fnr.de

GEWÄSSERSCHUTZ MIT NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN

STEIGERUNG DER GEWÄSSER-SCHUTZLEISTUNG

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FNR
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

IMPRESSUM

Herausgeber
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)
OT Gülzow, Hofplatz 1
18276 Gülzow-Prüzen
Tel.: 03843/6930–0
Fax: 03843/6930–102
info@fnr.de
www.fnr.de

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und
Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Text
Andrea Biertümpfel, Dr. Christine von Buttlar, Martin Degenbeck, Dr. Michael Dickeduisberg, Dr. Maendy Fritz, Dr. Cornelia Fürstenau, Tobias Glauert, Dr. Dennis Grunwald, Jonas Haag, Dirk Harzendorf, Prof. Dr. Carsten Herbes, Johannes Köhler, Dr. Peter Kornatz, Birgit Kräling, Prof. Dr.-Ing. Achim Loewen, Carsten Meyer, Janine Müller, Nicole Paul, Dr. Siegfried Schittenhelm, Dr. habil. Armin Vetter, Dr. Matthias Willms

Redaktion
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Abteilung Öffentlichkeitsarbeit
Ingenieurgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt (IGLU), Christine von Buttlar

Bilder
Titel: naturenow/Fotolia, v. Buttlar und Müller-Thomsen/IGLU,
Achim Banck/Fotolia, FNR/Zdenka Hajkova
Sofern nicht am Bild vermerkt: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)

Gestaltung/Realisierung
www.tangram.de, Rostock

Druck
www.mkl-druck.de, Ostbevern

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 939
2., überarbeitete Auflage
FNR 2020

VORWORT

Sehr geehrte Damen und Herren,
im Zusammenhang mit der Novellierung der Düngeverordnung wird das Thema Gewässerschutz in der Landwirtschaft seit einiger Zeit höchst kontrovers diskutiert. Einerseits gilt es, Umweltziele zu erreichen und EU-Vorgaben zu erfüllen, andererseits fürchten viele Landwirte eine zu starke Einflussnahme auf ihre Arbeit.

Umso wichtiger sind konstruktive Lösungsvorschläge. Die vorliegende Broschüre will dazu einen Beitrag im Bereich Energiepflanzen leisten. Deren Anbau hat eine nicht zu unterschätzende Bedeutung für die Landwirtschaft; im Jahr 2019 umfasste er nach FNR-Erhebungen 2,37 Mio. Hektar oder rund ein Fünftel der nutzbaren Ackerflächen in Deutschland. Überproportional vertreten ist dabei die Kultur Mais, die aus Gewässerschutzsicht eine besondere Rolle spielt. In dieser Veröffentlichung wird mit konkreten Versuchsergebnissen eindrucksvoll aufgezeigt, wie wirksam sich Nährstoffüberschüsse im Maisanbau, aber auch in und mit anderen Kulturen reduzieren lassen.

Gegenüber der ersten Auflage findet der Leser neue Projektergebnisse, die zum Teil auch über den Aspekt des Energiepflanzenanbaus hinausgehen. Die Themen reichen von Untersaaten und Zwischenfruchtanbau über Dauerkulturen bis hin zur Oberflächenwasserbehandlung von Biogasanlagen. Zu vielen Konzepten gibt es wirtschaftliche Vergleiche, die zeigen, dass Gewässerschutz nicht zwangsläufig mit hohen wirtschaftlichen Einbußen verbunden ist. Zudem geht er häufig mit mehr Klimaschutz einher.

Die vorgestellten Forschungsergebnisse stammen überwiegend aus vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderten Projekten.

Der Schutz der natürlichen Ressourcen Boden und Wasser ist für eine nachhaltige Bioenergieerzeugung essentiell. Und diese wird dringend für die Energiewende gebraucht, stellt sie aktuell doch deutlich über die Hälfte des gesamten erneuerbaren Primärenergieverbrauchs in Deutschland.

Ihr

Dr.-Ing. Andreas Schütte
Geschäftsführer Fachagentur
Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)

© seignester/Adobe Stock

INHALT

1	**Einleitung**	6
2	**Wasserschutz in der landwirtschaftlichen Praxis – wichtige Regelungen**	8
2.1	Novellierte Düngeverordnung – neue Vorgaben zum Umgang mit Düngemitteln ab 2020	12
2.2	Weitere Verordnungen im Hinblick auf den Umgang mit Wirtschaftsdüngern	17
3	**Grundlagen gewässerschonender Landbewirtschaftung**	18
3.1	Nitrat – wichtiger Pflanzennährstoff	18
3.2	Viehhaltung und Biogas – bevorzugte Nutzung auf leichten Standorten	22
3.3	Gärrestmanagement und Energiepflanzenanbau – Worauf kommt es aus Sicht des Wasserschutzes an?	23
4	**Gewässerschutz im Energiepflanzenanbau – aufgezeigt an Versuchsergebnissen**	25
4.1	Zwischenfruchtanbau – tragende Säule des Gewässerschutzes	25
4.2	Untersaaten im Mais – wenn das Wasser reicht, eine gute Wahl	28
4.3	Düngung mit Gärresten zu Mais, Sorghum und Triticale – grundwasserschonend umgesetzt	31
4.4	Anpassung der Gärrestgabe zu Silomais an den N-Bedarf – ein Praxisbeispiel	36
4.5	Mehrschnittiges Ackergras in Fruchtfolgen mit Energiepflanzen – eine gute Alternative	37

4.6 Humuserhalt in Energiepflanzenfruchtfolgen – Basis für nachhaltige Ackernutzung 42
4.7 Wasserschutzfruchtfolgen mit Energiepflanzen – Potenziale und Wirtschaftlichkeit 47
4.8 Minderung von Erosion und N-Auswaschung mit Durchwachsener Silphie 52
4.9 Riesenweizengras – Ökonomische Lösung für trockene Standorte 57
4.10 Reduktion von Stoffeinträgen durch Pufferstreifen mit Kurzumtriebs-Gehölzen an Gewässern 61
4.11 Gewässerschutzleistung von Wildpflanzenmischungen für Biogasanlagen 67
4.12 Organisch belastetes Oberflächenwasser auf Biogasanlagen mit dem Flexbio-Verfahren managen 71
4.13 Vermarktung von Gärprodukten außerhalb der Landwirtschaft – Teil einer Strategie für die Reduzierung des Nährstoffdrucks auf Gewässer 75
4.14 Potenziale zum Gewässer- und Klimaschutz in Energiepflanzenfruchtfolgen 78
4.15 Tipps zur Steigerung der N- und P-Effizienz 81

5 Ausblick 86

6 Anhang 90
6.1 Literaturverzeichnis 90
6.2 Beteiligte Institutionen 93

1 EINLEITUNG

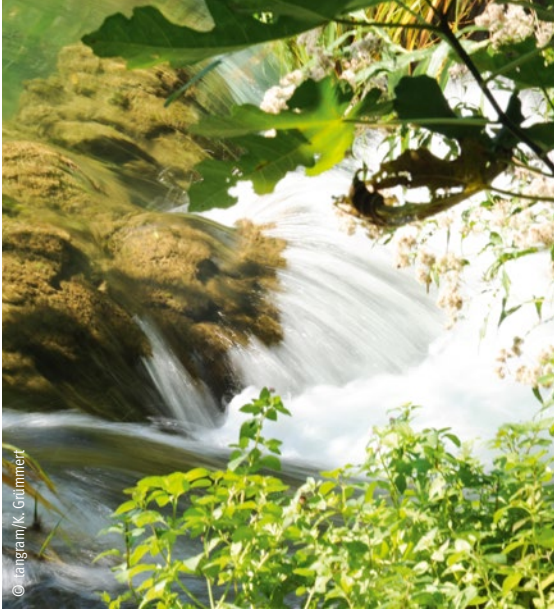
Mit der Einführung des Bonus für nachwachsende Rohstoffe im **Gesetz für den Vorrang der Erneuerbaren Energien (EEG)** im Jahr 2004 hat die Energiepflanzenproduktion zur energetischen Verwertung einen deutlichen Aufschwung erlebt. Der Anbau nachwachsender Rohstoffe für die Biogaserzeugung hat sich seitdem zu einem wichtigen Standbein der landwirtschaftlichen Produktion entwickelt und trägt damit zur Erreichung der Klimaschutzziele in Deutschland bei. Bedingt durch den deutlichen Anstieg an Biogasanlagen auf derzeit rund 9.000 Anlagen mit einer elektrischen Gesamtleistung von ca. 4,8 Gigawatt stieg auch die Anbaufläche für Biogas-Energiepflanzen auf bundesweit rund 1,55 Millionen ha an (FNR, Stand März 2020). Silomais ist mit gut 60 Prozent Flächenanteil die wichtigste Biogaskultur. Der schnelle Anstieg der Anbaufläche insbesondere für Mais sowie das zunehmende Aufkommen an organischen Düngern aus nachwachsenden Rohstoffen haben dazu geführt, dass das Thema Energiepflanzenanbau und Betrieb von Biogasanlagen derzeit verstärkt vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit und insbesondere des Gewässerschutzes diskutiert wird (DWA 2020, DVGW 2010). Denn sowohl der verstärkte Anbau von Mais als auch der intensive Einsatz von organischen Düngern stellt aus Sicht des Gewässerschutzes ein Risikopotenzial für das Grundwasser und die Oberflächengewässer dar.

