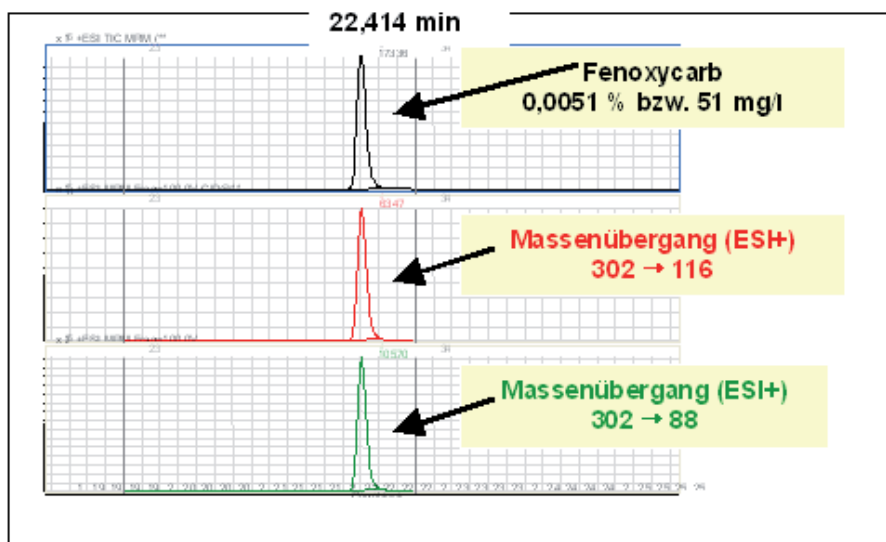


Abb. 2: LC-MS/MS-Analyse der fenoxycarbhaltigen Behandlungsflüssigkeit



Abb.3: Durch Fenoxycarb geschädigte Bienenlarven

Fenoxycarb verursacht keine akuten Schäden an den adulten Bienen. Dieser PSM-Wirkstoff gefährdet die Entwicklung der Bienenlarven. Er stört deren Häutung und hemmt dadurch deren Wachstum. Dadurch werden die Bienenlarven erheblich geschädigt und sterben meist ab (Abb. 3). Charakteristisch für Schädigungen durch Fenoxycarb sind die Sichelaugen der geschädigten Jungbienen (Abb. 4).



Abb.4: Bienenlarven mit Sichelaugen durch Fenoxycarb

4. Zusammenfassung

In den letzten Jahren wurden nur noch vereinzelt Verstöße gegen die Bienenschutzverordnung während der Blüte im Obstanbau, beim Raps und im Weinbau registriert. Dazu haben sicherlich auch die Fortschritte der instrumentellen Messtechnik, insbesondere der massenspektrometrischen Bestimmungsmethoden (GC-MS- und LC-MSMS-Analyse) beigetragen. Durch das hier vorgestellte Analysenverfahren können die bienentoxischen PSM schnell über ihre substanzspezifischen Massenfragmente zweifelsfrei identifiziert und quantifiziert werden.

Trotz der positiven Entwicklung treten immer wieder vereinzelte lokale Fälle von Bienenschäden auf, die auf einem nicht sachgemäßen Einsatz von bienentoxischen Spritzmitteleinsatz zur Zeit der Blüte zurückzuführen sind. Denn die jährlichen Spritzbrühkontrollen in Baden-Württemberg sind Stichproben und können nicht jeden Anwender kontrollieren. Bei Verzicht dieser Kontrolluntersuchungen wäre sicherlich mit einer Zunahme der Fehlanwendungen und somit auch einer größeren Zahl an Bienenschäden zu rechnen.

5. Literatur

- Amtliche Sammlung nach § 64 LFGB, 2007: Methode L00.00114, Rückstandsanalyse von Pflanzenschutzmitteln in Lebensmitteln. Tabellarische Auflistung von Precursor-Ionen und typischen Fragmenten sowie weiterer Messparameter von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen zur Bestimmung mittels gekoppelter Flüssigkeitschromatographie/Tandem-Massenspektrometrie. Methode L00.00115, Multimethode zur Bestimmung von Pflanzenschutzmittelrückständen in pflanzlichen Lebensmitteln mittels GC-MS(/MS) oder LC-MS/MS nach Acetonitrilextraktion/Verteilung und Aufreinigung mittels dispersiver SPE (QuECHERS), BVL-Methodensammlung, Beuth Verlag GmbH.
- Bienenschutzverordnung (BienSchV), 1992: BGBl. I S. 1410; Änderung 2002: durch Art 4 §3 des Gesetzes vom 06.08.2002; BGBl. I S. 3082.
- Ministerium Ländlicher Raum (MLR) Baden-Württemberg (HRSG.) 2008: Abschlussbericht Beizung und Bienenschäden, poststelle@mlr.bwl.de.
- Trenkle, A., 2009: Bienenschäden 2008 im Rheintal – Analytik, Ursachen, Kon-

sequenzen. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 65, 22-41. Kongressband 2009 Karlsruhe. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Trenkle, A., 2010: Bienenschäden in der Oberrheinebene – Analytik, Ursachen, Konsequenzen. 5. ALVA-Tagung, Schloss Puchberg, 80-82.

Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2008: Methode 3.3.7.1, Bestimmung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen in ausgewählten be- und verarbeiteten Futtermitteln mittels chromatographischer Verfahren und massenspektrometrischer Detektion. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. VII Umweltanalytik, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Fettbestimmung nach Weibull-Stoldt: Automatisierung der Hydrolyse mittels Hydrotherm

U. Fettweis

C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Königswinter

1. Einleitung

Zur Fettbestimmung in Lebens- und Futtermitteln wird von vielen Laboratorien die Methode nach Weibull-Stoldt durchgeführt. Die ersten Arbeitsschritte dieser Analyse, die saure Hydrolyse der Proben, die anschließende Filtration und das neutral Waschen des Filtrerrückstands sind arbeits- und zeitintensiv. Zudem müssen dafür aufwändige Vorkehrungen zur Arbeitssicherheit getroffen werden. Die C. Gerhardt GmbH & Co. KG hat deshalb ein System entwickelt (Hydrotherm), welches die oben genannten Arbeitsschritte vollautomatisch durchführt.

Nach dem Trocknen der Filter können aus diesen die Fette mit organischen Lösungsmitteln in Soxtherm-Schnellextraktionssystemen extrahiert und das Lösungsmittel eingeeengt werden. Diese Systeme werden seit vielen Jahren eingesetzt, ihre Eignung ist belegt (zum Beispiel Matthäus, 1998; Trenkle und Leskopf, 2000).

In der vorliegenden Arbeit werden beispielhaft Ergebnisse von Fettgehaltsanalysen dargestellt, bei denen die Hydrolyse mittels Hydrotherm und parallel dazu mittels herkömmlicher Systeme durchgeführt wurde. Die Untersuchungen wurden an Lebensmitteln und Futtermitteln mit unterschiedlich hohen Fettgehalten durchgeführt.

2. Material und Methoden

Im Vergleich erfolgten die Hydrolysen mit einem Hydrotherm HT 6 der C. Gerhardt GmbH & Co. KG sowie manuell mit Filtration über Faltenfilter oder halbautomatisch mit Filtration über gesintertes Glas.

Der Hydrotherm HT 6 besteht aus drei Einheiten mit je zwei Probenplätzen. Jede Einheit kann separat angesteuert und betrieben werden. Für die Hydrolyse im

Hydrotherm wurden die Proben in die Probengläser gegeben und Faltenfilter in dafür vorgesehene Trichter eingesetzt. Bei Proben mit hohem Fettgehalt (zum Beispiel Margarine) wurden zwei Faltenfilter verwendet. Alle Koch-, Spül- und Filtrationsvorgänge werden automatisch durchgeführt. Das Gerät wurde außerhalb eines Abzuges betrieben. Für die Vergleichsuntersuchungen wurden sowohl Lebensmittel als auch Futtermittel analysiert.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die beispielhaft dargestellten Fettgehalte der Lebensmittelproben lagen zwischen 1,20 % bei Fruchtojoghurt und 80,07 % bei Margarine (Tab. 1). Die errechneten Standardabweichungen derjenigen Ergebnisse der Lebensmittelproben, die mit Hilfe des Hydrotherm ermittelt wurden, betragen zwischen 0,08 (Margarine) und 0,34 (Wurst).

Tab. 1: Fettgehalte in Lebensmitteln, die mit dem Hydrotherm HT 6 und mit herkömmlichen Systemen ermittelt wurden sowie die Differenz zwischen den ermittelten Fettgehalten

Probe	Fettgehalt[%] Hydrotherm (Mittelwert)	Anzahl Analy- sen	Standardab- weichung	Fettgehalt[%] herkömmlich (Mittelwert)	Anzahl Analysen	Differenz Fettgehalt [%]
Keks	11,37	6	0,28	11,74	k. A. *)	0,37
Milchpulver	16,58	6	0,19	16,61	k. A.	0,03
Fruchtojoghurt	1,20	2	0,01	1,22	2	0,02
Schokoladen- pudding	8,67	2	0,08	8,72	2	0,05
Milchreis mit Kirschen	2,27	2	0,05	2,45	2	0,18
Erbsensuppe	4,35	2	0,03	4,13	2	0,22
Schokolade	29,20	10	0,14	29,20	k. A.	0,00
Wurst	33,45	6	0,34	33,24	k. A.	0,22
Margarine	80,07	2	0,06	80,0	k. A.	0,07

*)k. A. = keine Angabe

Tab. 2: Fettgehalte in Futtermitteln, die mit dem Hydrotherm HT 6 und mit herkömmlichen Systemen ermittelt wurden sowie die Differenz zwischen den ermittelten Fettgehalten

Probe	% Rohfett Hydrotherm (Mittelwert)	Anzahl Analysen	Standard- abweichung	% Rohfett herkömmlich (Mittelwert)	Anzahl Analy- sen	Differenz % Rohfett
Rinderfutter	3,99	6	0,10	3,76	k. A. *)	0,23
Schweine- futter	4,13	2	0,04	3,99	2	0,14
Ferkelfutter	10,12	2	0,13	9,93	2	0,19
Hühner- futter	3,45	2	0,08	3,36	2	0,09
Geflügel- futter	7,98	2	0,23	7,83	2	0,15
Winter- erbsen	1,69	2	0,06	1,57	2	0,12
Kleegras- cobs	2,88	2	0,03	2,66	2	0,22
Hundekeks	10,92	2	0,06	10,93	2	0,01

*)k.A. = keine Angabe

Die exemplarisch dargestellten Rohfettgehalte der analysierten Futtermittel lagen zwischen 1,57 % bei Wintererbsen und 10,93 % bei Hundekekse (Tab. 2). Die ermittelten Standardabweichungen aus den Futtermitteluntersuchungen, die mit Hilfe des Hydrotherm bestimmt wurden, betragen zwischen 0,03 (Kleegrascobs) und 0,23 (Geflügelfutter).

Der Vergleich der Ergebnisse, die unter Verwendung des Hydrotherm und unter Verwendung herkömmlicher Systeme ermittelt wurden, zeigt sehr gute Übereinstimmungen. Bei Verwendung des Hydrotherm werden durch die vollautomatische Abarbeitung aller Koch-, Spül- und Filtrationsvorgänge außerhalb eines Abzugs zudem die Analysenkosten reduziert. Gleichzeitig wird ein hohes Maß an Arbeitssicherheit im Labor gewährleistet, da der Anwender nicht in direkten Kontakt mit Säure kommt. Der Hydrotherm stellt somit eine gute Alternative zu herkömmlichen Hydrolyse-Systemen dar.

4. Literatur

Matthäus, B., 1998: Schnelle Bestimmung des Ölgehaltes von Ölsaaten. Labor-Praxis, 11, 52-55.

Trenkle, A., Leskopf, W., 2000: Automatisierte Extraktion organischer Schadstoffe aus Böden, GIT Spezial, Separation 20, 11-14.

Probenaufarbeitung in der organischen Analytik mit automatisierten Systemen

A. Trenkle

Landwirtschaftliches Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg, Karlsruhe

1. Einleitung

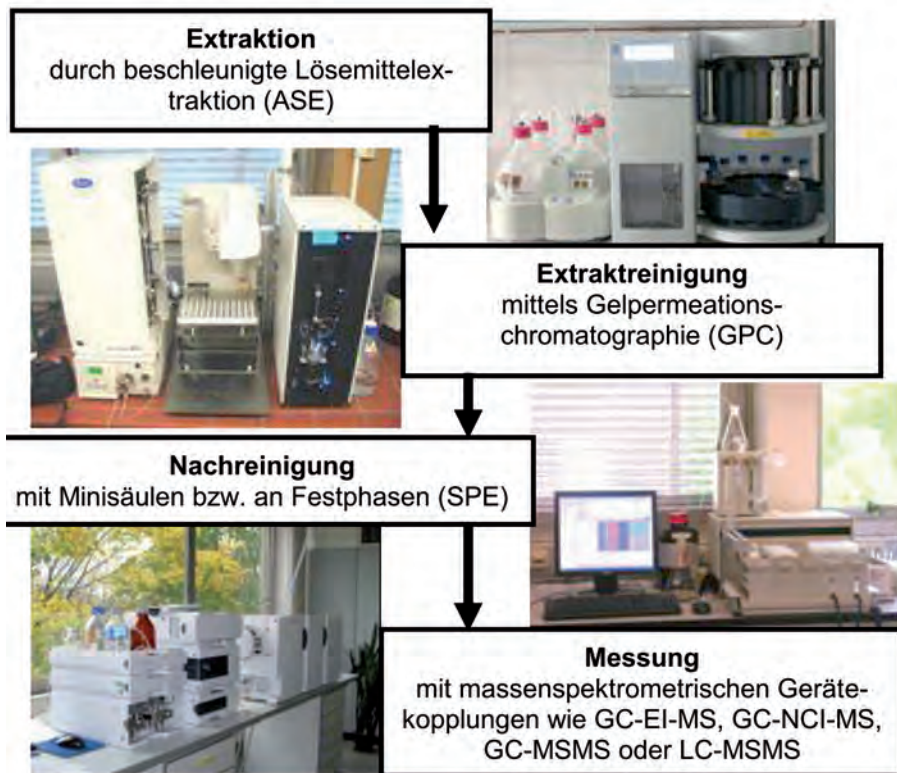
Die Probenaufarbeitung soll schnell und billig sein, saubere Extrakte liefern und möglichst wenig Personal in Anspruch nehmen. Dies bedeutet, dass die Probenaufarbeitung entweder nur wenige Schritte umfasst oder möglichst weitgehend von Laborautomaten übernommen wird. Die Extraktion und Extraktreinigung im „Eintopfverfahren“ nach der QuECHERS-Methode - Extraktion und dispersive SPE – (Amtliche Sammlung § 64 LFGB, 2007) verzichtet auf aufwendige chromatographische Reinigungsschritte. Dieses Verfahren ist schnell, billig und wenig personalintensiv. Es liefert jedoch insbesondere bei inhaltsstoffreichen Proben (Tabak, Hopfen, Mischfuttermitteln, Blättern, Bienen, Bienenbrot, Saatgut u.a.) oft nicht ausreichend saubere Extrakte.

Für diese analytisch schwierigen Matrices ist die Automatisierung der Verfahrensschritte durch geeignete Laborautomaten wirtschaftlich und sinnvoll. Die dafür notwendigen Geräte sind zwar nicht gerade billig, aber dennoch wirtschaftlich. Denn sie arbeiten schnell und problemlos auch nachts, entlasten das Laborpersonal und garantieren relativ saubere, d. h. messfähige Extrakte auch bei schwierigen Matrices. Die herkömmliche Arbeitsweise ohne rechnergesteuerte Systeme ist für inhaltsstoffreiche Proben recht personalintensiv. Bekanntlich übersteigen die Personalkosten in der Regel die Investitionen für die Automaten bei weitem.

Die Effizienz der automatisierten Systeme bei der Probenaufarbeitung wird am Beispiel der VDLUFA-Methode 3.3.7.1 Bd. VII „Bestimmung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen in ausgewählten und verarbeiteten Futtermitteln mittels chromatographischer Verfahren und massenspektrometrischer Detektion“ (VDLUFA, 2008) demonstriert. Dabei werden sämtliche Schritte der Probenaufarbeitung automatisiert.

2. Automatisierungsmöglichkeiten der VDLUFA-Methode 3.3.7.1 Bd. VII

Die organischen Wirkstoffe werden mittels beschleunigter Lösemittelextraktion (ASE) aus dem Material herausgelöst. Aus dem Rohextrakt werden durch Gelpermeationschromatographie (GPC) die Analyten abgetrennt und wenn nötig die die Messung störenden Substanzen über Minisäulen (SPE) aus dem Extrakt entfernt (Schema 1). Alle ausgewählten PSM wurden mit LC-MSMS identifiziert und quantifiziert.



Schema 1: Verfahrensschritte

Einstellungen des ASE-Gerätes (Extraktion):

Geräte: ASE 200, ASE 300, ASE 350 Fa. DIONEX

Extraktionszeit:	10 min
Spülvolumen:	120%
Zeit Stickstoffspülung:	100 sec
Extraktionszyklen:	2
Extraktionstemperatur:	80°C
Druck bei Extraktion:	10 MPa
Lösemittelgemisch:	Acetonitril : Aceton = 9 : 1
Füllung Extraktionszelle mit:	25 g Probe (gemahlen oder geschrotet), 8 g Calfo E und 4 g Celite
Extraktvolumen:	20 ml
Umlösen in:	Cyclohexan : Ethylacetat = 1 : 1

Einstellungen des GPC-Gerätes (Extraktreinigung):

Gerät: AccuPrep MTS™/AccuVap™ Fa. ANTEC

Elutionsgemisch:	Cyclohexan : Ethylacetat = 1 : 1
Strömungsgeschwindigkeit:	5 ml/min
Aufgabevolumen:	5 ml
Elutionsprogramm:	16 min Vorlauf, 36 min Extraktgewinnung, 8 min Waschphase
Umlösen in:	Aceton : Hexan = 1 : 1 und auf 3 ml einengen

Einstellungen des SPE-Gerätes (Nachreinigung):

Gerät: ASPEC Fa. Gilson

Elutionslösung:	Aceton : Hexan = 1 : 1
Material Minisäule:	1 000 mg PSA
Konditionieren der Minisäule:	8 ml Aceton : Hexan = 1 : 1
Probenaufgabe:	3 ml Extrakt 1 min einziehen lassen
Elution der Wirkstoffe mit:	18 ml Aceton : Hexan = 1 : 1
Umlösen in:	für die Messung geeignetes Lösemittel
Probenmaterialien:	(Grün-)Pflanzen, Futtermittel, Tabak
PSA nicht geeignet für:	z.B. Chlorthalonil, Fenhexamid, Phenoxycarbonsäuren

Nach unseren Erfahrungen ist kein Säulenmaterial für alle organischen Substanzen geeignet. Deshalb muss die Wirkung der verschiedenen Säulenmaterialien auf die Wirkstoffe bekannt sein (VDLUFA, 2008). Zunächst wurden nur Pflanzen-

schutzmittelwirkstoffe (PSM) geprüft, die gegen die Minisäule mit primären und sekundären Aminen (PSA) stabil sind.

Einstellungen des LC-MSMS-Gerätes (Messung):

LC-System: Agilent Technologies 1200 Series
Säule: Zorbax Eclipse XDB-C18 1,8 μ m 600 bar 100 x 4,6 mm
Mobile Phase A: Wasser : Methanol : wässrige Ammoniumformiatlösung
1 mol/l 800 : 200 : 5
Mobile Phase B: Wasser : Methanol : wässrige Ammoniumformiatlösung
1 mol/l 100 : 900 : 5
Gradientenprogr.: 0-20 min von 100% A auf 100% B; 20-30 min 100% B;
30-31 min von 100% B auf 100% A
Fluss: 0,3 ml/min
Injektionsvolumen: 1 μ L
Säulentemperatur: 40°C
MSMS-System: Agilent Technologies 6460 Triple Quad LC/MSMS
Modus: MRM

Alle PSM wurden mit ausreichender Empfindlichkeit mit dem hier beschriebenen LC-MSMS-System und Geräteeinstellungen detektiert.