Mit dem **EEG 2014** wurde der Förderschwerpunkt für neue Anlagen weg von der Nutzung von Energiepflanzen und hin zur vermehrten Reststoff- bzw. Wirtschaftsdüngernutzung verlagert. Dies hat zu einem deutlichen Rückgang des Anlagenzubaus geführt. Der Bestand von rund 9.000 Biogasanlagen wird aber in den nächsten Jahren weiter Energie erzeugen. Dies begründet sich darin, dass im novellierten **EEG von 2017** u. a. die Option zur Beantragung einer 10-jährigen Anschlussförderung für Bestandsanlagen verankert wurde. Somit wird sich auch am Flächenbedarf für Energiepflanzen künftig nur wenig ändern. Die Forderungen an einen gewässerschonenden Betrieb von Biogasanlagen in allen ihren Teilbereichen, vom Anlagenbetrieb über Gärrestverwertung und Energiepflanzenanbau, bleiben somit bestehen. Hier sind die gleichen Maßstäbe zu setzen wie an den Marktfrucht- und Futterbau sowie den Umgang mit Wirtschaftsdüngern insgesamt.

Der Ordnungsrahmen zum Schutz der Gewässer wird durch die **EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL)** einheitlich für Europa vorgegeben. Hier werden Vorgaben für den Erhalt eines guten chemischen, mengenmäßigen und ökologischen Zustandes der Gewässer insbesondere hinsichtlich des Nitrats im Grundwasser und Phosphats im Oberflächengewässer geregelt. Die EU-Richtlinie wurde mit einer Anpassung des **Wasserhaushaltsgesetzes** in deutsches Recht umgesetzt. In weiten Teilen des Bundesgebietes werden die Ziele der EG-WRRL derzeit noch nicht erreicht. Von der Landwirt-

schaft werden hier in den nächsten Jahren Anstrengungen zum Abbau von Nährstoffverlusten erwartet. Dies soll durch eine flächendeckende Umsetzung der **Düngeverordnung** geschehen. Da die Düngeverordnung von 2017 nicht den europäischen Anforderungen entsprach, hat der Bundesrat am 27.3.2020 einer erneuten Novellierung zugestimmt. Die neuen flächendeckend geltenden Regeln sind seit 1.5.2020 gültig, zusätzliche Regelungen in nitratsensiblen Gebieten treten zum 1.1.2021 in Kraft. Die neuen Regelungen stellen insbesondere für viehhaltende und Biogasbetriebe höhere Anforderungen an den Umgang mit stickstoffhaltigen Düngern als bisher, was für nicht wenige ein Umdenken und eine Neuausrichtung ihrer bisherigen Düngestrategien erfordert. Die meisten Bundesländer haben daher landesspezifische **Beratungs- und Maßnahmenprogramme** für gefährdete Grundwasser- und Oberflächengewässerkörper aufgelegt, die den Betrieben bei der Umsetzung einer gewässerschonenden Landwirtschaft Unterstützung bieten (z. B. WRRL-Beratung, Agrar- und Umweltprogramme).

Die vorliegende Handreichung soll einen **Beitrag zur Bewältigung dieser Herausforderungen leisten, indem sie gezielt für den Bereich der Erzeugung nachwachsender Rohstoffe Grundlagen und Zusammenhänge aufzeigt.** Zu Grunde gelegt werden Ergebnisse des Verbundvorhabens „Standortangepasste Anbausysteme für die Produktion von Energiepflanzen“ (EVA). Das Vorhaben wurde vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft


© rangram/K. Grimmert

(BMEL) über den Projektträger Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) gefördert. In der vorliegenden, aktualisierten Auflage wurden weitere Forschungsergebnisse aufgenommen, um auch Kulturen wie Riesenweizengras, Durchwachsene Silphie, Wildpflanzenmischungen, Kurzumtriebsplantagen an Gewässern, die Gärproduktevermarktung und den Umgang mit organisch belastetem Oberflächenwasser auf Biogasanlagen zu beleuchten. Es werden **konkrete Handlungsempfehlungen für die Praxis gegeben und weiterer Untersuchungsbedarf aufgezeigt**.

2 WASSERSCHUTZ IN DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN PRAXIS – WICHTIGE REGELUNGEN

Für die landwirtschaftliche Praxis sind im Hinblick auf eine gewässerschonende Landnutzung eine ganze Reihe von Gesetzen und Vorgaben relevant. Ganz konkret macht jeder Flächennutzer derzeit Erfahrungen mit der Umsetzung der novellierten Düngeverordnung (DüV), insbesondere im Hinblick auf die Nährstoffe Stickstoff und Phosphat. Die Forderung, landwirtschaftliche Erzeugung sowie Biogasproduktion mit den Zielen der Wasserpolitik in Einklang zu bringen, ist derzeit aktueller denn je. Die folgende Abbildung 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten gesetzlichen Grundlagen, Regelungen und Programme zur Sicherung einer gewässerschonenden Landbewirtschaftung.

Quelle: C. v. Buttlar/IGLU

Abb. 1: Übersicht wichtiger gesetzlicher Grundlagen, Regelungen und Programme zur gewässerschonenden Landbewirtschaftung

Gewässerschutz vorbildlich umgesetzt – hier schützt ein breiter Gräser-Randstreifen den Graben vor Nährstoffeinträgen.

EG-Nitratrichtlinie

Die seit 1991 gültige Nitratrichtlinie (Richtlinie zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen, RL 91/676/EWG vom 12.12.1991) zielt darauf ab, die europäischen Grund- und Oberflächengewässer sowie Küstengewässer vor Nitrat-Verunreinigungen aus landwirtschaftlichen Quellen zu schützen. In allen Gewässern soll ein Nitratgehalt von 50 mg Nitrat/l und Jahr eingehalten werden. Die Umsetzung in Deutschland erfolgt durch ein flächendeckendes Aktionsprogramm, u. a. bestehend aus Düngeverordnung (DüV), Verordnung zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) und zusätzlichen Maßnahmen der Länder (z. B. Förderung, Beratung, Verträge, Schulung).

EG-Wasserrahmenrichtlinie

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG; kurz EG-WRRL) bildet den allgemeinen Ordnungsrahmen zum Schutz der Gewässer (Grundwasser und Oberflächengewässer und Übergangs- und Küstengewässer) in der Europäischen Union.

Ziel der Richtlinie ist die Erreichung bzw. der Erhalt eines „guten Zustandes“ der Grundwasserkörper, der Oberflächengewässer (Flüsse, Bäche, Seen) sowie der Küsten- und Übergangsgewässer. Dies bedeutet:

1. Der „gute Zustand“ eines **Grundwasserkörpers** ist erreicht, wenn sowohl der chemische als auch der mengenmäßige Zustand als „gut“ bewertet werden. Ein wichtiges Kriterium ist die Einhaltung eines Grenzwertes von **max. 50 mg Nitrat/l und Jahr**. Die Vermeidung und Reduzierung von erhöhten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter landwirtschaftlich genutzten Flächen und deren Eintrag in die Gewässer spielen hier eine besondere Rolle. Als „mengenmäßig gut“ wird ein Grundwasserkörper eingestuft, wenn die Grundwasserentnahme die Grundwasserneubildung nicht überschreitet.

Insgesamt wurden 36 % der deutschen Grundwasserkörper als „in schlechtem Zustand“ eingestuft. Dieser wird im Wesentlichen verursacht durch chemische Belastungen aus

diffusen (flächenhaften) Quellen, insbesondere Nitrat aus der landwirtschaftlichen Nutzung. Im Berichtszeitraum 2012 bis 2014 wies das deutsche EU-Nitratmessnetz, das gezielt Nutzungseinflüsse der Landwirtschaft erfasst (Acker, Grünland, Sonderkulturen, insgesamt 697 Messstellen), für 28 % der Grundwassermessstellen Nitratkonzent-

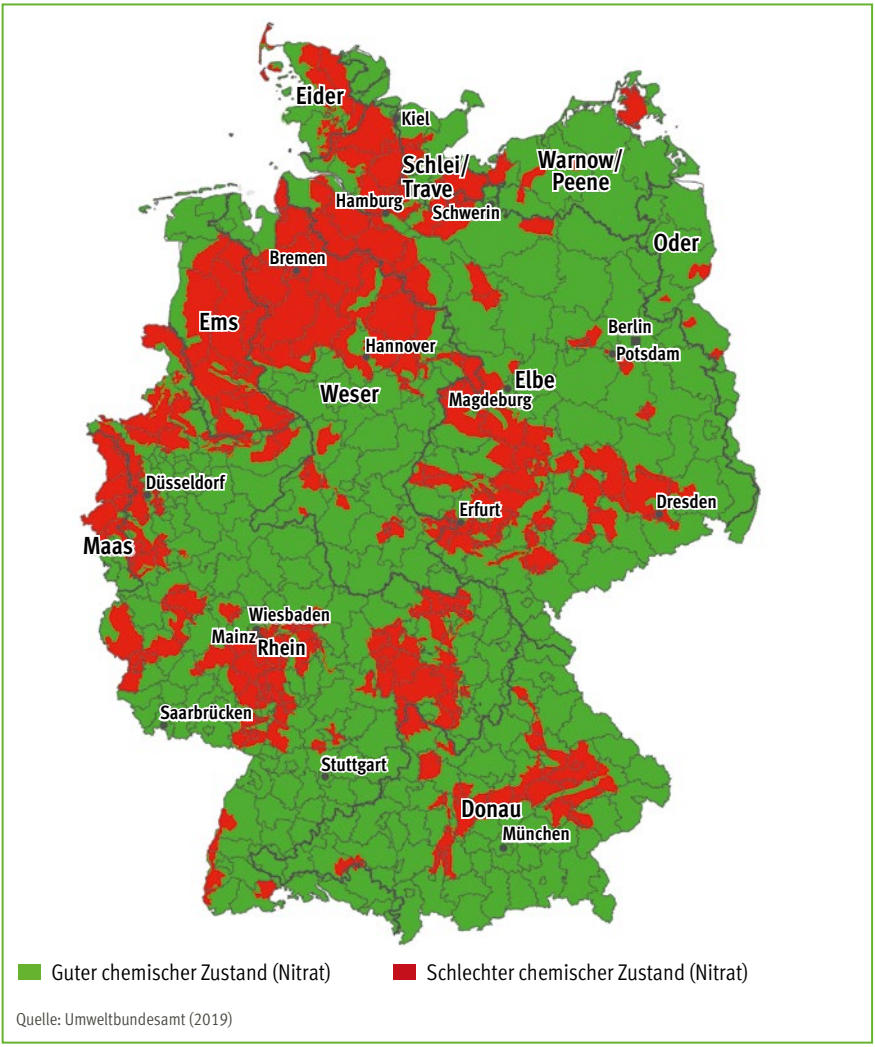


Abb. 2: Chemischer Zustand der Grundwasserkörper in Deutschland – Nitrat (UBA, 2019)

rationen größer 50 mg/l auf und an knapp der Hälfte aller Messstellen wurden Nitratkonzentrationen kleiner 25 mg/l gemessen (Nitratbericht 2016, weitere Infos unter: www.umweltbundesamt.de).

An der Mehrzahl der Messstellen für die Fließgewässer zeigt sich in den Jahren 2011 bis 2014 im Vergleich zum ersten Erhebungszeitraum 1991 bis 1994 bei den Nitratkonzentrationen eine leichte bzw. deutliche Belastungsabnahme: An rund 89 % der Messstellen des LAWA-Messstellennetzes ist ein abnehmender Trend feststellbar (Nitratbericht 2016). Bei den Oberflächengewässern erreichen dennoch 82 % noch nicht den gewünschten chemischen Zustand und bei Küstengewässern konnten 71 % die Ziele nicht erreichen (Bundestagsdrucksache 2016).

2. Der „gute Zustand" für die **oberirdischen Gewässer** bedeutet die Erreichung eines guten ökologischen und chemischen Zustands. Hier kommt der Verminderung von Phosphateinträgen durch Bodenabtrag (Erosion) sowie der Vermeidung von Pflanzenschutzmitteleinträgen in die Gewässer besondere Bedeutung zu (UBA 2010).

Die Phosphateinträge in die Gewässer Deutschlands sind im Zeitraum von 1993 bis 2014 stark zurückgegangen. Dieser Rückgang ist vor allem durch stark gesunkene Einleitungen aus kommunalen und industriellen Kläranlagen erreicht worden. Die Reduzierungen aus dem landwirtschaftlichen Bereich sind hierzu im Vergleich deutlich geringer ausgefallen (15 %) und betragen noch knapp 50 % der gesamten Phosphateinträge (2012–2014). Dies bedeutet, dass ca. 11.000 t Phosphat jährlich als Austräge aus landwirtschaftlichen Flächen über das Wasser verloren gehen. Hohe Phosphatkonzentrationen sind u. a. die Ursache dafür, dass Ziele der Wasserrahmenrichtlinie derzeit nicht erreicht werden (BMU, BMEL 2017, Nitratbericht 2016). Wesentliche Eintrittspfade von Phosphaten in Oberflächengewässer sind der Grundwasserabfluss, Erosionserscheinungen, Oberflächenabfluss und Abschwemmung sowie Abflüsse aus Dränagen. Allein die Verluste über das Grundwasser und die Erosion betragen in Summe mehr als 75 % (Holsten et al. 2016).

Die Zielerreichung muss gemäß EG-WRRL bei Inanspruchnahme aller Fristverlängerungen bis Ende 2027 erfolgen. Die rechtliche Umsetzung erfolgt auf Bundesebene durch das deutsche Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Die weitere Umsetzung obliegt den Ländern, u. a. durch Konkretisierung und Ergänzung der Vorgabe des WHG in den Landeswassergesetzen und insbesondere durch Aufstellung, Durchführung, regelmäßige Überprüfung und Anpassung von Bewirtschaftungs- und Maßnahmenprogrammen, die auch Förderprogramme wie Agrar- und Umweltmaßnahmen sowie Beratung einschließen.

Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
Das Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) bildet den Rechtsrahmen auf Bundesebene. Es setzt u. a. die EG-WRRL auf nationaler Ebene um. Gemäß Wasserhaushaltsgesetz sind schädliche bzw. nachteilige Änderungen von

Oberflächengewässern und Grundwasser zu vermeiden. In den jeweiligen Landeswassergesetzen und durch weitere Verordnungen werden die Rechtsbestimmungen des WHG konkretisiert.

Landeswassergesetze (LWG)
Die Landeswassergesetze konkretisieren die Vorgaben des Wasserhaushaltsgesetzes. In den Landeswassergesetzen sind u. a. Konkretisierungen zur Ausweisung von Wasserschutzgebieten und zur Erstellung der Maßnahmenprogramme zur Umsetzung der EG-WRRL enthalten.

Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen (NEC-Richtlinie)
Ende 2016 wurde auf europäischer Ebene die NEC-Richtlinie (2016/2284/EU) novelliert. Die NEC-Richtlinie legt Emissionshöchstmengen und Reduktionsziele u. a. für Ammoniakemissionen (NH_3) fest. Ammoniak-Emissionen stammen zu 95 % aus der Landwirtschaft und hier im Wesentlichen aus der Tierhaltung und in geringerem Maße aus der Düngemittelverwendung sowie der Lagerung und Ausbringung von Gärresten der Biogasproduktion.

Deutschland muss seinen Ammoniakausstoß bis 2020 um 5 % und bis 2030 um 29 % gegenüber dem Wert von 2005 senken. Wirksame Maßnahmen zur Reduktion der Ammoniakemissionen sind die emissionsarme Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und Gärresten mit unmittelbarer Einarbeitung, Abluftreinigung in Stallgebäuden und die Abdeckung von Gülle- und Gärrestlagern (UBA 2020).

2.1 Novellierte Düngeverordnung – neue Vorgaben zum Umgang mit Düngemitteln ab 2020

Düngeverordnung (DüV)
Die Düngeverordnung ist wesentlicher Bestandteil des Aktionsprogramms zur Umsetzung der EG-Nitratrichtlinie in Deutschland sowie zur Umsetzung der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. Sie soll einen Beitrag zu folgenden politischen Zielen leisten:

- Senkung des Stickstoffbilanzüberschusses auf 70 kg N/ha und Jahr im Mittel der Jahre 2028–2032
- Reduzierung der Ammoniakemissionen in Deutschland. Diese stammen zu 95 % aus der Landwirtschaft
- Erreichung der Ziele der EG-Wasserrahmenrichtlinie
- Verbesserung der Beiträge der Landwirtschaft zum Klimaschutz im Bereich Düngung

Die DüV regelt die gute fachliche Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und soll so zur Minderung von stofflichen Risiken durch deren Einsatz beitragen. Sie gibt vor, dass die Anwendung von Düngemitteln unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse auf ein Gleichgewicht zwischen der Nährstoffversorgung aus dem Boden und der Düngung einerseits und dem voraussichtlichen Nährstoffbedarf der Pflanzen andererseits auszurichten ist. Dabei sind Ausbringungsmengen und Zeitpunkte so zu bemessen, dass **Nährstoffeinträge in oberirdische Gewässer und das Grundwasser vermieden**

Vermeidung von Emissionen durch Einsatz von Injektionstechnik

werden. Dabei stehen Stickstoff und Phosphat im Mittelpunkt. Die Einhaltung der Vorgaben der Düngeverordnung wird u. a. durch entsprechende Cross Compliance-Kontrollen (CC-Kontrollen) überprüft. (Umweltbericht BMEL 2020)

Die erst zum 01.07.2017 erfolgte Novellierung der Düngeverordnung ging der EU-Kommission nicht weit genug, um Stickstoffüberschüsse aus der Landwirtschaft hinreichend zu reduzieren und die Ziele der Nitratrichtline zu erreichen, sodass eine weitere Nachbesserung der Inhalte erfolgte. Dem überarbeiteten Entwurf der neuen Düngeverordnung stimmte der Bundesrat am 27.03.2020 zu. Damit konnte das von der EU-Kommission eingeleitete Vertragsverletzungsverfahren mit hohen, drohenden Strafzahlungen abgewendet werden. Zum 1. Mai 2020 trat die neue DüV in Kraft mit einer Ausnahme: Die speziellen Regelungen in nitratbelasteten Gebieten werden erst ab 01.01.2021 gültig (siehe auch Bundesrat Drucksache 98/20).

Folgende Neuerungen wurden beschlossen:

Bundesweite Vorgaben für alle Flächen

- **Düngebedarfsermittlung**
  - Das tatsächliche Ertragsniveau der Kultur zur Düngebedarfsermittlung bezieht sich auf die letzten 5 Jahre. Eine stetige Reduktion der durchschnittlichen Ertragsmenge soll so verhindert werden.
  - Die Herbstdüngung zu Winterraps und -gerste ist beim N-Bedarfswert im folgenden Frühjahr anzurechnen.
  - Die Mindestwirksamkeit von Rinder- und Schweinegülle sowie flüssigen Gärresten wird um 10 Prozentpunkte erhöht a) auf Ackerland ab 01.02.2020 und b) auf Grünland ab 01.02.2025.