3. Ergebnisse

Nach einigen Vorversuchen wurden die Geräteeinstellungen der ASE, GPC und SPE so gewählt, dass die PSM möglichst weitgehend von mitextrahierten Matrixbestandteilen abgetrennt wurden. Dabei wurden Verluste bei den Wiederfindungen (WF) in Kauf genommen, wenn die Variationskoeffizienten (V) unter 30% lagen. Die PSM-Ausbeuten sollten jedoch zwischen 60% und 130% liegen. Die Wirkstoffgehalte betragen bezogen auf die Einwaage der Probe einheitlich 0,16 mg/kg. Für jede Aufarbeitungsvariante wurden 5 dotierte Proben aufgearbeitet.

Die **Extraktgewinnung mit der automatisierten ASE und die automatisierte Reinigung mit GPC sowie separater SPE** führte im Mischfuttermittel und im Weizen zu recht guten Resultaten. Für die meisten PSM (37 von 40) reichte die Kombination von ASE und GPC aus. Die Zugaben von Calflo E und Celite zur Probe in Verbindung mit dem Elutionsgemisch (vgl. Einstellungen ASE) hatten offenbar schon bei der Extraktion einen Reinigungseffekt. Dadurch

wurden nach der Extraktreinigung durch GPC messfähige Extrakte gewonnen. Die Nachreinigung mit der PSA-Minisäule führte meist zu einem etwas größeren V-Wert (Tab 1.). Die Minderbefunde von Bitertanol, Dichlorvos, Malaoxon, Methamidophos, Pendimethalin, Prochloraz und Resmethrin können noch nicht eindeutig erklärt werden.

Tab. 1: Wiederfindungen und relative Standardabweichungen für die automatisierten Aufarbeitungssysteme mit ASE und GPC sowie mit ASE, GPC und SPE

Wirkstoff	Probe	ASE/GPC		ASE/GPC/SPE		ASE/GPC/SPE		
		WF [%]	V [%]	WF [%]	V [%]	Probe	WF [%]	V [%]
Azoxystrobin	Mischfuttermittel	117,2	6,3	103,7	17,9	Weizen	141,2	6,6
Bitertanol	Mischfuttermittel	124,5	5,7	42,1	11,2	Weizen	102,5	19,3
Brompropylat	Mischfuttermittel	129,9	9,6	105,8	5,9	Weizen	126,9	12,2
Carbendazim	Mischfuttermittel	90,3	6,6	97,8	3,2	Weizen	95,6	20,0
Carfentrazone-ethyl	Mischfuttermittel	119,0	7,0	72,8	5,4	Weizen	92,2	12,2
Chlorpyrifosmethyl	Mischfuttermittel	118,2	5,8	86,3	5,9	Weizen	97,9	15,4
Demeton-S-methylsulfon	Mischfuttermittel	110,6	4,6	82,6	20,9	Weizen	129,6	7,9
Dichlorvos	Mischfuttermittel	52,8	27,8	48,1	7,4	Weizen	90,0	16,8
Dimethoat	Mischfuttermittel	123,1	9,3	67,2	9,0	Weizen	136,9	4,2
Disulfoton-sulfon	Mischfuttermittel	115,1	5,4	97,9	13,4	Weizen	120,5	5,7
Disulfoton-sulfoxid	Mischfuttermittel	127,9	4,7	66,0	8,6	Weizen	115,7	15,0
Famoxadone	Mischfuttermittel	125,3	6,7	83,3	30,3	Weizen	124,6	12,6
Fenpropidin	Mischfuttermittel	112,5	4,5	66,6	11,8	Weizen	86,8	23,1
Flufenacet	Mischfuttermittel	116,2	5,9	63,4	5,4	Weizen	88,8	21,2
Formothion	Mischfuttermittel	123,1	9,3	67,2	9,0	Weizen	138,0	5,1
Imazalil	Mischfuttermittel	84,2	2,7	86,4	15,4	Weizen	118,8	14,6
Iprodion	Mischfuttermittel	120,8	7,2	78,8	4,1	Weizen	105,3	11,5
Malaoxon	Mischfuttermittel	107,1	2,8	58,9	3,4	Weizen	101,1	25,1
Malathion	Mischfuttermittel	112,7	5,0	77,3	4,7	Weizen	102,7	11,7
Metalaxyl	Mischfuttermittel	117,2	5,2	95,5	5,2	Weizen	123,2	13,4
Methamidophos	Mischfuttermittel	48,2	19,9	56,4	10,9	Weizen	81,1	4,0

Tab. 1: Wiederfindungen und relative Standardabweichungen für die automatisierten Aufarbeitungssysteme mit ASE und GPC sowie mit ASE, GPC und SPE, Fortsetzung

Wirkstoff	Probe	ASE/GPC		ASE/GPC/SPE		ASE/GPC/SPE		
		WF [%]	V [%]	WF [%]	V [%]	Probe	WF [%]	V [%]
Myclobutanil	Mischfuttermittel	120,9	7,4	113,3	3,1	Weizen	133,6	10,1
Omethoat	Mischfuttermittel	86,2	9,8	94,7	18,9	Weizen	82,0	23,2
Parathionethyl	Mischfuttermittel	115,0	7,4	69,2	21,3	Weizen	90,3	25,9
Parathionmethyl	Mischfuttermittel	125,5	5,0	75,6	8,5	Weizen	113,2	15,5
Pendimethalin	Mischfuttermittel	127,4	10,3	50,1	11,4	Weizen	62,4	24,2
Phosphamidon	Mischfuttermittel	113,4	4,7	86,8	8,6	Weizen	116,0	17,1
Pirimiphosmethyl	Mischfuttermittel	116,7	6,7	115,1	6,8	Weizen	111,6	11,8
Prochloraz	Mischfuttermittel	115,6	3,3	58,4	12,6	Weizen	94,6	19,7
Profenophos	Mischfuttermittel	114,3	4,8	80,2	4,6	Weizen	94,1	17,3
Propiconazol	Mischfuttermittel	120,9	5,6	110,2	3,5	Weizen	118,4	15,5
Propyzamid	Mischfuttermittel	111,5	4,5	94,3	7,7	Weizen	106,3	13,5
Quinoxifen	Mischfuttermittel	117,4	5,9	126,5	4,1	Weizen	117,6	15,8
Resmethrin	Mischfuttermittel	43,9	18,2	69,8	15,2	Weizen	65,2	11,8
Spiroxamin	Mischfuttermittel	104,2	7,1	76,6	11,3	Weizen	91,8	23,0
Triadimefon	Mischfuttermittel	117,6	5,2	99,6	2,8	Weizen	115,4	11,4
Triadimenol	Mischfuttermittel	124,8	7,2	91,8	20,5	Weizen	84,0	14,5
Triazophos	Mischfuttermittel	117,9	4,4	113,3	4,4	Weizen	124,3	5,3
Trichlorphon	Mischfuttermittel	86,5	6,4	92,6	10,7	Weizen	87,4	20,7
Trifloxystrobin	Mischfuttermittel	113,9	6,4	87,7	3,4	Weizen	109,9	12,1

Nach den Erfahrungen der Vorversuche und den vorgestellten Daten (Tab. 1 und Tab. 2) sind hier Matrixeinflüsse und/oder Wechselwirkungen der PSM mit dem PSA-Material der Minisäule verantwortlich.

Zur Klärung dieser Frage sind weitere Versuche und Optimierungen der Geräteeinstellungen notwendig. Ebenso muss den erhöhten Ausbeuten von Azoxystrobin, Dimethoat, Formothin und Myclobutanil in Weizen nachgegangen werden. Die recht niedrigen V von 4,2 %-10,1 % lassen auf einen systematischen Fehler schließen, da erhöhte Blindwerte ausgeschlossen werden können.

Ein weiterer **Fortschritt in der Laborautomatisierung** sind **Kombigeräte** (Abb. 1), die die Extraktreinigung von GPC und SPE mit der Möglichkeit der Einstellung des Extraktvolumens auf ein definiertes Volumen durch eine Verdampferstation (VS) in sich vereinen. Bei solchen GPC-SPE-Kombigeräten mit einer VS müssen die entsprechenden Spülzyklen optimiert werden, um Verschleppungen der Wirkstoffe zu vermeiden.

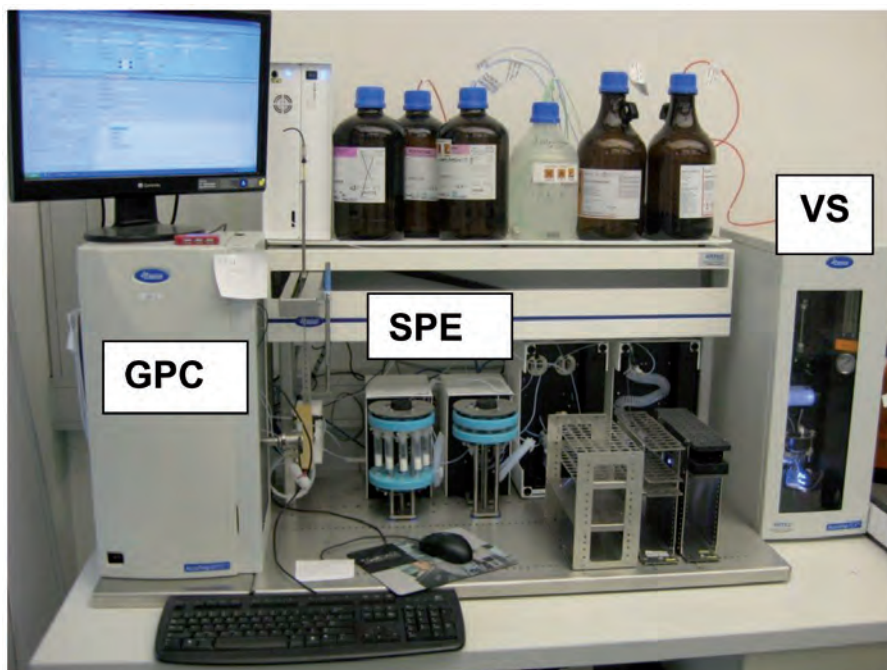


Abb. 1: Gerätekombination GPC, SPE und VS

Einstellungen des GPC-SPE-Kombigerätes (Extraktreinigung):

Gerät: PrepLink™ Fa. ANTEC

GPC: wie GPC-Gerät

SPE: wie SPE-Gerät

Die Geräteparameter für die Spül- und Eindampfschritte stellt der Autor auf Anfrage zur Verfügung. Ihre vollständige Auflistung würde den Rahmen dieses Beitrages sprengen.

Für die Tests mit dem kombinierten System wurde der Mischfutterextrakt mit den PSM dotiert (0,16 mg/kg bezogen auf die Probeneinwaage). Die Einflüsse der Extraktion wurden zunächst ausgeschlossen. Zuerst sollte die Zuverlässigkeit

des Systems für die GPC alleine und für die Abfolge GPC, VS, SPE und wieder VS überprüft werden. Für beide Varianten der Extraktreinigung wurden 5 Wiederholungen durchgeführt.

Für alle PSM wurden entweder durch die GPC oder die vollständige Nutzung des Systems mit GPC, SPE und 2 VS-Schritten zum Lösemittelwechsel und Einengen der Extraktlösungen gute WF und V ermittelt (Tab. 2). Die V der GPC-Variante waren bis auf 3 Fälle recht niedrig. Dies belegt die robuste Arbeitsweise des GPC-Moduls.

Tab.2: Wiederfindungen und relative Standardabweichungen für die GPC-SPE-Gerätekombination

Wirkstoff	Probe	GPC		GPC/VS/SPE/VS	
		WF [%]	V [%]	WF [%]	V [%]
Azoxystrobin	Mischfuttermittel	103,2	2,6	111,1	6,1
Bitertanol	Mischfuttermittel	103,4	0,2	44,7	6,7
Brompropylat	Mischfuttermittel	110,9	1,5	102,3	5,9
Carbendazim	Mischfuttermittel	94,7	1,1	103,0	5,5
Carfentrazone-ethyl	Mischfuttermittel	105,4	0,7	82,8	5,1
Chlorpyrifosmethyl	Mischfuttermittel	90,7	2,1	102,9	4,8
Demeton-S-methylsulfon	Mischfuttermittel	96,1	0,8	100,4	8,8
Dichlorvos	Mischfuttermittel	55,9	36,2	86,6	15,0
Dimethoat	Mischfuttermittel	96,9	0,5	103,4	8,1
Disulfoton-sulfon	Mischfuttermittel	98,4	2,4	100,1	6,3
Disulfoton-sulfoxid	Mischfuttermittel	139,3	1,8	114,2	6,5
Famoxadone	Mischfuttermittel	111,6	6,3	56,9	5,1
Fenpropidin	Mischfuttermittel	86,0	6,5	100,6	4,7
Flufenacet	Mischfuttermittel	100,0	0,4	107,5	5,1
Formothion	Mischfuttermittel	96,9	0,5	103,4	8,1
Imazalil	Mischfuttermittel	94,7	3,6	113,4	5,7
Iprodion	Mischfuttermittel	102,9	0,5	79,0	8,7
Malaoxon	Mischfuttermittel	95,9	1,9	99,5	5,3
Malathion	Mischfuttermittel	97,7	0,5	102,2	6,5
Metalaxyl	Mischfuttermittel	99,3	0,4	106,0	5,4
Methamidophos	Mischfuttermittel	90,2	0,2	82,1	7,3

Tab.2: Wiederfindungen und relative Standardabweichungen GPC-SPE-Gerätekombination, Fortsetzung

Wirkstoff	Probe	GPC		GPC/VS/SPE/VS	
		WF [%]	V [%]	WF [%]	V [%]
Myclobutanil	Mischfuttermittel	104,0	0,5	103,0	4,5
Omethoat	Mischfuttermittel	101,1	1,0	92,9	7,2
Parathionethyl	Mischfuttermittel	95,4	3,0	98,2	12,2
Parathionmethyl	Mischfuttermittel	106,7	0,1	91,9	7,0
Pendimethalin	Mischfuttermittel	92,6	1,4	93,4	3,5
Phosphamidon	Mischfuttermittel	95,2	0,1	100,4	6,3
Pirimiphosmethyl	Mischfuttermittel	98,7	2,9	105,6	5,1
Prochloraz	Mischfuttermittel	107,7	4,3	96,4	6,1
Profenophos	Mischfuttermittel	106,9	0,3	106,4	5,2
Propiconazol	Mischfuttermittel	102,8	1,4	65,2	4,3
Propyzamid	Mischfuttermittel	99,1	2,3	101,6	6,1
Quinoxifen	Mischfuttermittel	99,5	2,1	97,2	4,8
Resmethrin	Mischfuttermittel	47,3	69,6	99,1	6,9
Spiroxamin	Mischfuttermittel	54,8	23,2	97,1	5,3
Triadimefon	Mischfuttermittel	100,4	0,1	99,4	6,1
Triadimenol	Mischfuttermittel	102,5	1,0	88,8	5,6
Triazophos	Mischfuttermittel	98,7	0,1	109,7	6,2
Trichlorphon	Mischfuttermittel	93,3	0,6	54,9	6,5
Trifloxystrobin	Mischfuttermittel	104,3	1,6	109,3	5,4

Die statistischen Daten der GPC-Reinigung von Dichlorvos, Resmethrin und Spiroxamin waren unbefriedigend. Die entsprechenden Resultate der SPE-Nachreinigung (GPC/VS/SPE/VS) fielen dagegen recht gut aus. Für Trichlorphon, Bitertanol und Famoxadone lieferte die GPC die besseren Ergebnisse.

Demnach ist nicht damit zu rechnen, dass mit einem Extraktreinigungsverfahren alle PSM oder eine Vielzahl von organischen Wirkstoffen bestimmt werden können. Die Extrakte müssen nach jedem Reinigungsschritt (z. B. GPC und SPE) analysiert werden. Vielleicht müssen noch die Extraktionsbedingungen optimiert und alternative SPE-Säulenmaterialien zur Nachreinigung geprüft werden.

4. Zusammenfassung

Die Automatisierung der Probenaufarbeitung von der Extraktion bis zur Reinigung der Extrakte ist möglich, wie am Beispiel einer VDLUFA-Methode (VDLUFA, 2008) gezeigt wurde. Die ersten Messreihen lieferten gute Ergebnisse hinsichtlich WF und V. Durch eine modifizierte Extraktion mittels ASE reichte für die meisten PSM die GPC als Reinigungsschritt aus. Die Automaten sind in ihren Verfahrensmöglichkeiten sehr flexibel. Bei analytisch schwierigen Proben kann es von Vorteil sein, auf eine optimale WF zu Gunsten sauberer Extrakte zu verzichten. Die relativ niedrigen V-Werte erlauben eine solche Aliquotierung der Extraktlösungen. Die hier vorgestellten Laborautomaten können nachts betrieben werden, wodurch ein ausreichender Probendurchsatz und eine zügige Probenbearbeitung garantiert werden können. Ein Wermutstropfen sind die Kosten für die Geräteinvestitionen. Die Entscheidung gegen oder für die Automatisierung in der organischen Analytik muss sich am analytischen Problem orientieren.

5. Literaturangaben

Amtliche Sammlung nach § 64 LFGB, 2007: Methode L00.00114, Rückstandsanalyse von Pflanzenschutzmitteln in Lebensmitteln. Tabellarische Auflistung von Precursor-Ionen und typischen Fragmenten sowie weiterer Messparameter von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen zur Bestimmung mittels gekoppelter Flüssigkeitschromatographie/Tandemmassenspektrometrie. Methode L00.00115, Multimethode zur Bestimmung von Pflanzenschutzmittelrückständen in pflanzlichen Lebensmitteln mittels GC-MS(/MS) oder LC-MS/MS nach Acetonitrilextraktion/Verteilung und Aufreinigung mittels dispersiver SPE (QuECHERS), BVL-Methodensammlung, Beuth Verlag GmbH.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2008: Methode 3.3.7.1, Bestimmung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen in ausgewählten be- und verarbeiteten Futtermitteln mittels chromatographischer Verfahren und massenspektrometrischer Detektion. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. VII Umweltanalytik, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Workflowoptimierung (nicht nur) im Futtermittellabor

J. Flekna

Pragmatis GmbH, Neufahrn

1. Zusammenfassung

Der Laboralltag in Futtermittellaboren ist häufig von Sortierarbeiten an Probentischen, Beschriftungsvorgängen von Probengefäßen bzw. Begleitzetteln, handschriftlichen und elektronischen Datenaufzeichnungen geprägt. Diese Arbeitsweisen sind zeitaufwändig und fehleranfällig. Der als Verbesserung gedachte Einsatz von Excellisten führt zu dezentralen, oft nicht gesicherten Datenparallelwelten. Diese Präsentation handelte von Lösungsmöglichkeiten der Firma Pragmatis zur Workflowoptimierung mittels (Pragmatis-) LIMS, Gerätekopplung (Pragmatis DeviceManager) und computergestützte Prozeßabbildung (Pragmatis Praefekt).

2. Faktoren zur Workflowoptimierung

Der Arbeitsablauf zur Abarbeitung von Laboraufträgen stellt verschiedene Faktoren zur Optimierung bereit. Exemplarisch werden Optimierungsmöglichkeiten vorgestellt,

- im LIMS (LaborInformationsManagementSystem),
- durch Meßmittelkopplung und
- durch computergestützte Prozeßabbildung.

3. Workflowoptimierung im LIMS

Die Dialoge am LIMS betreffen auch sehr arbeitsintensive Bereiche. Ein typisches Beispiel hierfür ist der Probeneingang. Die Proben treffen hier häufig stoßweise im Labor ein und müssen möglichst schnell sortiert und erfasst werden, weil das Labor zur nachfolgenden Verarbeitung wartet. Erschwert wird dieser Vorgang durch unklare Begleitschreiben und Aufträge, die dann zeitnah für das Labor geklärt werden müssen.

Der Probeneingang ist eine kritische Engpassstelle, weil das Labor sowohl auf das Probenmaterial als auch auf die Daten wartet.

Mittels Pragmatis-B2B (Business-to-business)-Schnittstellen, -eService und Erfassungsoptimierung kann der Probeneingang entschärft werden.

- B2B ermöglicht eine definierte Proben- und Prüfauftragsanmeldung und basiert auf DV-Standards.
- eService stellt ein Intra- oder Internetportal dar, zur Beauftragung und Voranmeldung der Proben durch den Auftraggeber über das Internet.
- Die Erfassungsdialoge können laborspezifisch z. B. durch Einsatz eines mittels LIMS-Designers erstellten Schnellerfassungsdialoges optimiert werden.

Alle drei Methoden führen zu einer Verringerung des Erfassungsaufwandes im Probeneingang durch vorgelagerte Ersterfassung (B2B und eService) bzw. durch spätere Nacherfassung und stellen damit eine wesentliche Workflowoptimierung dar.

4. Workflowoptimierung durch Gerätekopplung

Labore setzen üblicherweise Messmittel verschiedenster Hersteller mit unterschiedlichster Softwareunterstützung ein. Bei Messmitteln ohne Softwareunterstützung ist eine erhöhte Fehlerwahrscheinlichkeit durch die manuelle Messwertaufzeichnung und -übertragung gegeben. Bei Messmitteln mit Computerkopplung handelt es sich häufig um proprietäre Insellösungen mit dezentraler Datenhaltung.

Die Anschlussmöglichkeiten und Anschlüsse der Messmittel sind sehr heterogen: Die Geräte verfügen über eine oder Kombinationen von Schnittstellen auf Basis von TCP/IP, USB, RS232, Dateiservice und lokalen Datenbanken.

Aus Kosten- und Techniksicht ist eine standardisierte Gerätekopplungstechnik erwünscht, die eine zentrale Datenbank und einheitliche Konfiguration und Administration ermöglicht.

Das Schlagwort hierfür heißt Konsolidierung, nämlich die Konsolidierung der Geräte- bzw. Messmittelschnittstellen!

Pragmatis bietet hierfür den Pragmatis DeviceManager an. Dieser wird dezentral auf den Messgeräte-PCs installiert, legt die Konfigurations- und Messdaten zentral und transparent in eine Datenbank ab und bildet aus mehreren Schnittstellen ein sogenanntes DeviceGrid. Jede Schnittstelle besteht aus mindestens einem Softwaremodul (Unit). Je nach Anforderung können Units für die Datenbank-, RS232-, Fileservice- und gerätespezifische Kommunikation zusammengestellt werden.

5. Workflowoptimierung durch computergestützte Prozessabbildung

Die klassische Laborpraxis ist dadurch gekennzeichnet, dass die Gefäße meist handschriftlich codiert oder mittels eingestanzte oder aufgedruckte Gefäßnummern identifiziert werden. Darüber hinaus gibt es auf bzw. an den Gefäßen weitere Informationen über durchgeführte und noch ausstehende Analytik, spezielle Hinweise zur Lagerung und Auftragszugehörigkeit u. v. a. m. Hierzu werden Zettel angeklebt, Etiketten farblich variiert, farbige Deckel- und Gefäßvarianten eingesetzt.

Mit einer computergestützten Prozessabbildung müssen diese Gefäßinformationen elektronisch verwaltet und die Gefäße durch maschinenlesbare Barcodes, 2D-Codes, RFIDs oder mittels OCR identifiziert werden. Dadurch werden die tatsächlich stattgefundenen Abläufe und der jeweilige Bearbeitungs-zustand dokumentiert und abrufbar.

Die Abläufe sind - trotz aller Methodenstandardisierungen - letztendlich durch die Geräteausstattung, räumliche Gegebenheiten und Probenarten und -mengen sehr laborspezifisch. Infolgedessen muss die computergestützte Prozessabbildung laborspezifische Ausprägungen unterstützen. Mit dem Pragmatis Workflowdesigner (Praefekt-Designer) können Abläufe individuell mittels Workflowsymbolen gezeichnet und Logik hinterlegt werden. Aus diesen Workflowvorschriften werden durch die Praefekt-Laufzeitumgebung konkrete Verarbeitungslogik und Workflow-Dialoge zur Erfassung von Messdaten, deren Metadaten und Kontextinformation.

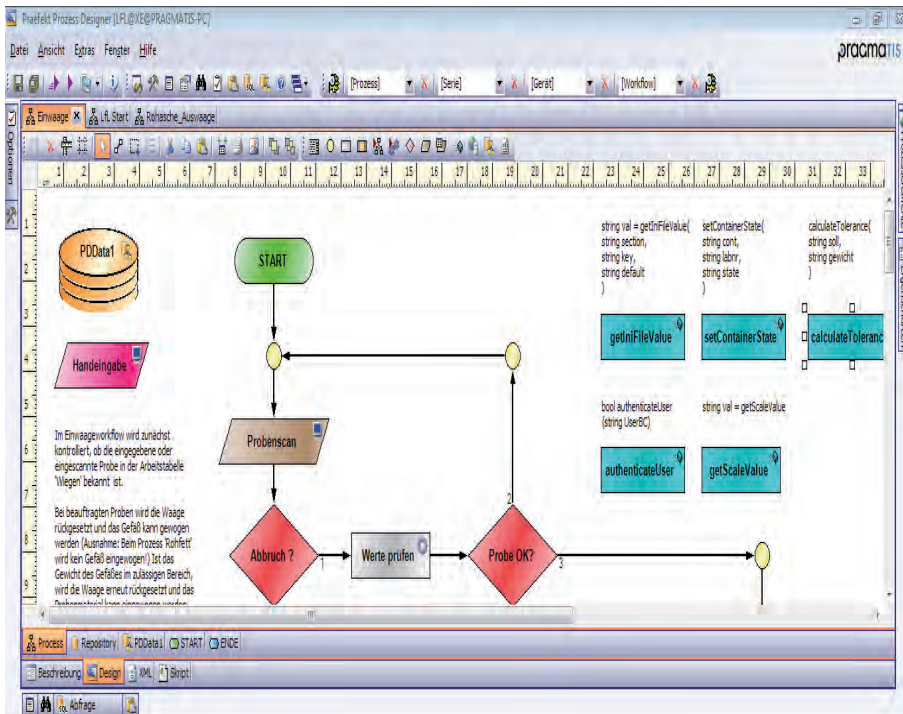


Abb. 1: Praefekt-Workflow-Designer zur Definition von laborspezifischen Prozessabläufen

- Mit dem Workflowsystem Praefekt erzielt man eine Workflowoptimierung durch
- laborspezifische Ablaufdefinition mittels Workflowdesigner,
 - Konsolidierung der Prozessdatenhaltung indem z. B. Exceldaten zentralisiert in einer Datenbank abgelegt werden und
 - transparente Statusinformationen über die Messung und der Probe

Methodenvalidierung nach EU-Entscheidung 2002/657/EG am Beispiel der Bestimmung von Nitroimidazolrückständen in Futtermitteln

J. Polzer, C. Stachel, P. Gowik

EU-Referenzlabor (EURL) für pharmakologisch wirksame Stoffe im Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), Berlin

1. Einleitung

Futtermittel sind eine zulässige Matrix für die in EU-Richtlinie 96/23/EG des Rates geforderten Kontrollen auf Rückstände verbotener oder nicht zugelassener Stoffe in Tieren und tierischen Produkten, die der Lebensmittelgewinnung dienen. Die Gruppe der 5-Nitroimidazole ist dabei eine der Substanzgruppen, deren Untersuchung explizit gefordert ist.

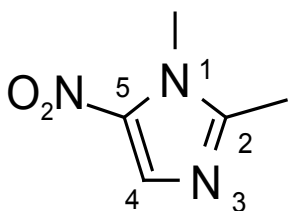


Abb. 1: Struktur der 5-Nitroimidazole (Beispiel: Dimetridazol)

Nitroimidazole zählen zu den kokzidiostatisch wirkenden Substanzgruppen und wurden z. B. zur Behandlung der Schwarzkopfkrankheit bei Geflügel oder der Dysenterie bei Schweinen eingesetzt.

Aufgrund potentieller cancerogener und mutagener Nebenwirkungen ist aber mittlerweile die Anwendung einiger Nitroimidazole (Dimetridazol, Metronidazol und Ronidazol) bei lebensmittelliefernden Tieren in der EU explizit verboten, für alle anderen 5-Nitroimidazole besteht keine Zulassung. Dementsprechend müssen für die Überwachung dieser Vorgaben leistungsfähige Analysemethoden verfügbar sein, die nach den Vorgaben der Entscheidung der Kommission 2002/657/EG validiert wurden (Kriterienansatz für in-house Validierungen).

Da es sich bei Futtermitteln um eine komplexe und höchst unterschiedliche zusammengesetzte Probenmatrix handelt, stellt sich die Frage, wie hier eine Methodenvalidierung möglichst effizient bei gleichzeitiger Verlässlichkeit der Validierungskenndaten gestaltet werden kann. Wenn die Validierung von einzelnen Futtermitteln vermieden werden soll, bietet sich die Validierung mittels experimenteller Versuchspläne an (matrix comprehensive in-house validation approach, Jülicher et al., 1998 und 1999). Im Folgenden wird eine auf diesem Validierungsansatz basierende Methodenvalidierung und deren Auswertung mittels der Validierungssoftware InterVal Plus (Quodata GmbH, Dresden) vorgestellt. Dieser Ansatz wurde mittlerweile auch erfolgreich bei der laborübergreifenden Methodenvalidierung für Ringversuche mit geringer Anzahl an teilnehmenden Laboratorien (mindestens 4) getestet.

2. Material und Methoden

2.1 Auswahl des Validierungsansatzes

Anforderungen an eine Validierung von Methoden, die zur Analyse amtlicher Proben nach EU-Richtlinie 96/23/EG verwendet werden, sind in Entscheidung der Kommission 2002/657/EG festgelegt. Die Methodenvalidierung kann auf Basis eines klassischen Validierungsansatzes oder eines alternativen Validierungsansatzes durchgeführt werden. Im EURL wird der alternative Validierungsansatz bevorzugt, da er entscheidende Vorteile bietet. Dieser Ansatz legt orthogonale faktorielle Versuchspläne bei der Validierungsdurchführung zu Grunde. Durch die Verwendung dieses Versuchsplanes lassen sich die Wirkungen unterschiedlicher Einflussfaktoren (z. B. Matrix, Robustheit der Methode, Operator) gleichzeitig untersuchen, indem mehrere Faktoren geplant variiert werden. Durch den faktoriellen orthogonalen Versuchsplan ist es mittels Varianzanalyse möglich, die verschiedenen Einflussgrößen auch getrennt zu erfassen und systematische und zufällige Messabweichungen zu ermitteln. Daraus lassen sich weiterhin die laborinterne Reproduzierbarkeit sowie die anderen erforderlichen Methodenkenndaten (Wiederholbarkeit, Wiederfindung, Entscheidungsgrenze CC_{α} und Nachweisvermögen CC_{β}) errechnen. Die auf dieser Basis ermittelten Methodenkenndaten bieten somit eine wesentlich höhere Datenqualität als bei einem klassischen Ansatz, oder andersherum: wenn mit einem klassischen Ansatz die gleiche Datenqualität erzielt werden wollte, müsste eine wesentlich höhere Probenzahl zugrunde gelegt werden.

2.2 Festlegung der Rahmenbedingungen für die Validierungsstudie der Analyte und relevanter Konzentrationsbereich

Bezüglich der Analyte sind zumindest die explizit verbotenen Nitroimidazole Dimetridazol, Ronidazol und Metronidazol zu erfassen. Es ist aber empfohlen, auch weitere Nitroimidazole, die prinzipiell auf dem Markt verfügbar wären, zu kontrollieren.

Ein technischer Leitfaden der EURL (CRL Guidance Paper 2007) für Methoden der Rückstandskontrolle empfiehlt für die Bestimmung von Nitroimidazolen in Futtermitteln Entscheidungsgrenzen von mindestens 50 ng/g oder darunter. Dementsprechend wurde das unterste Dotierungsniveau für die Validierungsstudie auf 15 ng/g festgelegt.

Verwendetes Analyseverfahren

Für die Bestimmung der Nitroimidazole in Futtermitteln wurde auf Basis einer bestehenden Methode für Muskel und Plasma (Polzer und Gowik, 2001) eine Methodenoptimierung durchgeführt. Der Ablauf der optimierten Probenaufarbeitung ist wie folgt: Die homogenisierte Futtermittelprobe wird mit internen Standards versetzt und mit Acetonitril extrahiert. Der Acetonitrilextrakt wird mit n-Hexan entfettet und anschließend zur Trockne eingedampft. Der trockene Rückstand wird in Phosphatpuffer pH 6 aufgenommen und auf Kieselguhr-Kartuschen aufgegeben. Die Elution von diesen Kartuschen erfolgt mit Ethylacetat/tert.-Butyl-methylether (1+1 V+V). Der Extrakt wird wiederum zur Trockne eingengt und im LC-Eluenten A (Ameisensäure/Acetonitril/Wasser (1+29+970 V+V+V) aufgenommen. Die wässrige Lösung wird filtriert (Eppendorfvials mit 100kDa-Filtern), in LC-vials überführt und mittels LC-MSMS im positiv-ESI-Betrieb gemessen. Für die vorliegende Studie wurde für die Trennung ein Gradienten-UPLC-System verwendet.

Für die Detektion der Nitroimidazole wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Ionenübergänge gemessen. Insgesamt wurden 9 Nitroimidazole mit jeweils zwei Ionenübergängen gemessen, außerdem als interne Standards die isopenmarkierten D₃-Dimetridazol, D₃-Ronidazol, ¹³C₂¹⁵N₂ Metronidazol und D₃-Iprnidazol bzw. D₃-Iprnidazolhydroxid.

Tab. 1: Analyte und Ionenübergänge für die Messung mittels LC/MSMS

Analyt	Basis-Ion	1. Produkt-Ion	2. Produkt-Ion	Interner Standard
Metronidazol	172	128	82	$^{13}\text{C}_2^{15}\text{N}_2\text{MNZ}$
Dimetridazol	142	96	54	D ₃ -DMZ
Ronidazol	201	140	55	D ₃ -RNZ
Ternidazol	186	128	82	$^{13}\text{C}_2^{15}\text{N}_2\text{MNZ}$
Secnidazol	186	128	82	$^{13}\text{C}_2^{15}\text{N}_2\text{MNZ}$
Tinidazol	248	128	82	D ₃ -IPZOH
Ornidazol	220	128	82	D ₃ -IPZOH
Ipronidazol	170	109	124	D ₃ -IPZ
Carnidazol	245	118	75	D ₃ -IPZ

Proben

Acht verschiedene, kommerziell erhältliche Mischfuttermittel (3 Futtermittel für Schweine: Alleinfutter für Anfangs- und Endmast, Ferkelaufzuchtsfutter; 1 Legehennenalleinfutter, 1 Alleinfuttermittel für Masthühnerküken, 1 Putenmastfuttermittel, 1 Geflügelkörnerfuttermittel, 1 Mineralfuttermittel: Ergänzungsfuttermittel für Milchkühe) wurden als Proben für die acht Validierungsläufe ausgewählt. Die ausgewählten Futtermittel hatten unterschiedlichste Zusammensetzungen, unterschiedliche Futtermittelzusatzstoffe (Vitamine, Mineralien,...) und einen Rohfettgehalt bis zu 5 % und sollten daher repräsentativ für später mit der Methode zu untersuchende Proben sein.

Faktoren

Für die Erstellung eines Versuchsplans müssen Faktoren ausgewählt werden, die potentiell die Messergebnisse beeinflussen können. Die Faktorenauswahl ist unter Berücksichtigung bisheriger analytischer Erfahrungen so zu treffen, dass möglichst alle wichtigen Einflussparameter erfasst werden und die Robustheit der Methode belegt wird. In der vorliegenden Validierungsstudie wurden folgende Faktoren ausgewählt: die eingesetzte Probenmenge, Hersteller der Probenkartuschen, Methodenparameter (Extraktionsart, Anzahl der Extraktions- und Entfettungsschritte), Aufbewahrung der Endextrakte vor der Messung und das Endvolumen der Messlösung).

Die für die Erstellung der Versuchspläne und die Auswertung der Validierungsergebnisse verwendete Software InterVal Plus erlaubt dabei die Auswahl von bis zu 7 Faktoren, die auf jeweils zwei Faktorstufen variiert werden können.

2.3 Versuchsplan und Validierungsdurchführung

Aus den festgelegten Faktorstufen wird ein Versuchsplan erstellt. Der Versuchsplan besteht aus 8 verschiedenen Faktor/Stufenkombinationen („Lauf“). Jedem dieser Läufe wurde zufällig eine Futtermittelprobe zugeordnet. Jede Futtermittelprobe wurde auf 5 verschiedenen Konzentrationsniveaus dotiert (15, 30, 45, 60 und 75 ng/g jedes Nitroimidazols) und entsprechend des Versuchsplans analysiert, wobei jeweils auch Probenblindwerte mitgemessen wurden.

Tab. 2: Versuchsplan zur Validierungsdurchführung

Lauf	Probenmenge	Extraktionsart	Extraktionsschritte	Entfettungsschritte	Kartusche	Aufbewahrung Endextrakt	Endvolumen Messlösung
1	2,5g	Vortexer	2	1	Varian	keine	400 µl
2	1,5g	Überkopf	1	1	XTR	keine	400 µl
3	2,5g	Überkopf	1	2	Varian	keine	250 µl
4	1,5g	Überkopf	2	2	Varian	2-3d	400 µl
5	1,5g	Vortexer	2	2	XTR	keine	250 µl
6	2,5g	Überkopf	2	1	XTR	2-3d	250 µl
7	1,5g	Vortexer	1	1	Varian	2-3d	250 µl
8	2,5g	Vortexer	1	2	XTR	2-3d	400 µl

Von den 8 Läufen wurden je zwei Läufe zusammengefasst und die Analysen zu vier verschiedenen Zeitpunkten über einen Zeitraum von 4 Wochen durchgeführt. Für jede der 4 Messserien wurde eine Standardkalibriergerade erstellt und mitgemessen. Über diese erfolgte dann die Quantifizierung der Proben. Insgesamt wurden somit 40 Proben plus Blindwerte aufgearbeitet und gemessen.

3. Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 2 zeigt ein typisches Chromatogramm einer mit je 15 ng/g Nitroimidazolen dotierten Futtermittelprobe. Die Übergänge zeigen jeweils deutliche

Signale, gleiches gilt für die hier nicht gezeigten zweiten Produktionen zur eindeutigen Substanzbestätigung.