- **Dokumentation der Düngung**
  - Der Nährstoffvergleich und dessen Bewertung wurden gestrichen. Stattdessen sind jetzt spätestens zwei Tage nach jeder Düngungsmaßnahme schlagbezogen Art und Menge des Düngers, aufgebrachte Menge an N (Gesamt-N, verfügbarer N) sowie P_2O_5 aufzuzeichnen.
  - Bei Weidehaltung hat der Betriebsinhaber zusätzlich die Zahl der Weidetage sowie die Art und Zahl der auf der Weide gehaltenen Tiere nach Abschluss der Weidehaltung aufzuzeichnen. Die aufgebrachten Mengen der Nährstoffe sind bis zum Ablauf des 31. März des folgenden Kalenderjahres zu einer jährlichen, betrieblichen Gesamtsumme des Nährstoffeinsatzes zusammenzufassen.
  - Der ursprünglich ermittelte N-Düngebedarf darf infolge nachträglich eingetretener Umstände um maximal 10 % überschritten werden.
  - Falsche oder unvollständige Aufzeichnungen (der tatsächlichen Düngung) können zukünftig mit bis zu 50.000 € statt bisher 10.000 € bestraft werden.

- **Aufnahmefähigkeit des Bodens**
  - Stickstoff- oder phosphathaltige Dünger (auch Festmist) dürfen nicht aufgebracht werden, wenn der Boden überschwemmt, wassergesättigt, gefroren oder schneebedeckt ist. Die Ausnahmeregelungen für das Ausbringen auf gefrorenem Boden wurden gestrichen.

- **Herbstdüngung und Sperrfristen**
  - Die Sperrfrist für Festmist von Huf- und Klauentieren sowie Komposten wird um zwei Wochen verlängert (01.12. bis 15.01.).
  - Neu ist eine Sperrfrist für das Aufbringen von phosphathaltigen Düngemitteln auf Acker- und Grünland flächendeckend vom 01.12. bis zum 15.01.
  - Die Aufbringmenge von Gülle auf Dauergrünland und mehrjährige Feldfutterflächen (bei Aussaat bis 15. Mai) wird in der Zeit vom 01.09. bis Beginn der Sperrfrist auf 80 kg Gesamt-N je Hektar begrenzt.

- **N-Obergrenze Wirtschaftsdünger**
  - Der Einsatz von Wirtschaftsdünger ist auf 170 kg/ha Gesamt-N im Betriebsdurchschnitt begrenzt. Künftig dürfen bei der Berechnung der 170 kg N/ha-Obergrenze Flächen, auf denen die Aufbringung von N-haltigen Düngemitteln beschränkt ist, nur anteilig bis zur zugelassenen Düngehöhe berücksichtigt werden. Flächen, auf denen eine Düngung verboten ist, dürfen bei der Berechnung des Flächendurchschnitts nicht mehr berücksichtigt werden.
  - Begrenzung der Gesamtstickstoffmenge bei der Aufbringung von Festmist von Huf- und Klauentieren sowie von Kompost auf gefrorenem Boden auf maximal 120 kg N/ha Gesamtstickstoff.

- **Gewässerabstände bei Hangneigung**
  - Erhöhung des Gewässerabstandes bei Flächen ab 5 % Hangneigung ohne Düngung von 1 auf 3 m.
  - Erhöhung des Gewässerabstandes bei Flächen ab 10 % Hangneigung ohne Düngung auf 5 m.
  - Erhöhung des Gewässerabstandes in hängigem Gelände ab 15 % Hangneigung ohne Düngung von jetzt 5 auf 10 m.
  - Ab 5 % Hangneigung sind Düngemittel auf unbestelltem Ackerland sofort einzuarbeiten. Auf bestellten Ackerflächen ist die Düngung bei Reihenkultur ≥ 45 cm nur mit Untersaat oder sofortiger Einarbeitung, ohne Reihenkultur nur bei hinreichendem Pflanzenbestand bzw. Mulch-/Direktsaat zulässig.
  - Verpflichtung zur Aufteilung der Düngegabe ab einer Hangneigung von 10 %, wenn der Düngebedarf mehr als 80 kg Gesamtstickstoff je Hektar beträgt.

- **Einarbeitung**
  - Verkürzung der Einarbeitungszeit für flüssige Wirtschaftsdünger bei der Aufbringung auf unbestelltes Ackerland auf eine Stunde ab 01.02.2025.

© markuscz/Adobe.Stock

Weitere Vorgaben für die roten Gebiete ab dem 01.01.2021:

In der Übergangszeit bis zum 01.01.2021 sollen die nitratbelasteten, sogenannten „roten Gebiete“ nach einem bundesweit einheitlich abgestimmten Kriterienkatalog überprüft werden. Durch eine verpflichtende Binnendifferenzierung von belasteten Grundwasserkörpern soll die Ausweisung künftig passgenauer und am Verursacherprinzip orientiert erfolgen. In dem Zuge sollen auch die Grundwassermessnetze überprüft werden.

- Verringerung des Düngebedarfs um 20 % im Betriebsdurchschnitt für die Flächen des Betriebes, die in der N-Kulisse bewirtschaftet werden. (Länder können unter bestimmten Voraussetzungen Ausnahmen für Dauergrünland bezüglich dieser Regelung definieren).
- Schlagbezogene N-Obergrenze für die Ausbringung von organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln in Höhe von 170 kg N je Hektar. (Vorherige 170 kg N-Obergrenze wurde nicht flächenscharf bewertet, sondern auf den Durchschnitt der Betriebsfläche bezogen).
- Betriebe, die weniger als 160 kg Gesamtstickstoff je Hektar und davon nicht mehr als 80 kg in Form von mineralischen Düngemitteln aufbringen, sind von den beiden vorherig dargestellten Maßnahmen ausgenommen (extensiv wirtschaftende Betriebe).
- Einführung eines N-Herbstdüngungsverbotes zu Winterraps, Wintergerste und zu Zwischenfrüchten ohne Futternutzung. Eine Ausnahme vom Herbstdüngungsverbot gibt es für Winterraps, wenn über eine Bodenprobe nachgewiesen werden kann, dass der N_{min}-Gehalt im Boden unter 45 kg N/ha liegt.
- Die N-Düngung von Sommerkulturen mit einer Aussaat nach Ende Sperrfrist ist nur gestattet, wenn auf der jeweiligen Fläche im Herbst des Vorjahres eine Zwischenfrucht angebaut wurde, die nicht vor dem 15.01. umgebrochen wurde. Eine Ausnahme von dem Begrünungsgebot ist gegeben, wenn auf den jeweiligen Flächen im Vorjahr Kulturen standen, die nach dem 01.10. geerntet wurden und für Flächen in Gebieten, in denen der jährliche Niederschlag im langjährigen Mittel weniger als 650 Millimeter beträgt.
- Verlängerung der Sperrfrist für Festmist von Huf- oder Klauentieren sowie Kompost auf drei Monate (01.11. bis 31.01.).
- Verlängerung der Sperrfrist für Grünland und für Flächen des mehrschnittigen Feldfutterbaus bei einer Aussaat bis zum 15.05. in der N-Gebietskulisse um zwei weitere Wochen (01.10. bis 31.01.).
- Begrenzung der Ausbringmenge für flüssige organische Düngemittel auf Grünland und auf Ackerland mit mehrjährigem Feldfutterbau bei einer Aussaat bis zum 15.05. auf 60 kg Gesamt-N/ha in der Zeit vom 01.09. bis zum Einsetzen der Sperrfrist.

Diese Übersicht der wichtigsten aktuellen Neuerungen der DüV hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Eine gültige Gesamtübersicht der aktuellen Regelungen der DüV ist z. B. bei den bekannten Landwirtschaftsämtern zu erhalten. Die vorgestellten Neuerungen verdeutlichen, dass die Anforderrungen an die Ausbringung von

Düngemitteln künftig weiter steigen und die Obergrenzen stärker begrenzt werden. Für den Einsatz von Wirtschaftsdüngern und somit auch Gärresten resultiert daraus, dass eine Vermeidung von N- und P-Verlusten sowie der Einsatz zu pflanzenphysiologisch optimalen Zeitpunkten künftig noch mehr Bedeutung erlangt (Bundesrat 2020).

2.2 Weitere Verordnungen im Hinblick auf den Umgang mit Wirtschaftsdüngern

Verordnung zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV)
Die bundesweite **Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV)** ist am 01.08.2017 in Kraft getreten und löst die bislang geltende Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS) ab. Die AwSV regelt die Anforderungen an die Lagerung von flüssigen Wirtschaftsdüngern wie Jauche-, Gülle- und Silagesickersäften (JGS-Anlagen) sowie von Gärrückständen, Festmist und Kompost. Die bisherigen Anforderungen an JGS-Anlagen gelten entsprechend auch für Behälter für flüssige Gärrückstände, die Anforderungen für Festmist und Silierlagerstätten, wie seitliche Einfassung, gelten entsprechend auch für feste Gärrückstände. Die AwSV gilt nicht nur für landwirtschaftliche Betriebe mit Zahlungsansprüchen, sondern auch für gewerbliche Anlagen.

Meldeverordnung (Verbringensverordnung)
In einigen Bundesländern, insbesondere solchen mit hoher Viehdichte und hohem organischen Nährstoffaufkommen wie z. B. in Niedersachsen, wurden Verordnungen über die Meldepflichten in Bezug auf Wirtschaftsdünger erlassen. Ziel ist eine bessere Dokumentation und Kontrolle der Nährstoffströme. Alle Betriebe, die relevante Mengen an Wirtschaftsdüngern sowie Stoffe, die als Bestandteil Wirtschaftsdünger enthalten, abgeben, über- oder aufnehmen, müssen diese an die zuständige Behörde melden. In Niedersachsen werden diese Daten z. B. von der Landwirtschaftskammer erhoben und in einer digitalen Datenbank verwaltet. Die Meldepflicht gilt bei Überschreiten von 200 t bzw. m³ Liefermenge (www.lwk-niedersachsen.de).