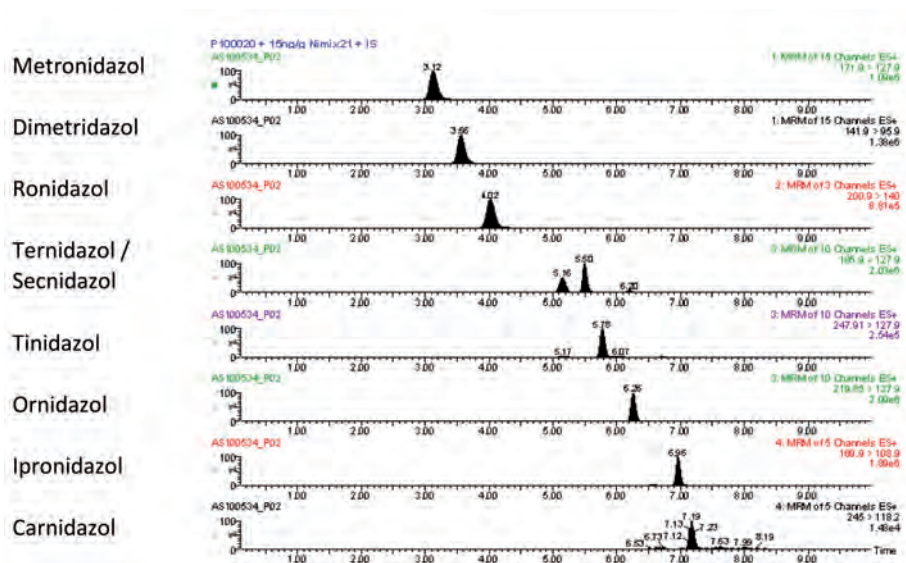
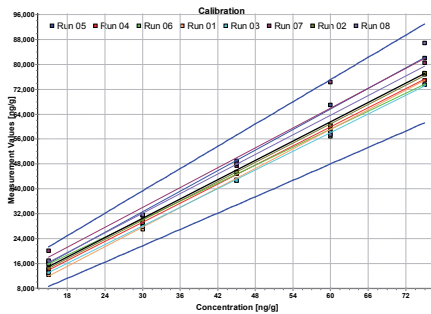


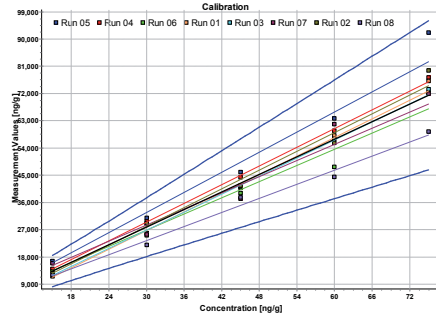
Abb. 2: Beispiel eines Chromatogramms einer Futtermittelprobe dotiert mit 15 ng/g Nitroimidazolen (LC/MSMS Übergänge der Basisionen)

Die Berechnung der Methodenkenndaten erfolgte aus den Ergebnissen der 8 Validierungsläufe, aus denen jeweils Matrixkalibriergeraden und eine Gesamtkalibriergerade erstellt wurden. Abbildung 3 zeigt Beispiele dieser Auswertungen für zwei der gemessenen Nitroimidazole (Metronidazol und Secnidazol). Aus dem jeweiligen Vorhersageintervall der Matrixkalibriergerade wird die Entscheidungsgrenze CC_{α} , das Nachweisvermögen CC_{β} sowie die laborinterne Reproduzierbarkeit ermittelt.

Durch die Verwendung des orthogonalen Versuchsplans lassen sich außerdem die Beiträge der Einflussgrößen, die sich zur Gesamtstreuung addieren, ermitteln. Die konzentrationsabhängige Darstellung dieser Beiträge ist in Abbildung 4 dargestellt.



Beispiel: Metronidazol



Beispiel: Secnidazol

Abb. 3: Beispiele der für die 8 Validierungsläufe ermittelten Matrixkalibriergeraden sowie der resultierenden Gesamtmatrixkalibriergerade und des dazugehörigen Vorhersageintervalls

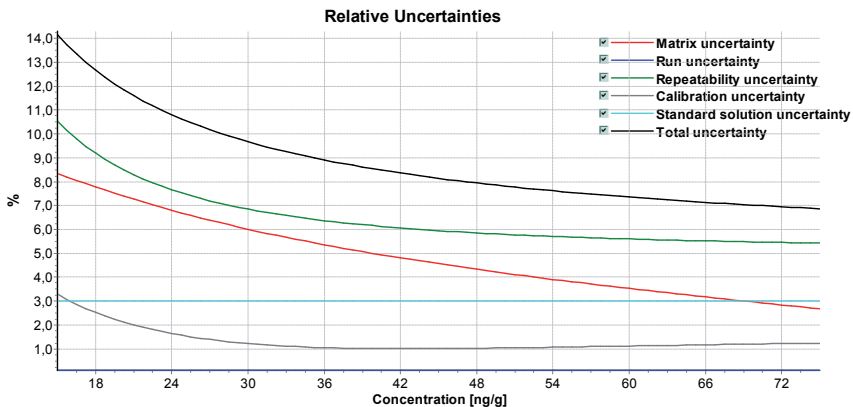


Abb. 4: Konzentrationsabhängige Beiträge zur Messunsicherheit verschiedener Einflussparameter am Beispiel Metronidazol (Berechnung aus den Validierungsdaten)

Die Übersicht über die ermittelten Methodenkenndaten ist in Tabelle 3 dargestellt. In Entscheidung der Kommission 2002/657/EG wurde festgelegt, welche Kriterien für die Rückstandskontrolle geeignete Methoden erfüllen müssen. Die Methodenkenndaten erfüllen die genannten Forderungen (Wiederfindung

80-110 %; laborinterne Reproduzierbarkeit <23 % ; Bestätigung von 95 % der Proben am CC_{β}) für alle Analyte problemlos. Lediglich für Carnidazol ist die Methode ungeeignet, da kein zuverlässiger Nachweis von Carnidazol möglich war (nur in 30 der 40 dotierten Proben konnte Carnidazol nachgewiesen werden). Die mit diesem Validierungsansatz ermittelte laborinterne Reproduzierbarkeit kann außerdem zu der nach DIN ISO/IEC 17025 geforderten Abschätzung der Messunsicherheit von Prüfergebnissen verwendet werden, da mit diesem Verfahren die relevanten Beiträge zur Messunsicherheit (z. B. zufällige Effekte, Operator-Effekte, Matrixeffekte, Messgeräteeffekte) erfasst werden.

Tab. 3: Übersicht über die Methodenkenndaten

Analyt	Kalibrierbereich ng/g	Anzahl Messwerte	CC_{α}	CC_{β}	Wiederfindung in % am CC_{α}	Labo- rinterne Reprodu- zierb. % am CC_{α}	CC_{α} Screening
Dimetridazol	15-75	40	19,9	23,8	96,1	9,3	2,6
Iprnidazol	15-75	40	20,1	24,3	95,2	9,7	3,5
Metronidazol	15-75	40	21,1	26,0	100,8	11,7	3,4
Ornidazol	15-75	40	20,0	24,7	98,1	11,0	5,0
Ronidazol	15-75	40	21,0	26,1	103,7	12,5	4,1
Secnidazol	15-75	40	20,3	25,3	90,8	11,0	3,4
Ternidazol	15-75	40	24,1	32,1	82,8	13,4	7,0
Tinidazol	15-75	40	22,3	29,4	97,1	14,2	6,9
Carnidazol	15-75	~30	xx	xx	xx	xx	xx

3.1 Weiterführende Auswertung des Validierungsexperiments

Die Validierungssoftware bietet neben der Berechnung der laborinternen Reproduzierbarkeit auch die Möglichkeit, den Einfluss der gewählten Faktoren auf die Streuung der Messergebnisse abzuschätzen. Abbildung 5 gibt ein Beispiel für diese Auswertung. Bei Metronidazol wurden von den 7 ausgewählten Faktoren (s. o.) zwei als statistisch signifikant identifiziert: die Matrixmenge und die Zahl der Entfettungsschritte. Diese Kenntnis bietet zum einen die Möglichkeit, kritische Schritte einer Methode zu identifizieren, zum anderen auch die Möglichkeit, die Methode weiter zu verbessern, indem einzelne Faktoren fixiert oder Einzelschritte optimiert werden.

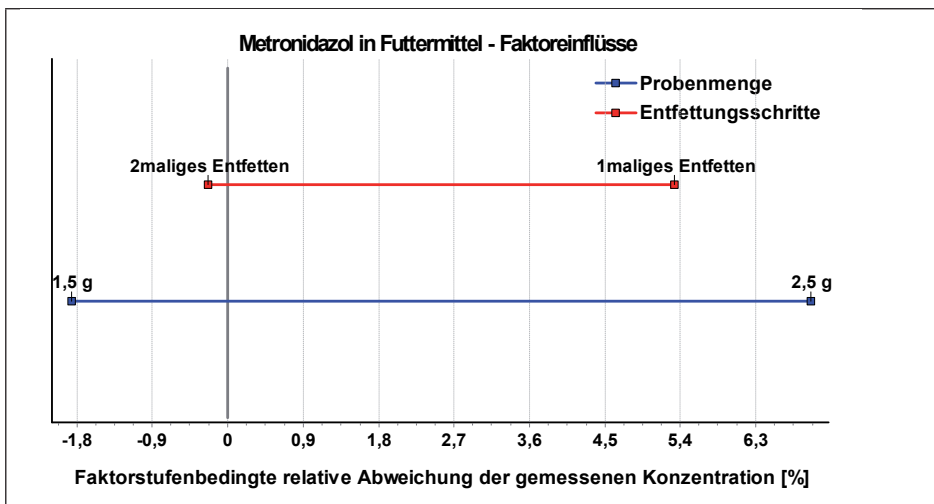


Abb. 5: Einfluss als signifikant erkannter Faktoreinflüsse auf das Analyseergebnis

4. Zusammenfassung

Die Durchführung der Validierung auf Basis eines orthogonalen faktoriellen Versuchsplans hat sich als praktikabel und effizient erwiesen. Die mit der Validierungssoftware mögliche, detaillierte Auswertung potentieller Einflussparameter auf das Analyseergebnisse eröffnet vielfältige Möglichkeiten zur weiteren Methodenverbesserung und zur Abschätzung des Matrixfehlers (der mit anderen Methoden nur schwierig zu erfassen ist).

Die im Verlauf der vorgestellten Validierungsstudie ermittelten Methodenkenndaten zeigen, dass die beschriebene Methode die Anforderungen der Entscheidung der Kommission 2002/657/EG erfüllt und für die Kontrolle von 8 Nitroimidazolrückständen in Futtermittel gemäß EU-Richtlinie 96/23/EG des Rates geeignet ist.

5. Literatur

CRL, 2007: CRLs View on the State of the Art Analytical Methods for National Residue Control Plans. Guidance Paper, 7 December 2007.

Jülicher, B., Gowik, P., Uhlig, S., 1999: Analyst, 124, 537-545.

Jülicher, B., Gowik, P., Uhlig, S., 1998: Analyst, 123, 173-179.

Polzer J., Gowik P., 2001: J. Chromatogr. B 761, 47.

Anwendung des DR[®]-Calux Bioassays zum Nachweis von Dioxinen und dioxinähnlichen Verbindungen

J. Winkler

Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, Kassel

1. Einleitung

Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine (PCDD) und Dibenzofurane (PCDF) sowie dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle („Dioxin-like“ PCB, dl-PCB) gehören zu einer Gruppe von persistenten Umweltschadstoffen, welche als Nebenprodukte bei der Synthese chlorierter organischer Verbindungen (z.B. Herbizide, Kunststoffe) oder bei der Verbrennung chlorhaltiger Materialien entstehen. Aufgrund ihrer Lipophilie und ihrer Persistenz akkumulieren PCDD/F und dl-PCB bevorzugt im Fettgewebe von Organismen, welche am Ende von Nahrungsketten stehen und so auch im Menschen. Einige Kongenere dieser Stoffklassen können bereits in geringer Konzentration ein breites Spektrum toxischer Wirkungen entfalten. Die hier vorgestellte Methode zum Nachweis von PCDD, PCDF und dl-PCB verfolgt den Ansatz einer „wirkungsbezogenen Analytik“ unter Verwendung eines zellbasierten DR-CALUX[®]-Bioassays (dioxin responsive-chemically activated luciferase gene expression). Im Gegensatz zur sehr zeit- und arbeitsaufwendigen chemisch-physikalischen Einzelstoffanalytik wird der Effekt einer Probe auf biologische Zielstrukturen in seiner Gesamtheit ermittelt.

Das molekulare Reaktionsprinzip des Assays verläuft über den cytosolischen Arylhydrocarbon-Rezeptor (Ah-Rezeptor), welcher über eine komplexe Signalkette die Expression einer plasmidcodierten Luciferase induziert (Abb. 1). Hierbei korreliert die biologische Antwort bzw. die Toxizität einer Verbindung mit der Affinität zum Ah-Rezeptor und der hierdurch induzierten Menge an Luciferase. Die gebildete Luciferase wird anschließend indirekt in einem Luminometer photometrisch bestimmt. Die Quantifizierung erfolgt z.B. über bekannte Konzentrationen einer TCDD (2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin) Standardreihe.

Die Anwendbarkeit des vorgestellten Assays als bioanalytische Screeningmethode wurde durch vergleichende Daten aus der GC-HRMS-Analytik bestätigt.

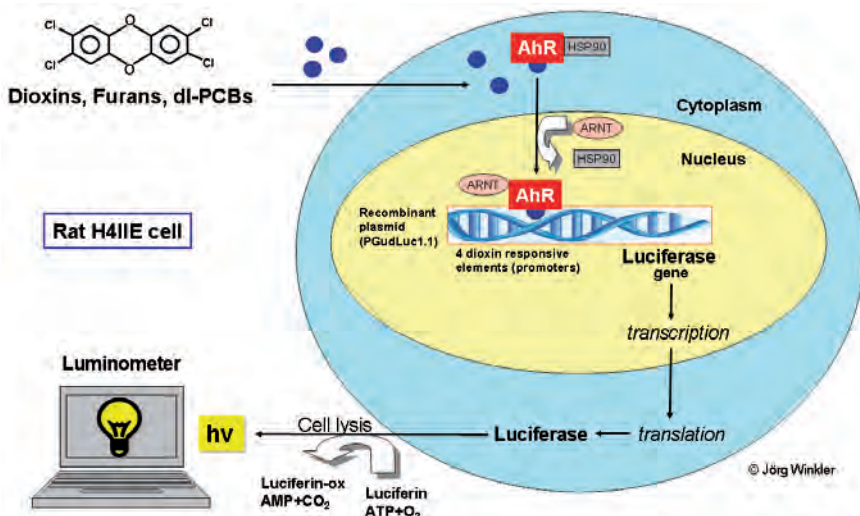


Abb. 1: Molekulares Wirkprinzip des DR[®]-CALUX Bioassays. AhR = Aryl hydrocarbon Receptor, HSP = Heatschok protein, ARNT = Aryl hydrocarbon receptor nuclear translocator

2. Material und Methoden

Probenvorbereitung und Extraktion. Die zu untersuchenden Proben werden eingewogen, mit einem Gemisch aus Wasser und Isopropanol benetzt und anschließend mit Hexan/Ether ((97:3 (v/v)) dreimal extrahiert (Abb. 2). Die Überstände der Hexanphasen (Abb. 3) werden vereint und in einem Evaporator in einem kontinuierlichen Stickstoffstrom bei maximal 43°C bis auf ca. 1 ml eingengt (Abb. 4).

Säulenlauf ("clean-up") und Einengen der Proben. Der eingengte Extrakt wird auf eine mit Hexan equilibrierte und mit H₂SO₄ aktivierte Kieselgelsäule gegeben und anschließend mit einer definierten Mengen Hexan eluiert (Abb. 5). Das Eluat wird im Evaporator eingengt und in DMSO gelöst.



Abb. 2: Probenextraktion



Abb. 3: Phasentrennung



Abb. 4: Einengen der Proben

Zellkultur. Eine permanente Rattenleberzelllinie (H4IIE), welche über eine plasmidcodierte Information zur Expression von Ah-Rezeptor aktivierter Luciferase verfügt, wird in Zellkulturmedium aufgenommen und anschließend bis zur Konfluenz im CO₂-Inkubator bei 37 °C und 5 % CO₂ in einer Zellkulturflasche inkubiert (Abb. 6). Die konfluent gewachsenen Zellen (Abb. 7) werden abtrypsiniert, in 96-well-Platten ausgesät und über Nacht im Inkubator gelagert. Das in DMSO gelöste Eluat wird ebenfalls in Zellkulturmedium aufgenommen und anschließend in die frisch bewachsenen 96-well Zellkulturplatten aufgenommen. Jede Konzentration wird dreifach angesetzt. Die Zellkulturplatten inkubieren für 24 - 48 h bei 37 °C und 5 % CO₂. Neben den Probenextrakten werden bekannte Konzentrationen einer TCDD- (2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin) Standardreihe jeweils dreifach auf die selbe, bewachsene 96-well Platte gegeben.

Photometrische Bestimmung der Luciferase im Luminometer. Die mit den Extrakten inkubierten 96-well Zellkulturplatten werden nach 24-48 h lysiert. Dioxine und dioxinähnliche Verbindungen induzieren die Expression einer plasmidcodierten Luciferase, welche nach Zelllyse und nach Zugabe von Substrat in einem Luminometer photometrisch in „relative light units“ (RLUs) bestimmt wird.



Abb. 5: Kieselgel Chromatographie



Abb. 6: Zellkultur

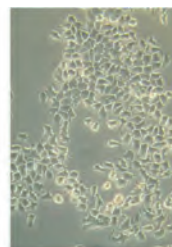


Abb. 7: H4IIE-Zellen

3. Ergebnisse

Dosis-Wirkungs-Beziehung. Der Kurvenverlauf der Dosis-Wirkungs-Beziehung entspricht dem Konzept eines Rezeptors (hier Ah-Rezeptor) und seiner Wechselwirkung mit einem Wirkstoff, dem Agonisten oder Liganden (hier 2,3,7,8-TCDD). Im vorliegenden Fall wurde auf der Abszisse in logarithmischer Form die TCDD-Konzentration und auf der Ordinate in linearer Form die Wirkung d.h. die Expression der Luciferase, indirekt bestimmt über die „relative light units“ (RLUs), aufgetragen (Abb. 8). Bei einer eindeutigen Dosis-Wirkungs-Beziehung ergibt sich ein typischer sigmoider Kurvenverlauf, aus welchem sich liganden-

spezifische Kenngrößen ableiten lassen. Der EC_{50} -Wert eines Liganden gibt die Konzentration an, bei der 50 % des Maximaleffektes erreicht wurde. Die größte Potenz hat der Ligand, der bei der niedrigsten Konzentration den EC_{50} -Wert erreicht. TCDD erreichte als toxischstes Kongener (WHO-TEF (Toxizitäts-Äquivalenz-Faktor) = 1) im vorliegenden Test einen EC_{50} -Wert von ~ 8 pM.

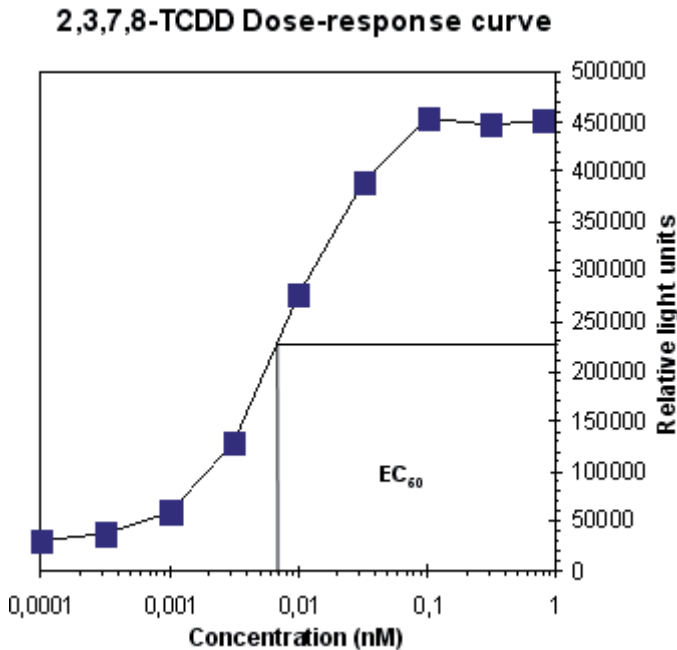


Abb. 8: Dosis-Wirkungs-Beziehung von 2,3,7,8-TCDD und der induzierten Luciferase in H4IIE-Zellen, verantwortlich für die Umsetzung von Luciferin in seine oxidierte Form

Vergleich von Messwerten ermittelt über GC-HRMS (TEQ) und dem DR®-CALUX Bioassay (BEQ)

Tab. 1: Vergleich zwischen TEQ- und BEQ-Werten ermittelt für unterschiedliche Matrices. RM=Referenzmaterial, RV=Ringversuchsergebnisse, TEQ = Toxizitäts-Equivalent, BEQ = Bioanalytisches Equivalent; *Messwerte incl. BG

Probenmatrix	TEQ [pg/g]	BEQ [pg/g]	RV (Bioassay)
Fischöl (RM4)	2,2	2,7	3,7 ±2,1
Fischöl (RM5)	7,7	8,3	8,8 ±3,9
Fischöl (RM6)	14,8	19	16 ±4,7
Schwertfisch, Filet 1	0,120*	0,045	
Schwertfisch, Filet 2	0,125*	0,1	
Schwertfisch, Filet 3	0,125*	0,097	
Schwertfisch, Filet 4	0,140*	0,23	
Futtermittel (RM1)	0,37	0,45	0,68 ±0,50
Futtermittel (RM2)	0,74	0,75	0,9 ±0,53
Futtermittel (RM3)	1,4	1,7	1,4 ±0,63
Futtermittel 1	0,22*	0,51	
Futtermittel 2	0,13*	0,72	
Futtermittel 3	0,12*	0,20	
Futtermittel 4	0,09*	0,30	

Tabelle 1 vergleicht die mit der hochauflösenden Analytik ermittelten TEQ-Werte (Dioxine, Furane und dl-PCB) aus 3 verschiedenen Probenmatrices mit den ermittelten BEQ-Werten des eingesetzten DR®-Calux Bioassays (entspricht bei der Bewertung geschätzten TEQ-Werten). Zusätzlich wurden die Ergebnisse und Analysenspielräume einzelner Ringversuche, durchgeführt mit den gleichen Proben, gegenüber gestellt. Bei den Ringversuchsproben (Fischöl und Futtermittel) zeigte sich eine gute Übereinstimmung der Messergebnisse, wobei der Bioassay leicht höhere Messwerte lieferte. Bei Futtermitteluntersuchungen mit sehr geringen Gehalten (Futtermittel 1-4) lieferte der Bioassay zwar vergleichsweise höhere Messwerte, jedoch keine falsch-positiven Ergebnisse. Gering belastete Fette, extrahiert aus Schwertfischen, ergaben in beiden Messsystemen

men vergleichbare Werte. Auch hier lieferte der Bioassay keine falsch-positiven Resultate. Keine der Vergleichsuntersuchungen ergab ein falsch-negatives Ergebnis. Die Gegenüberstellung der Probenergebnisse rechtfertigt eine Anwendung des DR[®]-Calux Bioassays als bioanalytische Screeningmethode.

4. Diskussion

Die Analytik von Dioxinen, Furanen und dl-PCB erfolgt bislang über zeit- und kostenintensive GC-HRMS Methoden. Der hier vorgestellte Bioassay verfolgt mit seiner wirkungsbezogene Detektion ein grundlegend anderes Konzept:

GC-HRMS. Identifizierung und Quantifizierung einzelner Kongenere. Hieraus Berechnung eines TEQ-“Summenwertes“:

$$\text{TEQ} = [(\text{PCDDa} \times \text{TEFa})_n] + [(\text{PCDFb} \times \text{TEFb})_n] + [(\text{PCBc} \times \text{TEFc})_n]$$

Bioassay. Als wirkungsbezogene Screeningmethode nicht analyt-spezifisch. Es wird ein Effekt auf eine biologische Zielstruktur in seiner Gesamtheit ermittelt und als BEQ-Wert angegeben. Absicherung eines positiven Befundes durch GC-HRMS.

Eingesetzt als Screening-Methode kann mit dem DR-Calux[®] Assay eine große Anzahl von Proben in kurzer Zeit untersucht werden. Nur ein sehr kleiner Teil von Positivbefunden muss anschließend mit zeit- und kostenintensiven hochauflösenden Methoden nachuntersucht werden. Zusätzlich kann der Calux-Assay auf toxische Substanzen ansprechen, welche noch nicht im TEQ-Konzept der EU erfasst wurden. Eine Kombination von Bioassay und hochauflösender Analytik würde eine erhebliche Kostenersparnis bzw. einen höheren Probendurchsatz ermöglichen und im Hinblick auf zukünftige Dioxinkrisen mehr Sicherheit für den Verbraucher bedeuten.

Die Ringversuchsdatenbank der Fachgruppe Bodenuntersuchung

H. Hartwig, W. Übelhör

Landwirtschaftliches Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg, Karlsruhe

1. Einleitung

Seit einigen Jahren werden in der Fachgruppe II „Bodenuntersuchung“ des VDLUFA die berechneten Maßzahlen von abgeschlossenen Ringversuchen gesammelt und in einer Excel-Tabelle gespeichert. In dieser Datei sind für den Bereich „Boden“ die Ergebnisse der Ringversuche der Fachgruppe Bodenuntersuchung seit dem Jahr 1993 und die Daten aus den Ringversuchen im Rahmen der Laborzulassung nach Fachmodul Abfall seit 1999 enthalten. Der zweite Teil der Datenbank umfasst die Ergebnisse aus dem Bereich „Kultursubstrate“ und sammelt die Zahlen der Ringversuche des Arbeitskreises Kultursubstrate seit dem Jahr 1997. Der Umfang der Datensammlung ist gegenwärtig auf über 1600 Ergebnisse (Proben, Elemente, Methoden) der Matrix „Boden“ angestiegen. Bei der Matrix „Kultursubstrate“ liegen die Daten von über 800 Untersuchungen vor.

2. Aufbau und Struktur der Datenbank

Die Exeldatei enthält insgesamt acht Datenblätter, von denen vier die eigentliche Information enthalten. Für den Bereich Boden und Kultursubstrate jeweils eine Tabelle mit einer Übersicht, aus der abzulesen ist, welcher Parameter in welchem Jahr mit wie viel Proben vertreten ist. Außerdem gibt es je eine Tabelle, in der die Messwerte und Kennzahlen aufgelistet sind.

Abbildung 1 zeigt einen Screenshot der Übersicht für die Matrix „Boden“. Neben dem Elementnamen ist die verwendete Methode, die VDLUFA Methodenbezeichnung und die Maßeinheit aufgeführt. Bei der Darstellung wurden zur besseren Übersicht einige Jahre ausgeblendet. Es sind mittlerweile insgesamt 50 verschiedene Parameter (Element)-Methoden-Kombinationen vorhanden.

Analyt. Verfahren	Methode	Einheit für Analyt und U_{Bor}	Regression für U_{Bor}	Untere Grenze der Vergleichbarkeit	Kennwerte der Regression					Horrat-Werte		
					r^2	n	\bar{x}_{min}	\bar{x}	\bar{x}_{max}	\bar{x}_{min}	\bar{x}	\bar{x}_{max}
Hauptelemente												
K (CaCl2)	A 6.2.1.7	mg/100g	$U_{\text{Bor}} = 2 (0,07 + 0,0547 \times K)$	0,31	0,92	17	1,41	9,76	25,46	0,95	0,77	0,82
K (CAL)	A 6.2.1.1	mg/100g	$U_{\text{Bor}} = 2 (0,45 + 0,0391 \times K)$	3,0	0,86	34	2,52	21,11	70,04	2,20	0,84	0,76
K (DL)	A 6.2.1.2	mg/100g	$U_{\text{Bor}} = 2 (0,64 + 0,0381 \times K)$	4,6	0,48	35	2,81	23,17	73,72	2,76	0,94	0,79
Mg (CaCl2)	A 6.2.4.1	mg/100g	$U_{\text{Bor}} = 2 (0,08 + 0,0524 \times \text{Mg})$	0,37	0,85	36	1,33	9,23	24,54	1,02	0,75	0,80
Mg (CAT)	A 6.4.1	mg/100g	$U_{\text{Bor}} = 2 (0,03 + 0,0601 \times \text{Mg})$	0,1	0,86	30	1,30	8,96	23,14	0,73	0,77	0,87
N (Kjeldahl)	A 2.2.1	% TM	$U_{\text{Bor}} = 2 (0,006 + 0,0349 \times \text{N})$	0,05	0,41	27	0,05	0,18	0,41	2,29	1,27	1,06
N (N-Analysator)	DIN ISO 13878	% TM	$U_{\text{Bor}} = 2 (0,008 + 0,0338 \times \text{N})$	0,075	0,42	36	0,04	0,18	0,41	3,55	1,57	1,19
NH4-N (CaCl2)	A 6.1.4.1	mg/kg	$U_{\text{Bor}} = 2 (0,23 + 0,2 \times \text{NH4-N})$	3,5	0,82	32	0,80	3,24	8,80	2,92	2,01	1,96
NH4-N (CAT)	A 6.4.1	mg/kg	$U_{\text{Bor}} = 2 (0,68 + 0,0891 \times \text{NH4-N})$	4,0	0,69	33	0,78	5,39	25,05	5,78	1,73	1,18
NO3-N (CaCl2)	A 6.1.4.1	mg/kg	$U_{\text{Bor}} = 2 (0,17 + 0,0568 \times \text{NO3-N})$	0,6	0,84	35	0,90	25,48	80,00	1,53	0,67	0,74
NO3-N (CAT)	A 6.4.1	mg/kg	$U_{\text{Bor}} = 2 (0,56 + 0,0685 \times \text{NO3-N})$	2,8	0,83	33	1,44	30,09	118,00	3,03	0,91	0,94
P-gemessen (CAL)	A 6.2.1.1	mg/100g	$U_{\text{Bor}} = 2 (0,31 + 0,0552 \times \text{P})$	2,2	0,85	36	1,20	9,34	41,10	2,68	1,10	0,97
P (DL)	A 6.2.1.2	mg/100g	$U_{\text{Bor}} = 2 (0,35 + 0,0496 \times \text{P})$	2,4	0,52	37	1,16	9,31	39,23	3,18	1,08	0,90
S (Smin)	A 6.3.1.1	mg/kg	$U_{\text{Bor}} = 2 (0,69 + 0,0526 \times \text{S})$	5,7	0,48	30	2,12	11,82	31,45	2,64	1,00	0,78

Abb. 4: Eine von vier Tabellen aus dem Anhang E5 „Aus Ringversuchen abgeleitete Messunsicherheiten von Parametern der Boden- und Substratanalytik“ zum Methodenbuch I (6. Teillieferung)

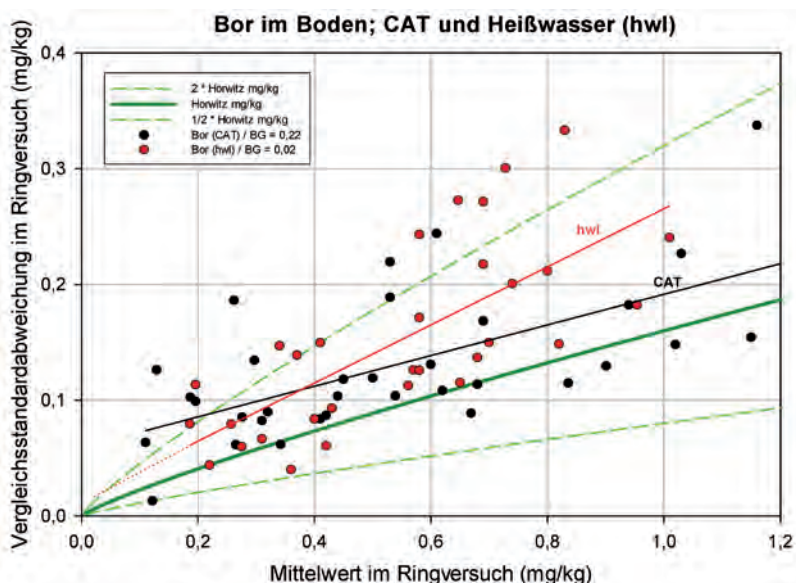


Abb. 5: Borbestimmung im Boden mit 2 verschiedenen Methoden und Vergleich mit der Horwitz-Funktion

Schwermetalle im Boden; KöWa (mg/kg)

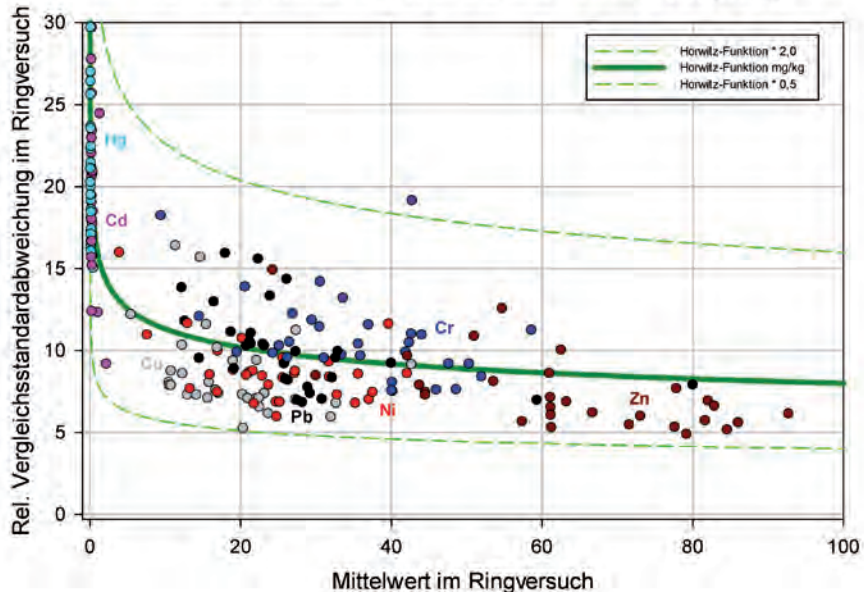


Abb. 6: Mittelwerte und die Relative Vergleichsstandardabweichungen von Schwermetallen im Boden und Vergleich mit der Horwitz-Funktion

4. Zusammenfassung

Die Fachgruppe II „Bodenuntersuchung“ verfügt mit der Datensammlung aus den zurückliegenden Ringversuchen über umfangreiches Zahlenmaterial (Boden: 1.600 Datensätze; Kultursubstrate: 800 Datensätze). Diese Daten sind auch im internen Bereich der Fachgruppe II über die Homepage des VDLUFA abrufbar.

Durch die vielfältigen Auswertemöglichkeiten (Berechnung von Messunsicherheiten, Methodenvergleiche, Berechnung von unteren Vergleichsgrenzen, usw.) können die Ergebnisse älterer Ringversuche weiterhin genutzt werden. So ist auf Basis dieser Daten der Anhang E5 „Aus Ringversuchen abgeleitete Messunsicherheiten von Parametern der Boden- und Substratanalytik“ zum Methodenbuch I (6. Teillieferung) erstellt worden.

Die Informationen in der Datenbank sind nach den verschiedensten Kriterien auswertbar und können auch bei der Neuentwicklung von Methoden wertvoll sein.

5. Literaturangaben

Munzert, M., Kießling, G., Übelhör, W., Nätscher, L., und Neubert, K.-H. (2007): Expanded Measurement uncertainty of soil parameters derived from proficiency-testing data. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170, 722-728.

Weitergehende Auswertungsmöglichkeiten von Ringversuchen

S. Grimm, W. Übelhör

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Karlsruhe

1. Einleitung

Ringversuche werden seit vielen Jahren am Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg mit der Software ProLab der Firma quo data geplant, durchgeführt und ausgewertet. Meist werden nur die gängigen statistischen Maßzahlen wie Mittelwert, Wiederhol- und Vergleichsstandardabweichung und die Toleranzgrenzen dargestellt. Häufig erfolgt zusätzlich ein Vergleich des einzelnen Teilnehmers gegenüber den anderen anhand von Z-Scores (standardisierten Messabweichungen), die auch grafisch dargestellt werden. Mit der Software ProLab lassen sich jedoch weitere Auswertungen vornehmen, die dabei behilflich sein können, z. B. systematische Abweichungen herauszufinden oder die Gleichwertigkeit von Analysemethoden zu überprüfen.

2. Auswertungen über einen Ringversuch

2.1 Kerndichteschätzung (KDE)

Die Kerndichteschätzung (Abb. 1) zeigt die Verteilung der Laborwerte für eine ausgewählte Merkmal-Proben-Kombination für ein Labor oder für alle Laboratorien. Die blaue Kurve stellt die Verteilung der Daten dar. Es werden nur die Daten ohne Ausreißerwerte dargestellt. Wurde eine Ausreißerprüfung durchgeführt und Ausreißer identifiziert, können diese bei Bedarf eingeblendet werden.

Über der Abszisse wird der Gesamtmittelwert mit dem dazugehörigen 95%-Konfidenzintervall dargestellt. Soweit vorhanden, werden auch der Sollwert und der Referenzwert angezeigt. Weiterhin zeigt die Abszisse mittels verschiedener Farben den Bereich der 1- bis 3-fachen Vergleichsstandardabweichung des Sollwerts. Werte eines einzelnen Labors können eingeblendet werden: es erscheint der Labormittelwert und die doppelte laborinterne Streuung. Sind mehrere Modi vorhanden, so spricht dies dafür, dass mehrere Ergebnisgruppen mit jeweils ähnlichen Werten existieren. Z. B. kann dies durch fehlende Umrechnungen,

unterschiedliche Probenaufbereitung oder durch unterschiedliche Analysemethoden (AM) entstehen. Daher gibt es die Möglichkeit, sich einzelne Probenvorbereitungs- und/oder verwendete Analysemethoden anzeigen zu lassen.

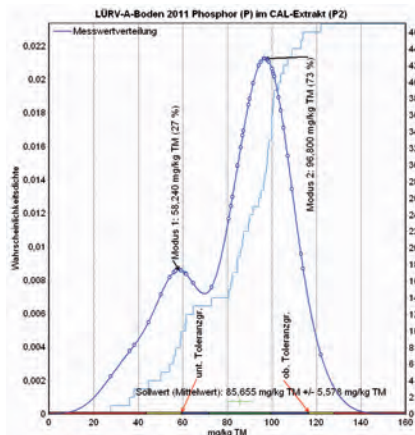


Abb. 1: KDE ohne AM

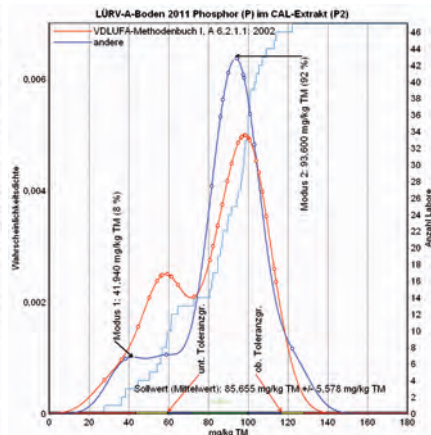


Abb. 2: Eine AM herausgehoben

Abb. 1 zeigt eine bimodale Verteilung, bei welcher der 2. Modus 27 % der Werte enthält und somit den Mittelwert stark beeinflusst. Beim Überprüfen der einzelnen Analysemethoden zeigt sich, dass nur bei einer Methode (Abb. 2, rote Linie) eine bimodale Verteilung gegeben ist. Dadurch kann die Fehlersuche auf diese Methode eingegrenzt werden (in diesem Fall eine fehlende Umrechnung).