© Jan Zappner

3 GRUNDLAGEN GEWÄSSERSCHONENDER LANDBEWIRTSCHAFTUNG

Eine gewässerschonend ausgerichtete Landbewirtschaftung setzt eine standortangepasste und auf hohe Stabilität ausgerichtete Flächennutzung voraus. Ertragssicherheit steht vor Ertragsmaximierung. Zum Einsatz sollen Anbauverfahren mit geringem Gefährdungspotenzial durch die Stickstoffdüngung und den chemischen Pflanzenschutz kommen. Belastungen des Bodens, der Oberflächengewässer und des Grundwassers sind gering zu halten. Die Anforderungen der „guten fachlichen Praxis" stellen dafür ein Grundgerüst dar.

Mögliche Stellschrauben zur Optimierung der Wasserschutzleistung im Ackerbau bestehen nach DWA (2020) u. a. in:

1. einer angepassten und diversifizierten Fruchtfolgegestaltung mit möglichst ganzjähriger Bodendeckung, wobei gezielt Kulturen mit einem geringen Auswaschungsrisiko integriert werden sollten,
2. einer optimierten und am tatsächlichen Bedarf ausgerichteten Düngung mit dem Ziel einer ausgeglichenen Nährstoffbilanz und der Vermeidung von Nährstoffüberhängen zum Winter,
3. der Sicherung einer ausgeglichenen Humusbilanz in den mittleren Versorgungsstufen, z. B. durch Zwischenfrüchte,
4. einer Optimierung von Pflanzenschutzmaßnahmen u. a. durch Einsatz von Frühwarnsystemen, mechanischen und biologischen Verfahren und in der Wahl robuster Anbausysteme und Sorten,
5. der Umsetzung von Maßnahmen zum Erosionsschutz, insbesondere bei Kulturen mit großem Reihenabstand, z. B. durch Mulchsaatverfahren, Untersaaten oder Zwischenfrüchte.

Die genannten Punkte gelten für alle angebauten Kulturen und somit auch für den Energiepflanzenanbau. Der Energiepflanzenanbau bietet prinzipiell aufgrund der Chancen zur Erweiterung der Kulturartenpalette und durch die Vergärung der Ganzpflanzenbiomasse zusätzliche Ansätze zum gewässerschonenden Anbau, die über die Möglichkeiten im Marktfrucht- und Futterbau hinausgehen.

3.1 Nitrat – wichtiger Pflanzennährstoff

Eine ausreichende Stickstoffversorgung der Pflanzen ist Grundlage der Ertragsbildung und sichert den Ernteerfolg. Damit die landwirtschaftliche Produktion jedoch nicht zu Lasten der Grundwasserqualität erfolgt, müssen Nitratüberschüsse nach der Ernte vermieden und so das Auswaschungsrisiko über Winter gering gehalten werden. Die Kenntnis des Anbaustandortes ist dabei von großer Bedeutung, denn Böden haben sehr unterschiedliche Wasserhaltevermögen und Speicherkapazitäten für Nährstoffe, dies gilt auch für Nitrat. Unter Berücksichtigung der

Niederschläge und der Flächennutzung berechnet sich die sogenannte Austauschhäufigkeit (AF-Faktor) als Maß für die stoffliche Verlagerungsneigung eines Standortes. In leichten Sandböden oder flachgründigen Böden wird Nitrat deutlich schneller als z. B. in tiefgründigen Lehmböden verlagert. Sind Nährstoffe erst einmal unterhalb der Wurzelgrenze angekommen, so können sie nicht mehr von den Pflanzenwurzeln aufgenommen werden und unterliegen bei positiver Wasserbilanz der Verlagerung ins Grundwasser. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft auf, dass der Nitratgrenzwert von 50 mg Nitrat/l auf einem Sandboden schon bei deutlich geringeren potenziell verlagerbaren N-Überschüssen erreicht wird als z. B. auf einer Löß-Parabraunerde oder tonreichen Böden.

Nach EG-WRRL als gefährdet eingestufte Böden sind daher vorwiegend Sandböden, z. B. in Geestregionen oder flachgründige Standorte mit geringer Bodenauflage. Die Herausforderungen an eine grundwasserschonende Flächennutzung sind somit gerade für Betriebe in den EG-WRRL-Zielkulissen besonders hoch.

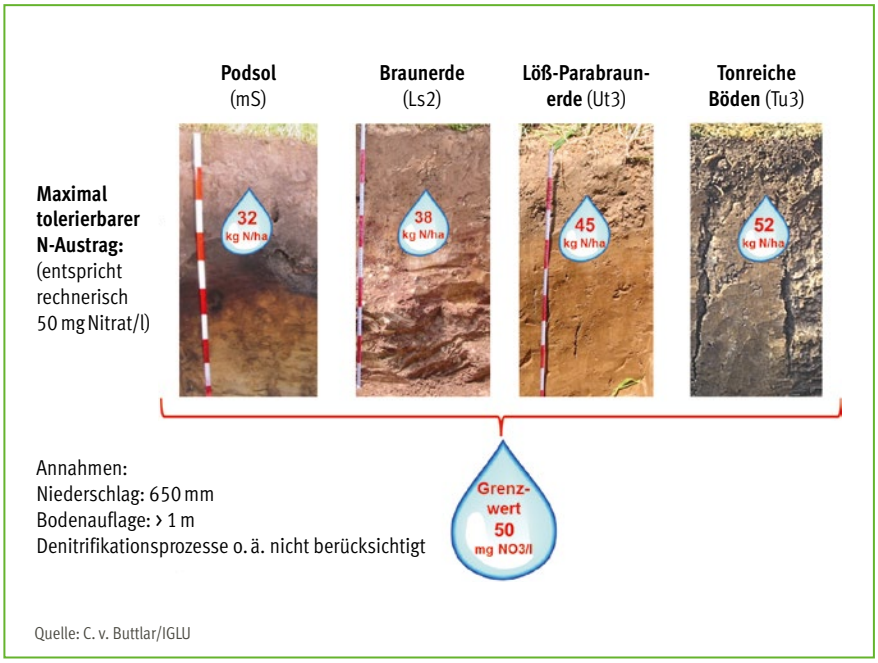
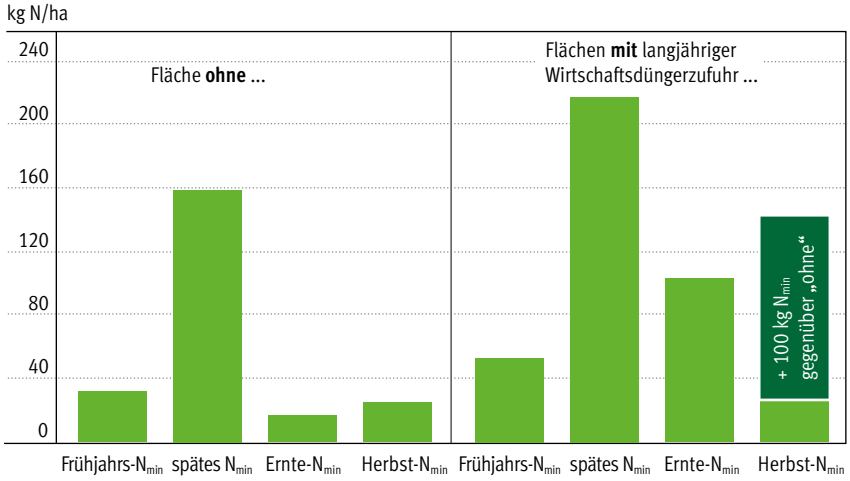


Abb. 3: Beispielhafte Berechnung für maximal tolerierbare N-Austräge zur Einhaltung des Nitratgrenzwertes von 50 mg NO_3/l für vier Böden (ohne Berücksichtigung weiterer Abbauprozesse unterhalb der Wurzelzone)

Nachlieferungspotenzial von organisch gedüngten Böden

Für eine grundwasserschonende Bewirtschaftung ist die Differenzierung der Flächen nach deren Zufuhr an Wirtschaftsdünger maßgeblich. Zwischen Standorten, die regelmäßig organisch gedüngt werden und solchen, die nie bzw. nur sporadisch organisch gedüngt werden, muss bei der Düngeplanung unterschieden werden, denn die N-Nachlieferung aus dem Boden steigt bei regelmäßiger organischer Düngung deutlich an. Abbildung 4 verdeutlicht, dass durch langjährige Wirtschaftsdüngerausbringung, hier vorwiegend durch Rindergülle, das Niveau der N_{min}-Werte im gesamten Jahresverlauf deutlich ansteigt. Das späte N_{min} auf der Fläche **ohne** Wirtschaftsdüngerzufuhr entspricht der Düngegabe zu Mais, während auf der Fläche **mit** Wirtschaftsdünger zusätzlich die Nachlieferung aus dem Boden in Höhe von 60 kg N/ha hinzukommt. Vor Winter zeigen sich auf dem Mineraldüngerstandort niedrige Herbst-N_{min}-Werte, während auf dem organisch gedüngten Standort deutliche N-Überhänge gemessen wurden. Die N-Nachlieferung des Standortes wurde im vorliegenden Beispiel nicht ausreichend in der Düngeplanung berücksichtigt.

N_{min}-WERTE AUF MAISFLÄCHEN OHNE UND MIT LANGJÄHRIGER WIRTSCHAFTSDÜNGERZUFUHR



Quelle: NLWKN (2010)

© FNR 2018

Abb. 4: N_{min}-Werte auf Maisflächen ohne und mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr. Beispiel aus einem niedersächsischen Wasserschutzgebiet, Mittel der Jahre 2007–2008 (Spätes N_{min} = Probenahme im Mai/Juni)

Für die Praxis heißt das: Organische Dünger erhöhen über die Jahre das N-Nachlieferungspotenzial von Böden. Die Kalkulierbarkeit der N-Freisetzung wird gegenüber reinem Mineraldüngereinsatz anspruchsvoller. Gärreste wirken hier grundsätzlich ähnlich wie Gülle.