2.2 Youdenplot

Mit dieser Darstellung (Abb. 3) können systematische bzw. zufällige Abweichungen eines Labors schnell erkannt werden. Durch eine Gegenüberstellung der standardisierten Messabweichung (Z-, Zu-Score) von zwei Proben eines Ringversuches kann unterschieden werden zwischen zufälligen und systematischen Abweichungen. Sind die einzelnen Labore weiter von der Winkelhalbierenden entfernt, dann liegt eine zufällige Abweichung vor, z. B. Labor L090, L076, L066, L112. Dagegen liegt die Präzision der Labors L116 und L056 bei beiden Proben recht weit von den anderen Laboren entfernt, dies weist auf einen systematischen Fehler hin. Der rote Rahmen, zeigt den Toleranzbereich der Zu-Scores: $|Zu\text{-Score}| < 2,00$.

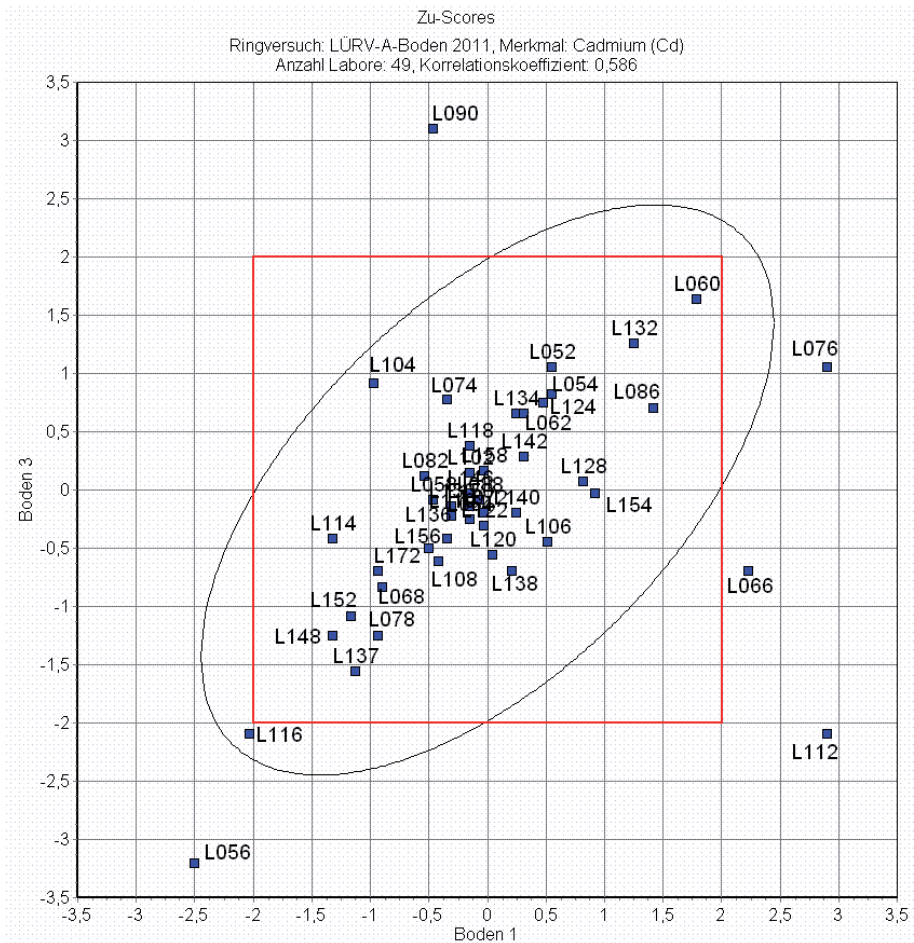


Abb. 3: Youdenplot mit Toleranzgrenzen der Zu-Scores (Rot)

2.3 Mandels-h- und Mandels-k-Statistik

Diese beiden Statistiken sind Größen zur grafischen Vereinbarkeitsprüfung, entweder auf Proben- oder Merkmalsbasis. Durch die Prüfung der grafischen Darstellung kann sich zeigen, dass sich manche Laboratorien durch ein eigenes Ergebnismuster von den anderen unterscheiden. Dies kann eine im Vergleich zu den anderen Laboratorien durchgängig hohe oder niedrige Streuung sein oder durch extrem niedrige oder hohe Mittelwerte auftreten. Werte die statistisch signifikant von den anderen Laboratorien abweichen, sind rot (1 % vom signifikanten Wert) oder gelb (5% vom signifikanten Wert).

Die Mandels h-Statistik (Abb. 4) hilft bei der Frage, ob zwischen den Mittelwerten der Laboratorien Unterschiede bestehen. Für jedes Labor können sowohl positive als auch negative Werte auftreten. Es ist nicht unüblich, dass bei der merkmalsweisen Betrachtung pro Labor entweder hauptsächlich positive oder hauptsächlich negative Werte (z. B. Labor 3) auftreten. Dies kann auf eine systematische Abweichungen des Labors hinweisen, z. B. hier bei Labor 15.

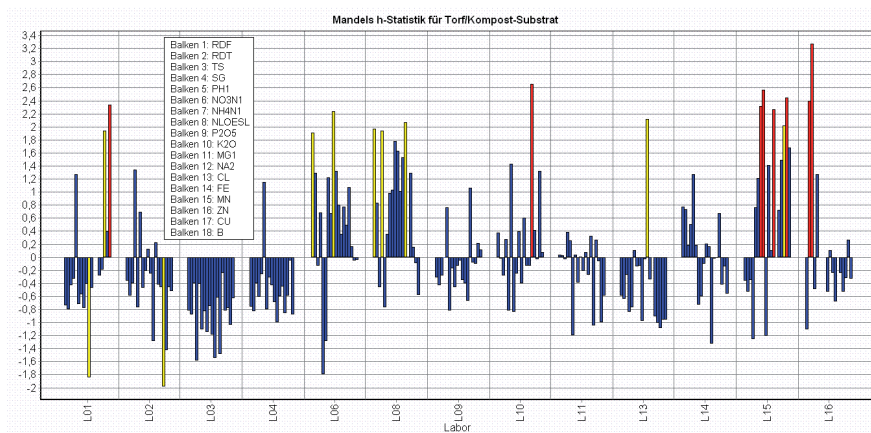


Abb. 4: Mandels h-Statistik

Die Mandels k-Statistik (Abb. 5) bewertet die Varianz jedes Labors im Vergleich zu den Varianzen der anderen Laboratorien. Die Betrachtung erfolgt entweder pro Merkmal über alle Proben oder für alle Merkmale je Probe. Treten bei dieser Darstellung durchweg kleine Werte auf, dann kann dies auf grobe Rundungen oder eine sehr grobe Messskala hinweisen.

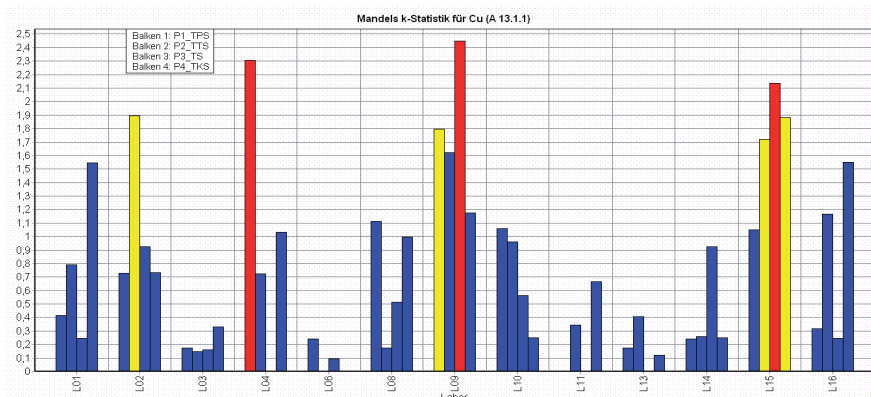


Abb. 5: Mandels k-Statistik

3. Auswertungen über mehrere Ringversuche

Die Software ProLab bietet viele verschiedene Möglichkeiten mehrere Ringversuche miteinander zu betrachten. Dazu bedient man sich z. B. der Größen RSZ und RLP und des HorRat-Trends.

3.1 RSZ versus RLP

Der **RSZ** (rescaled sum of Z-Scores) basiert auf einer standardisierten Summe aller Z-Scores (bzw. Z_u -, Zeta- oder Z' -Scores). Dadurch wird sichergestellt, dass der RSZ in der gleichen Weise interpretiert werden kann wie ein einzelner Z-Score (bzw. Z_u -, Zeta- oder Z' -Scores). Dies ermöglicht eine proben-, merkmals- und ringversuchsübergreifende Bewertung. Liegt der RSZ innerhalb des Toleranzbereiches (z. B. ± 2), so können für das betreffende Labor bei übergreifender Betrachtung keine signifikanten systematischen Abweichungen der Messwerte festgestellt werden. Ist der RSZ größer als die obere Toleranzgrenze (z. B. 2), weist das Labor im Durchschnitt über alle betrachteten Proben, Merkmale bzw. Ringversuche signifikant höhere Werte als der Sollwert auf, z. B. Abb. 6, BW82 und BW105. Ist der RSZ kleiner als die untere Toleranzgrenze (z. B. -2), weist das Labor im Durchschnitt über alle betrachteten Proben, Merkmale bzw. Ringversuche signifikant kleinere Werte als der Sollwert auf, z. B. Abb. 6, BW52.

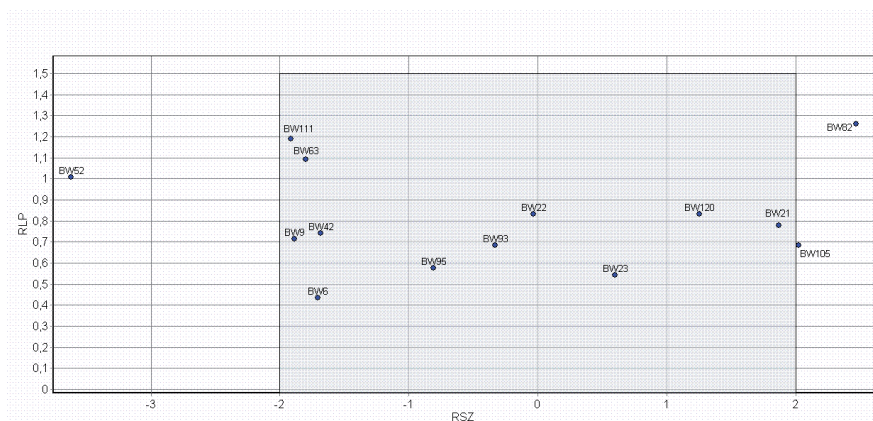


Abb. 6: RSZ und RLP über alle Labore und mehrere Jahre

Der **RLP** (relative laboratory performance) stellt die mittlere Länge der Z-Scores (bzw. Z_u -, Zeta- oder Z' -Scores) eines Labors dar. Ein RLP nahe 1 steht für eine

durchschnittliche Leistung eines Labors. Ein kleiner RLP-Wert zeigt eine hohe Laborleistung, während ein hoher RLP-Wert einer geringen Laborleistung entspricht. Liegt der RLP bei 0,5, so liegen die Abweichungen des Labors nur noch bei 50 % eines durchschnittlichen Labors, wie bei Abb. 6, BW6. Akzeptiert werden mittlere Abweichungen eines Labors, die das 1,5-fache der durchschnittlichen Abweichungen der Laboratorien nicht überschreiten.

3.2 HorRat-Trend

Beim HorRat-Trend können die einzelnen HorRat-Werte über die Ringversuche pro Merkmal dargestellt werden, um eine Aussage über den Verlauf der Untersuchungsqualität der einzelnen Merkmale im Laufe der Zeit treffen zu können (Abb. 7).

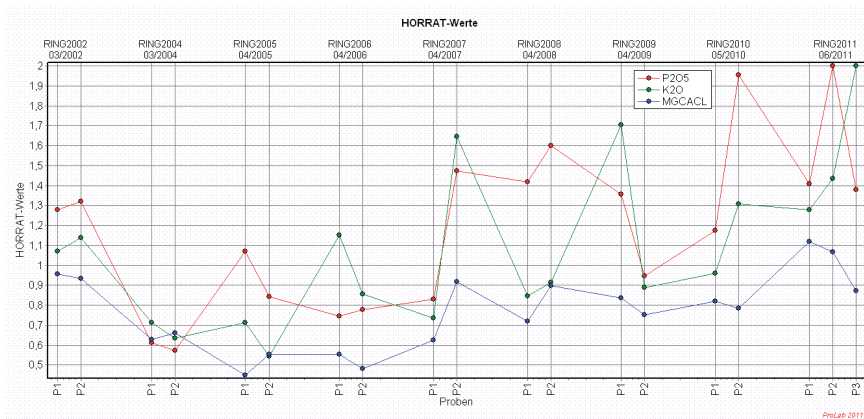


Abb. 7: HorRat-Trend pro Merkmal über verschiedene Ringversuche

In verschiedenen Darstellungen können entweder alle Labore gemeinsam oder einzelne Labore in ihrer Qualität im Lauf der Zeit betrachtet werden.

4. Zusammenfassung

Mit den Daten zurückliegender Ringversuche und der verwendeten Standardsoftware Prolab der Fa. quo data können grafische Darstellungen erstellt werden, die man in Ringversuchsberichten in der Regel nicht findet. Damit können Zusammenhänge zwischen Merkmalen, Proben und Ringversuchen

anschaulich gemacht, es kann aber auch die Laborqualität sowie die chronologische Entwicklung einzelner Laboratorien aufgezeigt werden.

Bestimmung ausgewählter Nährstoffe mit der Fließinjektionsanalytik

A. Schöne

Medizin- und Labortechnik GmbH, Radebeul

1. Einleitung

Die MLE GmbH Dresden ist ein mittelständisches Unternehmen der Labor- und Analysenmesstechnik. Wir entwickeln und fertigen labortechnische Geräte, u. a. Fließinjektionsanalytoren. Für die FIA-Analytik werden bestehende Normen umgesetzt und neue Methoden entwickelt.

Zusätzlich gehören zum Gerätespektrum der MLE GmbH Dresden auch Autosampler zur Automatisierung und Komplettierung der Analysenmesstechnik anderer Hersteller.

2. Prinzip der Fließinjektionsanalytik

Als Grundprinzip der Fließinjektionsanalytik gilt die Injektion eines kleinen Probenvolumens in einen Trägerstrom (Carrier) mit Hilfe eines Injektionsventils. Der Carrier transportiert dann die Probe durch die Methodeneinheit, wo sie mit den zur analytischen Nachweisreaktion notwendigen Reagenzien vermischt wird. Die exakte Dosierung von Carrier und Reagenzien erfolgt über regelbare Schlauchpumpen; die Reaktionszeit wird über Schlauchreaktoren mit definiertem Volumen (Schlauchlänge, -durchmesser) festgelegt.

Der in der Probe enthaltene Analyt bildet mit den zugemischten Reagenzien ein Reaktionsprodukt, dessen Signalhöhe mit der Konzentration des Analyten zunimmt. In der Fließinjektionsanalytik (FIA) können verschiedene Detektoren verwendet werden. Dabei besitzt die photometrische Detektion die größte Anwendungsvielfalt und ist in standardisierten Messverfahren genormt.

3. Nährstoffanalytik mit der FIA

Zur nass-chemischen Nährstoffanalytik im Labor mit Hilfe der FIA-Technik bieten sich alle Ionen an, die mit genormten oder in der Literatur veröffentlichten Verfahren photometrisch bestimmt werden können. Es kommen dafür insbesondere die Mineralnährstoffe in Betracht.

Die Nährstoffanalytik verwendet überwiegend die Bezeichnungen der chemischen Elemente, wobei für die FIA relevant ist, in welcher Ionenform das jeweilige Element gebunden ist und dann auch detektiert wird.

Tab. 1: Mit der FIA-Technik detektierbare Nährstoffe (Auszug)

Nährstoff in Elementform	mit FIA detektierbar als
Stickstoff	Harnstoff, Nitrat, Ammonium, Gesamt-Stickstoff
Phosphor	Ortho-Phosphat, Gesamt-Phosphor
Schwefel	Sulfat
Alkali- und Erdalkalimetalle	Ca, Mg

4. Nasschemische Nährstoffanalytik

Die Quantifizierung der Nährstoffe ist notwendig, um den Pflanzen- und Boden-zustand bezüglich Nährstoffgehalt und -bedarf zu bestimmen sowie Düngergaben zu optimieren. Dabei sind je nach Aufgabenstellung verschiedene labor-technische Vorgehensweisen im Rahmen der Probenvorbereitung notwendig. So stellt z. B. aufgrund der unterschiedlichen Probenmatrix die Bestimmung des pflanzenverfügbaren Gehaltes im Boden andere Anforderungen an die Analytik als die Bestimmung von Gesamtnährstoffgehalten.

5. Überführung der Nährstoffe in messbare Analyten

Um die Nährstoffe mit der FIA-Technik messen zu können, müssen die zu analysierenden Substanzen in eine (photometrisch) messbare Form in flüssiger Phase gebracht werden. Bei der Analyse von Gesamtgehalten in Böden erfolgt

dazu meist ein Aufschluss der festen Phase unter Extrembedingungen, z. B. mit konzentrierter Schwefelsäure nach dem Kjeldahl-Aufschluss. In der aufgeschlossenen Probe ist der Analyt oft in hoher Konzentration enthalten, jedoch muss das Bestimmungsverfahren die hohe Matrixbelastung tolerieren. Zur Bestimmung von löslichen Nährstoffen in Böden oder Pflanzenteilen werden Extrakte angesetzt. Hier sind die gefundenen Konzentrationen des Analyten meist gering, die Analytik gestaltet sich jedoch häufig schwierig aufgrund des hohen Gehaltes an Extraktionsmittel in der Probe. Für manche Anwender ist es notwendig, Ausgangsgehalte in flüssigen Düngemitteln zu bestimmen, wobei die Ergebnisse meist im Prozentbereich liegen. Kann die Fließinjektionsanalytik diesen verschiedenen Anforderungen gerecht werden?

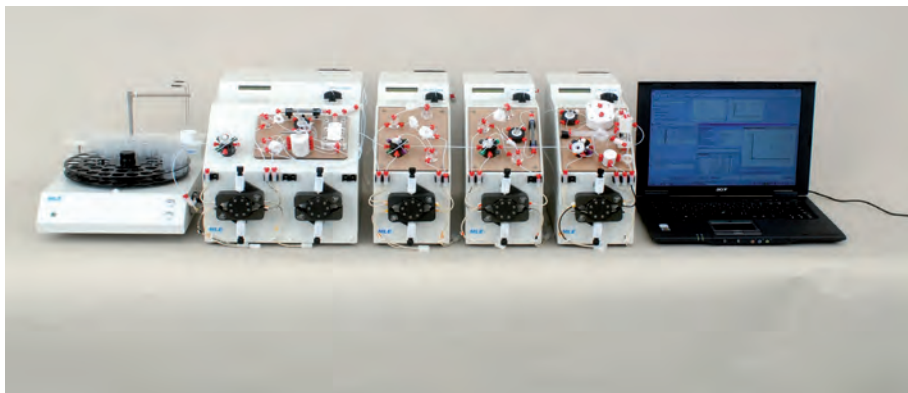
6. Komplexe Lösungen von Analysenproblemen mit der FIA-Technik

Die Fließinjektionsanalytik stellt nicht nur eine einfache Automatisierung von manueller Arbeitsweise dar. Mit Hilfe dieser Technik können vielmehr unterschiedliche Analysenprobleme gelöst werden. Es ergeben sich u. a. folgende Möglichkeiten:

- Integration von Dialyse zur Entfernung störender Matrix
- Integration von Inline-Verdünnung
- Integration von Inline-Aufschlüssen zur Bestimmung von Gesamtgehalten in wässrigen Proben
- Anpassung von Reagenzien bei komplexer Aufschlussmatrix

Gleichzeitig wird mit dem Einsatz der Fließinjektionsanalyse in der Nährstoff-Analytik ein geringer Probenverbrauch sowie hohe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse realisierbar.

7. Das flexible FIA-System der MLE GmbH



Autosampler

FIAcompact oder FIAmodula

komfortable
Windows-Software

Abb. 1: Beispiel eines Mehrkanalsystems der MLE GmbH

7.1 Das FIA compact

Das FIA compact besitzt zwei unabhängige mehrkanalige Pumpen und gestattet somit Anreicherungsverfahren, Hochempfindlichkeits-dialyse und Inline-Aufschlüsse. Das FIA compact eignet sich hervorragend als universelles Gerät für Labore mit geringem Probendurchsatz. Eine Nachrüstung von Methoden ist jederzeit möglich. Verschiedene Analyten werden sequentiell bestimmt, das heißt es ist ein Methodenwechsel erforderlich. Der Methodenwechsel mit den komplett ausgestatteten Methodeneinheiten ist sehr einfach und dauert nur wenige Minuten. Gleichzeitig kann das FIA compact mit anderen FIA compact oder mit FIA modula kombiniert werden.

7.2 Das FIA modula

Das FIA modula besitzt nur eine 6-Kanal-Schlauchpumpe und ist besonders für den Einsatz in Mehrkanalsystemen zur Bestimmung verschiedener Parameter aus einer Probe geeignet. Bis zu 8 Kanäle können parallel betrieben werden. Die Methodeneinheiten sind fest installiert. Das modulare System lässt sich jederzeit mit anderen Kanälen kombinieren, wenn eine parallele Messung verschiedener Parameter aus einem Extrakt sinnvoll ist.

7.3 Beispiel eines FIA-Systems; Bestimmung von Nitrat, Ammonium und Sulfat aus dem Calciumchlorid-Extrakt

7.3.1 Allgemeine Arbeitsweise

- Messung von Ammonium, Nitrat und Sulfat aus einem Extrakt auf dem Probenteller
- Probe wird in die 3 Kanäle geladen
- parallele Detektion der Analyten
- Dauer für eine Analyse: 2,5 min bei 3,5 ml Probeverbrauch

7.3.2 Analysenverfahren

Zur Bestimmung der Nährstoffparameter Ammonium, Nitrat und Sulfat im Calciumchlorid-Extrakt werden robuste photometrische Methoden verwendet:

Bestimmung von Ammonium-N

- DIN EN ISO 11732: Überführung von Ammonium in Ammoniak und Diffusion durch eine gaspermeable Membran

Bestimmung von Nitrat-N

- DIN EN ISO 13395: Reduktion von Nitrat zu Nitrit und Diazotierung mit Sulfanilamid/NED

Bestimmung von Sulfat

- Turbidimetrische Bestimmung nach Ausfällen als Bariumsulfat

7.3.3 Zeit- und Kostenaufwand

Bei Messung von 20 Proben im kleinsten Messbereich inklusive Kalibrierung und Doppelbestimmung

- wurden 2 Stunden für Messung aller 3 Parameter benötigt bei einem Probeverbrauch von 7 ml
- ergaben sich weit weniger als 1,50 € Kosten für verbrauchte Chemikalien

8. Flexibilität der Fließinjektionsanalyse

8.1 Bestimmung von Ammonium in Kjeldahl-Aufschlüssen

Bei der Bestimmung des Kjeldahl-Stickstoffes werden die Proben sauer aufgeschlossen und das sich dabei bildende Ammonium anschließend destilliert. Dem Analytiker stellt sich hier die Frage: Ist es möglich, auf die Destillation zu verzichten und stattdessen die robuste FIA-Methode zur Ammoniumbestimmung (vgl. 7.3.2.1) zu verwenden?

Erste Untersuchungen ergaben, dass die in der Norm angegebenen Alkaligehalte der verwendeten Reagenzien nicht ausreichen, um die den sauren Proben nach dem Kjeldahl-Aufschluss enthaltenen Ammonium-Ionen in Ammoniak zu überführen. Nach Anpassung der Reagenzien wurde eine Säuretoleranz bis 0,75 mol/l Schwefelsäure erreicht und es konnte eine Methode zur Bestimmung von Ammonium in Kjeldahl-Aufschlüssen im Messbereich von 0,2 bis 10 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$ erstellt werden. Somit können 20 Proben pro Stunde ohne zusätzliche Destillation vermessen werden.

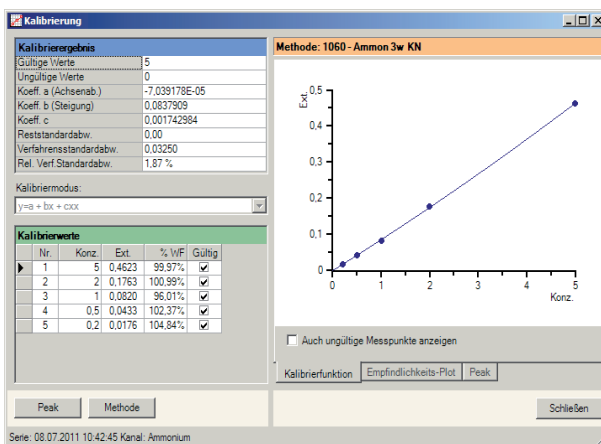


Abb. 2: Kalibrierung Kjeldahl-Stickstoff

8.2 Bestimmung von ortho-Phosphat in sauren Aufschlüssen nach der Vanadat-Methode

Die manuelle Methode zur Bestimmung von ortho-Phosphat nach Aufschluss entsprechend der VDLUFA-Methode 10.6.1. der Futtermitteluntersuchung erfordert hohen Personal- und Zeitaufwand. Die MLE GmbH hat hierfür eine

Methode entwickelt, bei welcher der Phosphat-Gehalt in den sauer aufgeschlossenen Proben in den Messbereichen

- 0,2 mg/l bis 5 mg/l P und
- 2 mg/l bis 100 mg/l P

mit einem Probendurchsatz von 20 Analysen pro Stunde vermessen werden können.

Als analytische Herausforderung galt es hier, die unterschiedlichen pH-Werte der aufgefüllten Proben nach dem Abrauchen der Salpetersäure zu tolerieren. Nach Anpassung der Reagenzien gelang es, gute Wiederfindungen der Phosphat-Gehalte in den Proben mit einer pH-Toleranz von 2 bis 7 zu erzielen.

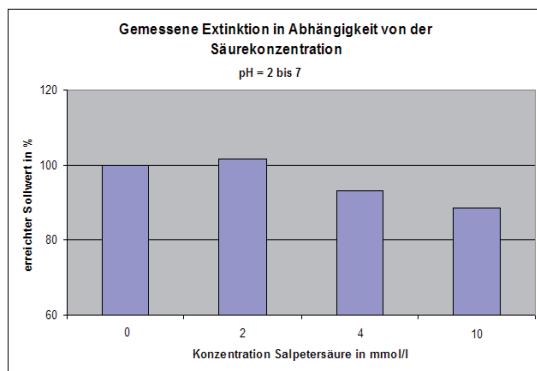


Abb. 3: Wiederfindungsraten o-PO₄ nach der Vanadatmethode bei verschiedenen Säurekonzentrationen

9. Schlussfolgerung

Das FIA-System der MLE GmbH zeichnet sich durch folgende Merkmale aus und bietet sich insbesondere für die Nährstoffanalytik an:

- Anwendung robuster standardisierter photometrischer Methoden
- Anpassung von Methoden an die entsprechende Probenmatrix in unserem Applikationslabor
- kompakte Geräteausführung, geringer Platzbedarf, Transparenz

- schnelle Betriebsbereitschaft durch gasblasenfreies Flüssigkeitssystem
- System ist entsprechend den analytischen Erfordernissen jederzeit konfigurierbar bzw. nachrüstbar
- sparsam im Proben- und Reagenzienverbrauch sowie bei laufenden Kosten
- bedienerfreundliche Software

Ringversuch zur Gülleanalyse nach der nasschemischen Methode und dem NIRS-NANOBAG-Verfahren

B. Überbacher¹, P. Tillmann², W. Somitsch¹, W. Wenzl³, B. Steiner³, L. Haberl³

¹IPUS GmbH, Rottenmann, Österreich, ²VDLUFA Qualitätssicherung NIRS, Kassel, ³HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, Österreich

1. Einleitung

Der VDLUFA hat im Standpunkt NIRS (VDLUFA, 2003) die Bedeutung der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) bei der Untersuchung von Futtermitteln und pflanzlichen Produkten aufgezeigt und geeignete Maßnahmen zur Qualitätssicherung hervorgehoben. Als wichtiges Instrument dazu werden Ringuntersuchungen genannt.

IPUS und HBLFA Gumpenstein haben in gemeinsamer Entwicklung eine Methode zur Bestimmung von Gesamtstickstoff, Ammoniumstickstoff, Trockenmasse, Asche, Phosphat und Kalium aus Rinder- und Schweinegülle erstellt, die auf der reflexionsspektroskopischen NIR-Messung von auf einem Trägermaterial adsorbierter Gülle beruht (Wenzl et al., 2007; Wenzl et al., 2008).

Zur Evaluierung der neuen NIRS-Nanobag-Schnellanalytik und zum Vergleich mit konventioneller naßchemischer Analytik (VDLUFA-Methoden) wurde erstmals ein Ringtest von Nährstoffparametern der Gülle mit Teilnehmern aus Deutschland, Österreich und Italien durchgeführt, in dem gleichzeitig beide Verfahren angewendet wurden. Beide Analysenverfahren wurden getrennt ausgewertet und in ihren Ergebnissen verglichen. Es ist dies daher auch der erste Ringtest für Gülleanalytik nach den Methoden des VDLUFA-Methodenbuches.

Der Ringtest wurde von IPUS organisiert und im Rahmen der VDLUFA FG III Düngemittel durchgeführt. Die Auswertung der Ergebnisse nach beiden Messverfahren erfolgte durch die VDLUFA Qualitätssicherung NIRS GmbH. Die Herausforderung der NIR-Auswertung lag darin, 4 unterschiedliche NIR-Gerätetypen miteinander zu vergleichen, da unterschiedliche Spektrformate vorlagen.

2. NIRS-NANOBAG-Verfahren

Die Methode dient der raschen quantitativen Bestimmung verschiedener Merkmalswerte in GülLEN und BiogasgülLEN mit der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS). Die Probe wird mit einer mineralischen Trägersubstanz in einem flüssigkeitsdicht verschließbaren Kunststoffsäckchen (Nanobag, Abb. 1) homogen vermischt. Dadurch wird die Probe stabilisiert und kann geruchsfrei und hygienisch bei Raumtemperatur per Post an das Untersuchungslabor versendet werden. Dort wird der Inhalt des Nanobags - nach Eingang und Wiegung - getrocknet und zerkleinert, und ein Absorptionsspektrum im nahinfraroten Spektralbereich aufgenommen. Das Spektrum wird mit der produktspezifischen Kalibrierfunktion nach üblichen Verfahren der multivariaten Statistik ausgewertet (Burns et Ciurczak, 2001).



Abb. 1: NIRS-NANOBAG mit Probenlöffel

Die methodischen Unterschiede der NIRS-Nanobag-Methode zu naßchemischen konventionellen Methoden liegen in der zerstörungsfreien Messung, der simultanen Messung mehrerer Merkmale, in der daraus folgenden kurzen Analysendauer, in der einfachen Probenstabilisierung, im einfachen Probentransport, im fehlenden Chemikalienverbrauch, in der Erweiterbarkeit auf weitere Merkmale wie z. B. Harnstoff, sowie in der Möglichkeit der permanenten Verbesserung der Kalibrierfunktionen durch Erweiterung der Datensätze.

3. Material und Methoden

Es wurden sowohl Flüssigproben als auch Nanobag-Proben von jeweils 3 unabhängigen Rinder- und 3 unabhängigen SchweinegülLEN an die teilnehmenden Prüflabore versandt, siehe dazu Tabelle 1.

Tab. 1: Teilnehmende Labore

Laborbezeichnung	Adresse	Referenz- methode	NIRS- Nanobag
AGES Wien	A-1226 Wien	x	
LTZ Augustenberg	D-76227 Karlsruhe	x	x
LUFKA Kassel	D-34128 Kassel	x	x
LUFASpeyer	D-67346 Speyer	x	x
LUFANRW Münster	D-48147 Münster	x	x
Bayerische LfL	D-85354 Freising	x	
LUFANW Hameln ^{*)}	D-3178 Hameln	x	(x)
IPUS GmbH	A-8786 Rottenmann	x	x
LFZ Gumpenstein	A-8952 Irdning	x	x
LZ Laimburg	I-39040 Laimburg 6	x	x
LUFARostock	D-18059 Rostock		x
Uni Witzenhausen	D-37213 Witzenhausen		x

*) LUFAM Hameln wendete eine eigene Hausmethode an, bei der die Flüssigprobe ohne Trägermaterial mit NIR vermessen wurde. Diese Ergebnisse sind nicht in der Gesamtauswertung enthalten, obwohl eine gute Übereinstimmung mit der NIRS-NANOBAG-Methode vorliegt

Die Prüfung auf Homogenität der Proben erfolgte durch das Prüfmerkmal Trockenmasse und wurde vor dem Versenden der Proben durch IPUS durchgeführt. Die Flüssigproben wurden auf die Merkmale Trockensubstanz, Asche, Gesamt-N, NH₄-N, K₂O und P nach den Methoden des VDLUFA-Methodenbuches analysiert. Die Nanobags wurden mittels NIR-Spektrometern gemessen, indem die Absorptionsspektren der mit den Gülleproben beladenen Trägermaterialien aufgezeichnet und zur Auswertung an die VDLUFA Qualitätssicherung NIRS GmbH übermittelt wurden. Die Spektren der unterschiedlichen NIR-Spektrometern wurden in eine einheitliche Form gebracht und zur Ermittlung der Merkmale in die von IPUS zur Verfügung gestellten Kalibrierfunktionen eingesetzt.

Die Kalibrierfunktionen für Rinder- und Schweinegülle beruhen auf 300 Datensätzen. Für alle Merkmale mit Ausnahme von Phosphat konnten Kalibrierfunktionen herangezogen werden, die sowohl für Rinder- als auch für Schweinegülle Gültigkeit besitzen. Für Phosphat wurden unterschiedliche Kalibrierfunktionen je nach Tierart eingesetzt.

4. Resultate und Diskussion

Der Vergleich der Ergebnisse der NIRS-NANOBAG-Analytik ergab keinen Hinweis auf systematische Abweichungen oder andere Auffälligkeiten bei den einzelnen Labors, wie dies am Beispiel der Trockenmasse in Abbildung 2 anhand der sehr homogenen Verteilung der Messwertabweichungen zu sehen ist.

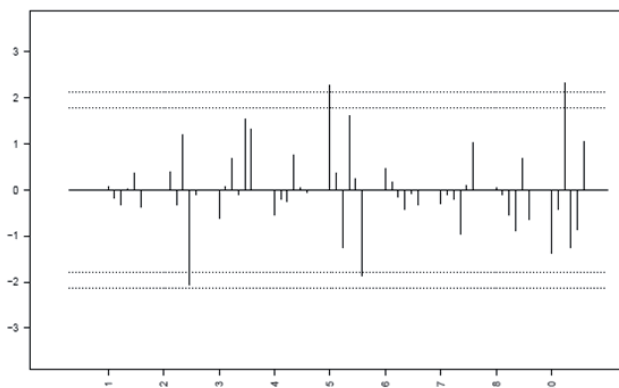


Abb.2: Auswertung NIRS-NANOBAG-Methode am Beispiel des Merkmals Trockenmasse: Normierte Abweichungen der Labore vom Mittelwert

Die NIRS-Nanobag-Methode bezieht sich durch ihre Kalibrierfunktionen auf die Referenzanalytik. Sie muss deshalb immer eine höhere Messungengenauigkeit als die Referenzmethoden aufweisen. In der Futtermittelanalytik wird bei NIR-Methoden die doppelte Standardabweichung der jeweiligen konventionellen Referenzanalytik akzeptiert.

In der folgenden Tabelle 2 sind die relativen Abweichungen der Ergebnisse beider Verfahren als auch deren Reproduzierbarkeiten angegeben. In Anbetracht der relativ geringen Zahl von Datensätzen in den Kalibrierfunktionen, der Verschiedenartigkeit der NIR-Spektrometer und des erstmaligen Einsatzes der Nanobag-Methode in den meisten Labors sind die Ergebnisse erstaunlich gut. Die wichtigen Nährstoffparameter Asche, N, P und K zeigen eine geringere Abweichung der Mittelwerte beider Verfahren. Beim Ammonium-Stickstoff ist eine größere Abweichung gegeben, die mit großen Streuungen bei beiden Verfahren einhergeht.

Tab. 2: Vergleich der mittleren Standardabweichung zwischen den Referenzmethoden und der NIRS-Nanobag-Methode sowie die Abweichungen der Mittelwerte beider Verfahren: s_r = Wiederholbarkeit; s_R = Vergleichbarkeit

Merkmal	Referenzmethoden		NIRS-Nanobag		Mittelwerte
	s_r [%]	s_R [%]	s_r [%]	s_R [%]	Abw. [%]
Trockenmasse	1,5	3,5	5,4	17,4	16,2
Asche	3,1	4,2	4,7	14,2	13,3
Ngesamt	3,9	4,2	4,2	17,1	12,6
NH ₄ -N	7,9	17,5	5,3	20,4	20,8
P ₂ O ₅	4,6	8,3	6,3	28,7	11,8
K ₂ O	2,4	7,9	4,8	9,8	15,9

Diese Abweichungen sind aus der Anwendung unterschiedlicher Referenzmethoden für die NH₄-N-Bestimmung gegeben. So wendeten nur 3 Labore die vorgeschlagene Methodenvariante nach Nessler an, während alle anderen Labore eine alkalische Wasserdampfdestillation des Ammoniaks nach Kjeldahl durchführten. Das letztere Verfahren schließt aber alkalisch hydrolysierbare Gülleamide wie Harnstoff mit ein, wodurch insgesamt höhere scheinbare NH₄-Konzentrationen resultieren. Die eingesetzte NIR-Kalibrierfunktion beruht aber auf Datensätzen, die nach der Nessler-Methode ermittelt wurden, was zu Minderbefunden bei der Nanobag-Methode gegenüber der naßchemischen Referenzmethode führte.

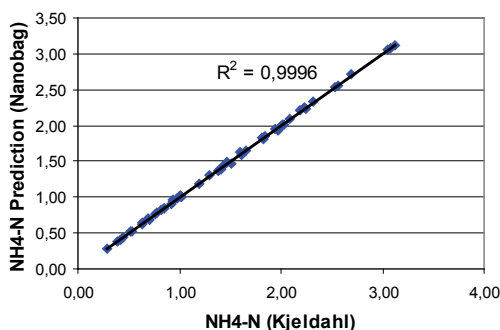


Abb. 3: Testkalibration von NH₄-N in Gülle, basierend auf 54 Datensätzen von Kjeldahl-Analysen. Die Korrelation liegt bei $R^2 = 0,9996$

Prinzipiell ist der NH_4 -Gehalt nach Kjeldahl einer Gülleprobe durch das NIRS-Nanobag-Verfahren gut nachweisbar, was eine Testkalibration basierend auf 54 Kjeldahl-Datensätzen in Abbildung 3 bestätigt.

Die Messgenauigkeit der Kalibrierfunktionen verbessert sich stark mit steigender Anzahl von Datensätzen. So kann durch Integration weiterer Datensätze in die Kalibrierfunktionen und der Unterscheidung von NH_4 -N nach Kjeldahl bzw. nach Nessler eine signifikante Erhöhung der Genauigkeit erwartet werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Im Zusammenhang mit der Entwicklung des NIRS-NANOBAG-Verfahrens wurde erstmalig ein Gülle-Ringversuch mit Teilnehmern aus Österreich, Deutschland und Italien durchgeführt. Die Auswertung erfolgte durch die VDLUFA Qualitätssicherungs GmbH. Dazu wurden je 3 Gülleproben von rinder- und schweinehaltenden Betrieben sowohl chemisch als auch spektroskopisch untersucht. Folgende Merkmale wurden zur Ermittlung der Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit bestimmt: Trockenmasse, Gesamtstickstoff, NH_4 -Stickstoff, Asche, Kalium und Phosphor. Die Proben wurden von 10 Teilnehmern nasschemisch analysiert, 9 Teilnehmer arbeiteten mit NIRS.