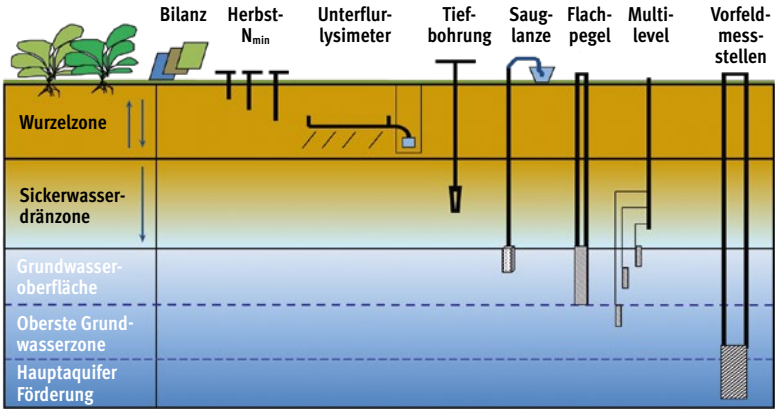
Wussten Sie schon: in Deutschland wird der P-Bedarf zu 74 % und der N-Bedarf zu 52 % aus organischen Düngemitteln, insbesondere Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und Gärresten gedeckt! (BMEL 2020, Datenbasis 2015)

Für differenzierte Aussagen zur Humusreproduktionsleistung, Entwicklung des C/N-Verhältnisses und N-Nachlieferung eines Standortes bei Gärrestdüngung sind weitere Kenntnisse erforderlich, u. a. über die Inhaltsstoffe der Gärreste sowie deren technische Aufbereitung z. B. durch Separation.

Geeignete Instrumente zur Bewertung des Grundwasserschutzerfolgs

Zur Bewertung von landwirtschaftlichen Grundwasserschutzleistungen hinsichtlich Nitrat und Phosphat können unterschiedliche Instrumente herangezogen werden.

Bilanzierung: In der Praxis kommt der Berechnung von N- und P-Nährstoffsalden große Bedeutung zu, da die Bilanzierung auch von der novellierten Düngeverordnung (DüV, 2017) verlangt wird und die Zielsalden weiter verschärft wurden. Aus Wasserschutzsicht zu unterscheiden sind die verschiedenen Bilanzformen. Einzelschlagbilanzen eignen sich zur Beschreibung des N-Saldos einer Flächeneinheit und daher auch zur Bilanzierung verschiedener Versuchsvarianten. Zur Beschreibung der Nährstoffströme auf Betriebsebene wurde der bislang geforderte Nährstoffvergleich mit der DüV 2020



Quelle: C. v. Buttlar/IGLU

Abb. 5: Übersicht Methoden zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen

gestrichen und durch eine Pflicht zur Dokumentation des gesamtbetrieblichen Düngebedarfs ersetzt.

Größere Bedeutung erlangt dagegen künftig die Stoffstrombilanzierung, die seit 1.1.2018 nach Stoffstrombilanzverordnung für Betriebe mit hohem Wirtschaftsdüngeranfall verpflichtend ist. Diese Bilanzierung der gesamtbetrieblichen Nährstoffströme, auch Hoftorbilanz genannt, basiert auf relativ sicheren Datenquellen und wird seit langem in der Gewässerschutzberatung eingesetzt.

N_{min} zu Vegetationsbeginn: Im Hinblick auf den Düngebedarf ist nach Düngeverordnung die Messung des mineralischen Stickstoffgehaltes im Boden (N_{min}-Analyse) erforderlich. Die Proben werden in den Bodenabschnitten 0–30 cm, 30–60 cm und 60–90 cm gezogen und ermöglichen genaue Aussagen über den Versorgungszustand des Standortes zum Zeitpunkt der Probenahme.

Eine Beurteilung der potenziellen Nitrataustragsgefahr über Winter kann sowohl rechnerisch auf Basis von Nährstoffbilanzen oder aber durch die Entnahme von N_{min}-Bodenproben im Herbst (Herbst-N_{min}-Wert) erfolgen.

Weitere Methoden zur Bewertung der Sickerwasserdränzone und des oberflächennahen Grundwassers wie z. B. die Entnahme von Nitrat-Tiefenprofilen sowie die oberflächennahe Grundwasserbeprobung mit Lysimetern, Sauglanzen, Saugkerzen oder Gütemessstellen stehen zur Verfügung und eignen sich für schlag- oder raumbezogene Auswertungen. Sie werden z. B. im Rahmen der Wasserschutzberatung angeboten.

3.2 Viehhaltung und Biogas – bevorzugte Nutzung auf leichten Standorten

Ein Großteil des Bestands an Biogasanlagen befindet sich in typischen Viehhaltungsregionen. Viehhaltungsbetrieben bietet sich durch die Biogasnutzung die Möglichkeit, ihre Gülle auch energetisch zu veredeln. Zudem liegen Erfahrungen mit dem Maisanbau vor. Viehhaltungsregionen liegen typischerweise in Regionen mit geringeren Bodenwertzahlen und dementsprechend geringer Schutzwirkung vor Nährstoffeinträgen. Dies hat zur Folge, dass die Flächennutzung in den gefährdeten Grundwasserkörpern nach EG-WRRL vielfach durch Viehhaltung mit Futterbau und Biogaserzeugung mit Energie-

pflanzenanbau geprägt ist. Vor allem in den Bundesländern Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Bayern und Nordrhein-Westfalen führt die Nutzung dazu, dass regional der Anfall an Wirtschaftsdüngern die Obergrenze von 170 kg N_{org}/ha (gem. EG-Nitratrichtlinie) überschreitet. Güllebörsen, ein Export der Wirtschaftsdünger und Gärrückstände in marktfruchtgeprägte Regionen, aber auch die Aufbereitung von Gärrückständen zu marktfähigen Düngern, kommen für eine bessere regionale Nährstoffverteilung in Frage. Der Anstieg der Anbaukonzentration von Mais zu Futterbau- und energetischen Zwecken, in einigen Landkreisen auf über 70 % der Nutzfläche, ging in den letzten Jahren mit einer Abnahme der gesellschaftlichen Akzeptanz für Biogasanlagen einher. Deutlich wird aber auch, dass es große regionale Unterschiede bei der Biogasanlagendichte (mittlere installierte elektrische Leistung je ha) in Deutschland gibt. In weiten Teilen des Landes hat ein eher moderater Ausbau der Biogastechnologie stattgefunden, der mit den Zielen des Grundwasserschutzes vereinbar ist und für die Betriebe Vorteile wie z. B. den Aufbau eines weiteren wirtschaftlichen Standbeins und die effiziente energetische Nutzung von betrieblichen, organischen Reststoffen ermöglicht.

Die Erkenntnis daraus ist, dass im Hinblick auf den Grundwasserschutz regional spezifische Lösungen und Maßnahmen erforderlich sind. Dies betrifft nicht den Biogasbereich allein, sondern umfasst die gesamte Landnutzung und insbesondere den Umgang mit organischen Düngern (Buttlar u. Willms, 2016).

3.3 Gärrestmanagement und Energiepflanzenanbau – Worauf kommt es aus Sicht des Wasserschutzes an?

Grundsätzlich können **drei Handlungsebenen** unterschieden werden (Abb. 6). Die kleinste, aber wichtigste Einheit ist die **Schlagebene**. Hier findet der Anbau statt, hier muss durch angepasste Fruchtartenwahl, Düngung und Bodenbearbeitung nicht nur der Ertrag gesichert, sondern es müssen auch Umweltanforderungen wie Gewässer-, Klima-, Boden- und Artenschutz gewährleistet werden. Im Hinblick auf die Vermeidung von N-Überhängen bedeutet das z. B. die Auflockerung von engen Maisfruchtfolgen und die Etablierung von Zwischenfrüchten und Untersaaten zur Sicherung einer ganzjährigen Bodenbedeckung für maximalen Nährstoffentzug vor Winter. Der Düngebedarf muss auf Basis realer Ertragserwartungen berechnet werden, Inhaltsstoffe der Gärreste sollten bekannt sein und ihre Anrechnung angemessen erfolgen. Weiterhin sind emissionsarme Ausbringtechniken wie Schleppschlauch-, Schleppschuh- oder Injektionssysteme einzusetzen. Vegetationsbegleitende Boden- und Pflanzenuntersuchungen helfen dabei, den Pflanzenbedarf richtig einzuschätzen. Eine gelungene Flächenbewirtschaftung kann durch niedrige N-Bilanzsalden und Herbst-N_{min}-Werte dokumentiert werden.

Eine grundwasserschonende Flächennutzung setzt voraus, dass auch die **betrieblichen Rahmenbedingungen** stimmen. Nur, wenn ausreichend Lagerraum vorhanden ist,

um Wirtschaftsdünger zu pflanzenphysiologisch sinnvollen Zeiten, also vor allem im Frühjahr bis Frühsommer, auszubringen, entfaltet sich die volle Düngewirkung der Nährstoffe. Wird über den Bedarf hinaus oder zu Zeiten geringen pflanzlichen Nährstoffentzugs gedüngt, so entstehen N-Überschüsse und das Auswaschungsrisiko steigt. Aus Wasserschutzsicht sollte daher regelmäßig geprüft werden, ob durch eine Effizienzsteigerung beim Wirtschafsdüngereinsatz der Mineraldüngerzukauf gesenkt werden kann. Reicht die erforderliche Ausbringungsfläche für den vorhandenen Wirtschaftsdüngeranfall nicht aus, so muss der Export der Gärrückstände an externe Abnehmer, z. B. an Marktfruchtbetriebe, geplant werden.

In Nährstoffüberschussregionen werden darüber hinaus weitere **regionale oder überregionale Maßnahmen** erforderlich, die schon aus der intensiven Tierhaltung bekannt sind. Hierzu gehören u. a. der Aufbau von Verbringungsgesellschaften (Gülleborse), die Steigerung der Exportwürdigkeit durch Entwässerung der Gärrückstände (Separation), deren Aufbereitung zu Düngern definierter Qualität und die Vermeidung weiterer zusätzlicher Nährstoffüberschüsse.

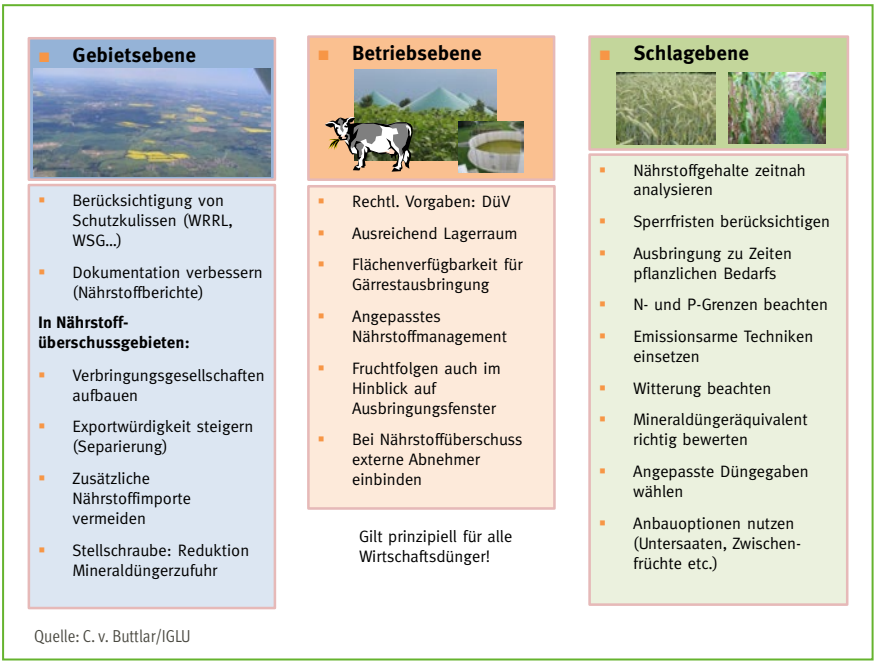


Abb. 6: Handlungsebenen zur Optimierung von Gärsubstrateinsatz und Energiepflanzenanbau

4 GEWÄSSERSCHUTZ IM ENERGIEPFLANZEN-ANBAU – AUFGEZEIGT AN VERSUCHS-ERGEBNISSEN

Die folgenden Kapitel stellen überwiegend Ergebnisse aus Forschungsprojekten vor, die das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über den Projektträger Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) gefördert hat. Der Forschungsverbund „EVA" (Standortangepasste Anbausysteme für die Produktion von Energiepflanzen, Laufzeit 2005–2016) ist mehrfach vertreten. Die Abschlussberichte können unter den genannten Förderkennzeichen (FKZ) auf der Homepage der FNR unter www.fnr.de/projektfoerderung recherchiert werden.

4.1 Zwischenfruchtanbau – tragende Säule des Gewässerschutzes

Christine von Buttlar, Birgit Kräling (IGLU Göttingen)

Einleitung: Zwischenfrüchte erfüllen vielfältige Funktionen, die vor allem im Grundwasserschutz von Bedeutung sind. Die Konservierung von Nährstoffen, u. a. die Bindung von Stickstoff, verringert die Gefahr der Nitratauswaschung, die Bedeckung des Bodens mindert Verschlämmung und Erosion, die Bodenstruktur und Humusbilanz werden verbessert sowie die biologische Aktivität erhöht. Zwischenfrüchte stellen daher eine geeignete Folgenutzung nach Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS) oder vor Sommerungen dar. Durch die agrarpolitischen Rahmenbedingungen (Greening) werden derzeit vor allem Zwischenfruchtmischungen gefördert.

Das konkrete N-Bindungspotenzial verschiedener Zwischenfrüchte und deren Mischungen sowie die Nährstofffreisetzung aus denselben im Folgejahr sind noch nicht vollends erforscht. Hier sind standortbezogene Erkenntnisse wünschenswert.

Methodik: Im EVA-Verbundvorhaben wurden Praxisversuche zum grundwasserschonenden Anbau von Energiepflanzen durchgeführt. Vorgestellt werden Praxisergebnisse eines Versuchsbetriebes in Niedersachsen zum Zwischenfruchtanbau nach Roggen-GPS (800 mm Jahresniederschlag, 7,6 °C Jahresmitteltemperatur, 18–42 Bodenpunkte, 700 KW_{el}. NawaRo-Biogasanlage).

Nach der Ernte von Roggen als GPS für die Biogasanlage erfolgte im August 2014 die Aussaat mehrerer Zwischenfruchtarten bzw. -mischungen. Zur Saat der Zwischenfrüchte erfolgte betriebsüblich eine Gärrestgabe von 20 m³/ha bzw. 66 kg N/ha gesamt.

Ergebnisse: Die Ergebnisse zeigen, dass Zwischenfrüchte große Nährstoffmengen speichern und so vor Verlagerung schützen

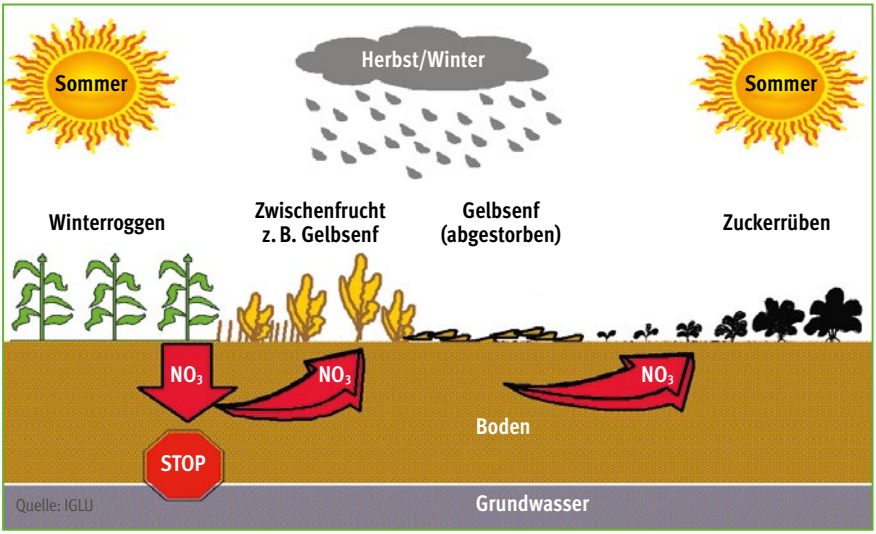
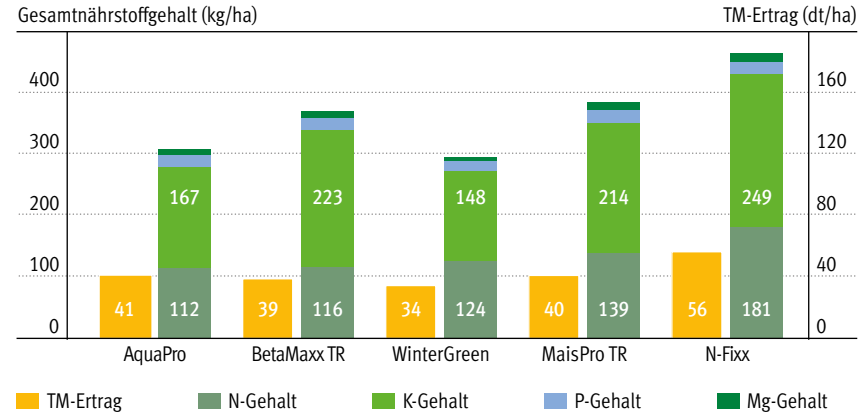


Abb. 7: Reduzierung der Nitratauswaschung durch Winterzwischenfrüchte

NÄHRSTOFFGEHALTE IM AUFWUCHS VERSCHIEDENER ZWISCHENFRÜCHTE



Quelle: IGLU

© FNR 2018

Abb. 8: TM-Ertrag, Nährstoffgehalte im Aufwuchs verschiedener Zwischenfrüchte auf einem Niedersächsischen Praxisbetrieb, Herbst 2014

Links: Winterharte Mischung mit Grünroggen, Weidelgras, Wicke und Inkarnatklee, rechts: Senf

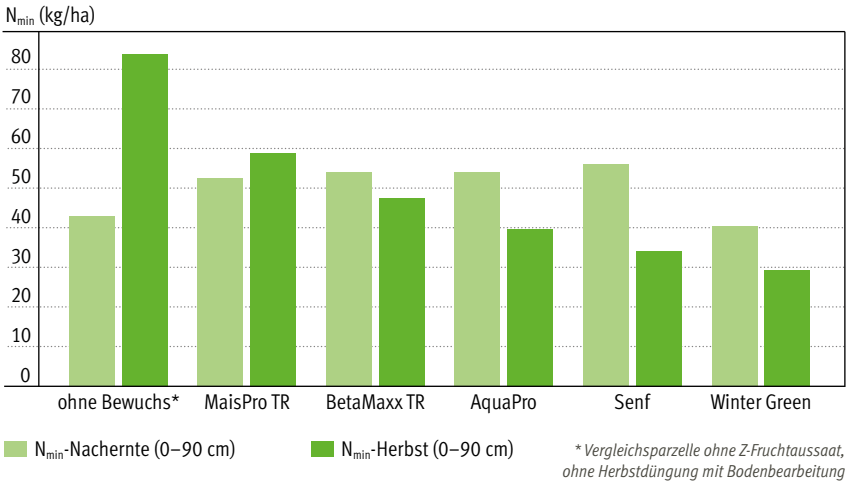
Leguminosenfreie Zwischenfruchtmischung mit Rauhafer, Sonnenblume, Ramtillkraut, Öllein, Phacelia u. a.

können (Abb. 8). Die Stickstoffbindung durch den Aufwuchs der Zwischenfrüchte lag im Herbst 2014 zwischen 112 und 181 kg N/ha (Vorjahr: 97–163 kg N/ha). Auch Kalium und Phosphat wurden in hohen Mengen in der Pflanzenmasse gebunden.