Die erzielten Übereinstimmungen beider Verfahren sowie das große Optimierungspotenzial und die für die Praxis vorteilhaften Unterschiede zu konventionellen nasschemischen Verfahren lässt die NIRS-Nanobag-Methode als geeignet für die kostengünstige und rasche Schnellanalytik von Gülle erscheinen.

6. Literaturangaben

Burns, D.A., Ciurczak, E.W. (Hrsg.), 2001: Handbook of Near Infrared Analysis, 2. Aufl., Marcel Dekker Inc., New York.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2003: VDLUFA-Mitteilungen, Heft 2/2003, 23-28.

Wenzl W., Steiner B., Haberl L., 2007: Feldstudie zur NIRS-Gülleanalyse und Vergleich der Nährstoffbilanzen mit Tabellenwerten, Poster P27. In: 119. VDLUFA-Herbsttagung 2008, Göttingen.

Wenzl W., Haberl L., Steiner B., Gruber L., 2008: Möglichkeiten und Grenzen der Gülleanalytik mittels Nanobag und NIRS. ALVA-Frühjahrstagung, Irnding.

Autorenindex

Adelwöhrer, A.	490	Ertl, J.	518
Albert, E.	340	Ettle, T.	481, 473, 588
Apelt, B.	279	Eulenburg, C.z.	353
Appel, T.	195, 286	Fettweis, U.	677
Armbruster, M.	95, 227	Fiedler, S.	219
Baars, T.	568	Flekna, J.	691
Bedlan, G.	32	Fortmann, J.	402
Beintmann, S.	525	Fouda, S.	379
Bilz, J.	648	Franko, U.	362
Bischoff, J.	274	Franz, K.	261, 397, 595
Boese, L.	139, 445	Fritsch, F.	171
Boess, J.	402	Frühwirth, M.	568
Bopper, S.	429, 437	Gans, W.	279
Borchert, A.	187	Gerlach, K.	534
Brock, A.K.	236	Gilhofer, A.	300
Bronsema, H.	106	Gowik, P.	695
Broock, R.vo.	90	Greef, J.M.	353
Bucher, H.	266	Griese, T.	24
Buegger, F.	219	Grimm, E.	131
Büttner, P.	460	Grimm, S.	717
Cramer, F.	19	Gronauer, A.	416
Danier, J.	550	Gross, J.J.	510, 518
Detlefsen, H.-J.	648	Gruber, L.	490
Diethart, I.	294	Grünewald, K.-H.	550
Diethelm, M.	454	Gödeke, K.	613
Dressler, M.	460	Haberl, L.	300, 574, 732
Dunkel, S.	613	Haferkorn, U.	323
Engels, C.	387	Halle, I.	632
Engler, N.	636	Hartwig, H.	257, 711
Erdle, K.	210	Herbst, F.	279

Herzog, F.	74	Leberl, P.	608
Heubach, M.	146	Leiterer, M.	648
Heuwinkel, H.	416	Leithold, G.	261, 397, 595
Heyn, J.	331	Lex, M.	162
Hoff, K.	59	Lichti, F.	379
Horn, D.	195, 286	Lindermayer, H.	120
Hortmann-Scholten, A.	66	Losand, B.	558
Häusler, J.	490	Lüpping, W.	550
Höpfner, E.	249	Mahlkow-Nerge, K.	558
Jackisch, W.	445	Mair, Ch.	624
Jessel, B.	33	Makary, Th.	266
Jestadt, A.	454	Martens, D.	227
Jilg, T.	558	Meister, H.	648
Jungbluth, T.	51	Meißner, R.	274, 315
Kage, H.	45	Menke, A.	525
Kalzendorf, C.	608	Messerschmidt, D.	568
Kersten, S.	429	Mistele, B.	210
Killermann, B.	424, 454, 460	Moser, M.	568
Kirchhof, S.	490	Müller, T.	219, 266
Klose, R.	648	Müller, U.	402
Knoblauch, S.	306	Nagel, T.G.	468
Kolbe, H.	362	Obermaier, A.	588
Kramer, E.	608	Olfs, H.-W.	180, 187
Krapf, L.C.	416	Palmer, I.	219
Krause, R.	601	Pang, H.	227
Krellig, B.	445	Pasda, G.	154, 162
Kronschnabl, C.	558	Paul, R.	241
Kruse, M.	429, 437	Peticzka, R.	294
Kruse, S.	409	Pfab, H.	219
König, V.	249	Polzer, J.	695
Kücke, M.	353	Pralle, H.	180, 187
Laun, N.	95	Preißinger, W.	558

Pries, M.	120, 525, 541, 558	Steyer, M.	473
Richardt, W.	541	Strauß, C.	274, 315
Ruppel, S.	236	Strube, M.	613
Ruser, R.	219	Südekum, K.-H.	490, 534
Rutzmoser, K.	481, 583	Theuvsen, L.	106
Schauer, A.	490	Thiel, E.	362
Schedle, K.	624	Tholen, E.	525
Schmid-Eisert, A.	261, 397, 595	Tillmann, P.	732
Schmidhalter, U.	210, 379, 416	Trauboth, K.	613
Schrödter, M.	274, 315	Trautz, D.	187
Schröter, H.	146, 202, 370	Trenkle, A.	669, 681
Schuh, K.	286	Tucher, S.vo.	379
Schulz, R.	219, 266	Unterfrauner, H.	294
Schuster, H.	583	Urdl, M.	490
Schwarz, F.	558	Voit, B.	424, 454, 460
Schwarz, F.J.	510, 518	Wagner, S.	146, 202, 249
Schweizer, G.	454	Wein, R.	541
Schäfer, W.	402	Weinfurtner, S.	588
Schöne, A.	724	Weiß, K.	534, 601
Seeger, J.	274, 315	Weller, F.	613
Seelig, J.	195	Wendt, J.	642
Severin, K.	402	Wenzl, W.	294, 300, 568, 574, 732
Somitsch, W.	300, 732	Westermeier, P.	82
Sommer, H.	261, 397, 595	Wetscherek, W.	624
Spiekers, H.	120, 473, 558, 588	Wies, K.	227
Spreng, V.	518	Wiesler, F.	15, 95, 227
Stachel, C.	695	Willkommen, S.	154
Stadler, B.	636	Windisch, W.	518
Stangassinger, M.	558	Winkler, J.	705
Steiner, B.	300, 574, 732	Wittkowski, G.	114
Steinhöfel, O.	541	Wohlers, J.	568
Steuer, G.	550	Zerulla, W.	154, 162

Zorn, W.	146, 202, 370
Übelhör, W.	257, 711, 717
Überbacher, B.	732

Adressliste der Autoren

Dr. Erhard Albert

Sächsisches Landesamt für
Umwelt, Landwirtschaft und
Geologie
Gustav-Kühn-Straße 8
4159 Leipzig

Prof. Dr. Thomas Appel

Fachhochschule Bingen
Berlinstraße 19
55411 Bingen

Dr. Martin Armbruster

LUFÄ - Landwirtschaftliche Unter-
suchungs- und Forschungsanstalt
Speyer
Obere Langgasse 40
67346 Speyer

Dr. Gerhard Bedlan

AGES - Österreichische Agentur für
Gesundheit
und Ernährungssicherheit
Spargelfeldstraße 191
1220 Wien

Lothar Boese

LLFG - Landesanstalt für Land-
wirtschaft, Forsten und Gartenbau
Sachsen-Anhalt
Strenzfelder Allee 22
6406 Bernburg

Sebastian Bopper

Universität Hohenheim
Fachgebiet Saatgutwissenschaften
und -technologie
Fruwirthstraße 21
70599 Stuttgart

Dipl.-Ing Anne Borchert

Hochschule Osnabrück
Fakultät Agrarwissenschaften
Am Krümpel 31
49090 Osnabrück

Dr. Anita Brock

IGZ Großbeeren/Erfurt e.V.
Theodor-Echtermeyer-Weg 1
14979 Großbeeren

Dr. Hauke Bronsema

Universität Göttingen
Betriebswirtschaftslehre des
Agribusiness
Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen

Dr. Reinhard von Broock

KWS LOCHOW GMBH
Ferdinand-von-Lochow-Straße 5
29303 Bergen

MR Friedel Cramer

Bundesministerium für Ernährung,
Landwirtschaft und
Verbraucherschutz, Ref. 511
Rochusstraße 1
52123 Bonn

Mag. Ivoneta Diethart

LFZ Raumberg-Gumpenstein
Altirdning 11
8952 Irdning

Markus Dressler

LfL - Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Institut für Pflanzenbau und
Pflanzenzüchtung
Lange Point 6
85354 Freising

Silke Dunkel

TLL - Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Naumburger Straße 98
7743 Jena

Klaus Erdle

Technische Universität München
Lehrstuhl für Pflanzenernährung
Emil-Ramann-Straße 2
85354 Freising

Prof. Dr. Christof Engels

Humboldt-Universität zu Berlin
Landwirtschaftlich-Gärtnerische
Fakultät
Fachgebiet Pflanzenernährung
Albrecht-Thaer-Weg 4
14195 Berlin

Nils Engler

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche
Fakultät
Technikum Abfallwirtschaft und
Bioenergie
Tannenweg 22
18059 Rostock

Johann Ertl

Technische Universität München
Lehrstuhl für Tierernährung
Liesel-Beckmann-Straße 6
85354 Freising-Weihenstephan

Dr. Thomas Ettle

LfL - Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
ITE Institut für Tierernährung und
Futterwirtschaft
Prof.-Dürnwächter-Platz 3
85586 Poing

Dr. Ulrich Fettweis

C. Gerhardt GmbH & Co. KG
Cesariusstraße 97
53639 Königswinter

Jürgen Flekna

Pragmatis GmbH
Lohweg 27
85375 Neufahrn

Dr. Friedhelm Fritsch

Dienstleistungszentrum
Ländlicher Raum
Rüdesheimerstraße 60-68
55543 Bad Kreuznach

Dipl.-Ing. Matthias Frühwirth

Human Research Institut für
Gesundheitstechnologie und
Präventionsforschung
8160 Weiz

Dr. Thomas Griese

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau
und Forsten
Kaiser-Friedrich-Straße 1
55116 Mainz

Dipl.-Ing. Ewald Grimm

KTBL - Kuratorium für Technik und
Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
Bartningstraße 49
64289 Darmstadt

Sabine Grimm

LTZ Augustenberg
Neßlerstraße 23-31
76227 Karlsruhe

Dipl.-Ing. agr. Josef Gross

Technische Universität München
Department für Tierwissenschaften
Liesel-Beckmann-Straße 6
85350 Freising

Univ-Doz. Leonhard Gruber

LFZ Raumberg-Gumpenstein
Institut für Nutztierforschung
Gumpenstein
8952 Irdning

Dr. Karl-Hermann Grünewald

Verein Futtermitteltest e.V.
Siebengebergsstraße 20
53229 Bonn

Dr. Ulrike Haferkorn

Staatliche Betriebsgesellschaft
für Umwelt und Landwirtschaft
Kleinsteinbergerstraße 3
4821 Brandis

PD Dr. Ingrid Halle

FLI - Friedrich-Löffler-Institut
Institut für Tierernährung
Bundesallee 538116 Braunschweig

Heiner Hartwig

LTZ Augustenberg
Neßlerstraße 23-31
76227 Karlsruhe

Dr. Friedhelm Herbst

Universität Halle
Professur für Pflanzenernährung
Betty-Heimann-Straße 3
6120 Halle/S.

Dr. Felix Herzog

Forschungsanstalt Agroscope
Reckenholz-Taänikon ART
Reckenholzstraße 191
8046 Zürich

Dr. Johannes Heyn

LLH - Landesbetrieb Landwirtschaft
Hessen
Am Versuchsfeld 13
34128 Kassel

Prof. Dr. Klaus Hoff

Fachhochschule Bingen
Berlinstraße 19
55411 Bingen

Dr. Albert Hortmann-Scholten

Landwirtschaftskammer Nieder-
sachsen
Geschäftsbereich Landwirtschaft
Mars-la-Tour Straße 6
26015 Oldenburg

Winfried Jackisch

Söbrigener Straße 70
01326 Dresden

Prof. Dr. Beate Jessel

BfN - Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstraße 11
53179 Bonn

Alexandra Jestadt

LFL - Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Freising-Weißenstephan
Vöttinger Straße 38
85354 Freising

Dr. Thomas Jilg

LAZBW - Landwirtschaftliches
Zentrum Baden-Württemberg
Aulendorf
Atzenberger Weg 99
88326 Aulendorf

Prof. Dr. Thomas Jungbluth

Universität Hohenheim
Institut für Agrartechnik
Garbenstraße 9
70593 Stuttgart

Prof. Dr. Henning Kage

CAU - Christian-Albrechts-
Universität, Institut für Pflanzenbau
und Pflanzenzüchtung,
Hermann-Rodewald Straße 9
24118 Kiel

Sonja Kersten

Universität Hohenheim
Fachgebiet Saatgutwissenschaften
und -technologie
Fruwirthstraße 21
70599 Stuttgart

Dr. Berta Killermann

LfL - Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft, Institut für Pflanzen-
bau und Pflanzenzüchtung
Lange Point 6
85354 Freising

Rainer Knoblauch

LTZ Augustenberg
Neßlerstraße 23-31
76227 Karlsruhe

Dr. Ewald Kramer

ISF GmbH
An der Mühlenau 4
25421 Pinneberg

Christian Krapf

LfL - Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft, Institut für Land-
technik und Tierhaltung
Am Staudengarten 2
85354 Freising

Caroline Kronschnabl

LFL - Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
ITE Grub
Prof.-Dürrwächter-Platz 3
85586 Grub

Prof. Dr. Michael Kruse

Universität Hohenheim
Fachgebiet Saatgutwissenschaften
und -technologie
Fruwirthstraße 21
70599 Stuttgart

Dr. Hans-Peter König

K+SKALI GmbH
Bertha-von-Suttner-Straße 7
34131 Kassel

Dr. Martin Kücke

JKI - Julius-Kühn-Institut
Institut für Pflanzenbau und Boden-
kunde
Bundesallee 538116 Braunschweig

Dr. Matthias Leiterer

TLL - Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Naumburger Straße 98
7743 Jena

Thomas Makary

Stuttgarter Straße 99
73734 Esslingen
[Doktorand am Institut für Kultur-
pflanzenwissenschaften Universität
Hohenheim, Fg. Düngung mit Boden-
chemie (340i)]

Helmut Meister

LTZ Augustenberg
Neßlerstraße 23-31
76227 Karlsruhe

Elke Nagel

Hochschule Osnabrück
Fakultät Agrarwissenschaften
Am Krümpel 31
49090 Osnabrück

Prof. Dr. Hans-Werner Olf

Hochschule Osnabrück
Fakultät Agrarwissenschaften
Am Krümpel 31
49090 Osnabrück

Dr. Gregor Pasda

BASF SE
Speyerer Straße 2
67117 Limburgerhof

Dr. Rainer Paul

TLL - Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Naumburger Straße 98
7743 Jena

Dr. Joachim Polzer

Bundesamt für Verbraucherschutz
und Lebensmittelsicherheit
EU- und Nationales Referenzlabor
Mauerstraße 39
10117 Berlin

Dipl. Ing. Herbert Pralle

Hochschule Osnabrück
Fakultät Agrarwissenschaften
und Landschaftsarchitektur
Am Krümpel 31
49090 Osnabrück

Dr. Martin Pries

Landwirtschaftskammer NRW
Nevinghoff 4
48147 Münster

Dr. Wolfram Richardt

LKS mbH
August-Bebel-Straße 6
9577 Niederwiesa

Dr. Reiner Ruser

Universität Hohenheim
Fachgebiet Kulturpflanzenwissen-
schaften
Fruwirthstraße 2
70593 Stuttgart

Dr. Karl Rutzmoser

LfL - Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
ITE Grub
Prof.-Dürnwächter-Platz 3
85586 Grub

Hubert Schröter

TLL - Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Naumburger Straße 98
7743 Jena

Prof. Dr. Frieder Jörg Schwarz

Technische Universität München
Department für Tierwissenschaften
Liesel-Beckmann-Straße 6
85350 Freising

Antje Schöne

Medizin- und Labortechnik GmbH
Bernhard-Voß-Straße 27
1445 Radebeul

Juliane Seeger

Helmholtz-Zentrum für Umweltfor-
schung GmbH
Permoserstr. 15
04318 Leipzig

Dr. Karl Severin

Landwirtschaftskammer Nieder-
sachsen, Geschäftsbereich Land-
wirtschaft 3.12
Hans-Böckler-Allee 20
30173 Hannover

Dr. Hendrik Sommer

Institut für LifeAgriScience
Sachsenberger Straße 21
35066 Frankenberg

Dr. Hubert Spiekers

LFL - Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
ITE Grub
Prof.-Dürrwächter-Platz 3
85586 Grub

Barbara Stadler

Gesellschaft für Analysetechnik
HLS
Uelzener Straße 34a
29410 Salzwedel

Mariana Steyer

LFL - Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
ITE Grub
Prof.-Dürrwächter-Platz 3
85586 Grub

Claudia Strauß

Landesanstalt für Landwirtschaft
Forsten und Gartenbau
Strenzfelder Allee 22
6406 Bernburg

Dr. Enrico Thiel

LfULG - Sächsisches Landesamt für
Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Referat Pflanzenbau, Nachwach-
sende Rohstoffe
Gustav-Kühn-Str. 8
4159 Leipzig

Dr. Armin Trenkle

LTZ Augustenberg
Neßlerstraße 23-31
76227 Karlsruhe

Dr. Sabine von Tucher

Technische Universität München
Lehrstuhl für Pflanzenernährung
Emil-Ramann-Straße 2
85354 Freising

Bernhard Überbacher

IPUS GmbH
Werksgasse 281
8786 Rottenmann

Benno Voit

LFL - Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Institut für Pflanzenbau und Pflan-
zenzüchtung
Lange Point 6
85354 Freising

Dr. Kirsten Weiß

Humboldt-Universität
LGF Gemeinschaftslabor Analytik
Invalidenstraße 42
10115 Berlin

Franziska Weller

TLL - Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Naumburger Straße 98
7743 Jena

Dr. Jürgen Wendt

LECO Instrumente GmbH
Marie-Bernays-Ring 31
41199 Mönchengladbach

Dr. Wolfram Zerulla

BASF SE
Speyerer Straße 2
67117 Limburgerhof

Dr. Wilfried Wenzl

LFZ Raumberg-Gumpenstein
Altirdning 11
8952 Irdning

Dr. Wilfried Zorn

TLL - Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Naumburger Straße 98
7743 Jena

Dr. Peter Westermeier

Technische Universität München
Lehrstuhl für Pflanzenernährung
Emil-Ramann-Straße 2
85354 Freising

Prof. Dr. Wolfgang Wetscherek

Universität für Bodenkultur
Institut für Tierernährung
Muthgasse 11
1190 Wien

Prof. Dr. Franz Wiesler

LUFA - Landwirtschaftliche Unter-
suchungs- und Forschungsanstalt
Speyer
Obere Langgasse 467346 Speyer

Dr. Jörg Winkler

Landesbetrieb Hessisches
Landeslabor
Am Versuchsfeld 13
34128 Kassel

Dr. Gerhard Wittkowski

Tiergesundheitsdienst Bayern e.V.
Senator-Gerauer Straße 23
89312 Günzburg