Hinsichtlich der N_{min}-Werte nach der Ernte und im Herbst zeigt sich ein hohes Grundwasserschutzpotenzial der Zwischenfrüchte (Abb. 9). Die getesteten Mischungen konnten den Herbst-N_{min} gegenüber der „Referenzparzelle“ um bis zu 55 kg N/ha auf Herbst-N_{min}-Werte zwischen 30–50 kg N/ha senken. Die N-Bindungsleistung der unterschiedlichen Mischungen variierte dabei um bis zu 30 kg N/ha.

Anbauhinweis: Der Zwischenfruchtanbau sollte frühzeitig in die Fruchtfolge eingeplant werden. Dabei ist zu berücksichtigen,

NACHERNTE- UND HERBST-N_{min}-WERTE



Quelle: IGLU

© FNR 2018

Abb. 9: Nachernte- und Herbst-N_{min}-Werte nach Zwischenfrüchten nach Mais auf einem niedersächsischen Praxisbetrieb, Herbst 2014

dass nicht jede Zwischenfruchtmischung auf jeden Standort bzw. in jede Fruchtfolge passt. So sollte aus phytosanitären Aspekten ein Anbau von Kreuzblütlern als Zwischenfrucht in Rapsfruchtfolgen vermieden werden. Leguminosenhaltige Zwischenfruchtmischungen sind für auswaschungsgefährdete Grundwasserkörper nur bedingt zu empfehlen. Und nach dem 15.09. gesäte Zwischenfrüchte zeigen meist nur noch ungenügenden Aufwuchs und damit ungenügenden N-Entzug. Werden Zwischenfrüchte als Greeningmaßnahme geltend gemacht, müssen sie bis zum 01.10. gesät sein, dürfen nicht mineralisch gedüngt werden und keinen Pflanzenschutz bekommen. Nach novellierter DüV 2020 müssen in nitratsensiblen Gebieten künftig vor jeder Sommerung Zwischenfrüchte angebaut werden. Eine Düngung zu Zwischenfrüchten ist nur noch bei Futternutzung oder in Form von Festmist zulässig. Außerhalb der § 13-Gebiete ist eine Düngung zu Zwischenfrüchten generell nur noch dann erlaubt, wenn diese bis zum 01.10. gesät wurden. Nur dann dürfen, N-Bedarf der Kultur vorausgesetzt, max. 30 kg NH_4/ha oder 60 kg Gesamt-N/ha in Form organisch-mineralischer Dünger mit wesentlichem N-Gehalt (› 1,5 % an der Trockensubstanz) ausgebracht werden. Die Sperrzeiten vom 01.10. bis 31.01. sind einzuhalten. Daher ist ein Zwischenfruchtanbau nach Mais nur bei frühem Erntetermin möglich. Alternativ bieten sich Gräseruntersaaten an.

Fazit: In Zwischenfrüchten können hohe Mengen an Stickstoff gebunden und über Winter vor Verlagerung geschützt werden. Sie stehen im Frühjahr der Folgekultur wieder zur Verfügung und sollten dann auch bei der Düngeplanung angerechnet werden. Auch weitere Nährstoffe wie Kalium, Phosphor und Magnesium werden in bedeutenden Mengen gespeichert. Außerdem wirken sie positiv auf die Humusbilanz, reduzieren Bodenabtrag und tragen als zusätzliche Nahrungsquelle zur Steigerung der Biodiversität bei. Jahresbedingte Witterungseinflüsse können die Aufwuchsleistung von Zwischenfrüchten allerdings stark beeinflussen. Standörtliche Grenzen sind bei knapper Wasserverfügbarkeit zu erwarten. Nach Mais kommen Zwischenfrüchte meist nur nach einer frühen Ernte in Frage.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22006112

4.2 Untersaaten im Mais – wenn das Wasser reicht, eine gute Wahl

Christine von Buttlar, Birgit Kräling (IGLU Göttingen)

Einleitung: Soll eine Zwischenfrucht nach Mais angebaut werden, kommen aufgrund des späten Erntetermins (häufig bis in die zweite Oktoberhälfte hinein) vorzugsweise Kulturen in Frage, die schon als Untersaat in der Hauptfrucht etabliert werden können. Hier eignen sich Gräser, wobei je nach Nutzungszweck einjährige Gräser (reine Bodenmelioration und Erosionsschutz) oder mehrjährige Gräser in Frage kommen. Die-

se können teils noch im Ansaatjahr sowie im Folgejahr geschnitten und wahlweise als Biogassubstrat oder als Raufutter genutzt werden. Entscheidend für eine gelungene Untersaat ist die Wahl des Ausbringungszeitpunktes.

Methodik: Auf einem niedersächsischen Praxisbetrieb ist der Anbau von Gräseruntersaaten aufgrund des hohen Maisanteils in der Fruchtfolge von Interesse. Damit kann die Humusbilanz ins Gleichgewicht gebracht werden. Außerdem liegt der Betrieb in einem EG-WRRL-Beratungsgebiet und ist daher an maximalem Gewässerschutz im Maisanbau interessiert.

Für die Aussaat der Untersaaten hat der Versuchsbetrieb eine Hackmaschine mit einer Aussaatvorrichtung für Weidelgrasuntersaaten umgerüstet. Die Weidelgrasaussaat erfolgte Mitte Juni zum 6-Blattstadium des Maises.

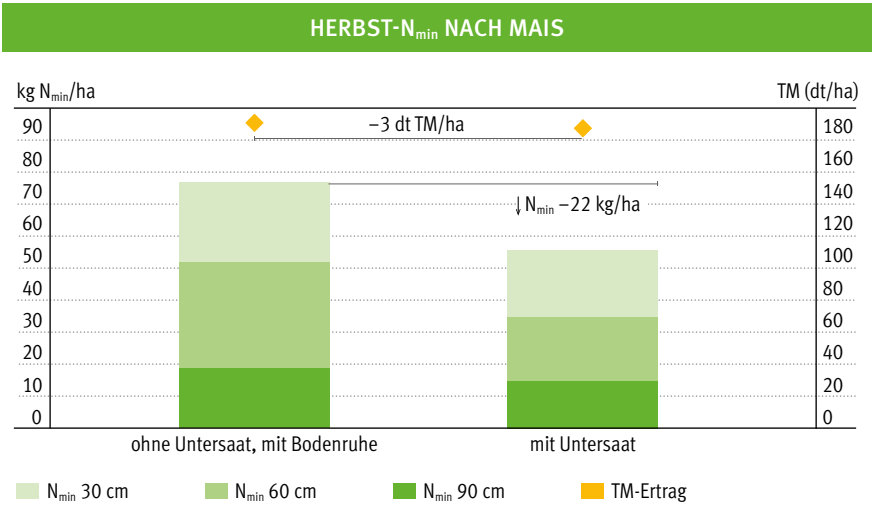
Ergebnisse: Durch den Anbau von Rotschwingel bzw. Weidelgrasmischungen als Untersaaten im Mais konnte der Herbst-N_{min}-Wert im Mittel der Jahre 2011–2015 um rund 22 kg N/ha gesenkt werden (siehe Abb. 10). In Einzeljahren lag dabei die Minderungsleistung bei ~46 kg N/ha und in anderen nur bei 7 kg N/ha. Die Schwankungsbreite der Herbst-N_{min}-Werte zwischen den Jahren konnte durch die Untersaat halbiert werden. Im vorgestellten Betrieb erfolgte in der Variante ohne Untersaat nach der Maisernte keine Bodenbearbeitung vor Winter. Eine Bodenbearbeitung würde hier die Herbst-N_{min}-Werte noch weiter ansteigen lassen.

Gräseruntersaat im Mais. Die Beschattung bremst das Gräserwachstum bis zur Ernte

Untersaat nach der Maisernte: Massenbildung noch vor Winter bindet N in ober- und unterirdischer Pflanzenmasse und bietet Erosionsschutz

Das Ertragsniveau des Maises mit und ohne Untersaaten war jeweils nahezu gleich hoch. Der in der Pflanzenmasse gebundene Stickstoff bleibt über Winter vor Auswaschung geschützt und kann in der Düngeplanung der Folgefrucht angerechnet werden. Weiterer Vorteil einer Gräseruntersaat ist die bessere Befahrbarkeit zur Ente und damit die Verminderung von Strukturschäden am Boden. Auch die bei Mais negative Humusbilanz wird durch die Untersaaten, die mit +200 kg C/ha bewertet werden, deutlich verbessert.

Anbauhinweis: Voraussetzung für gelungene Untersaaten ist eine ausreichende Wasserversorgung. Die Ausbringung der Untersaat sollte in der Zeitspanne von Maisaussaat bis etwa 30–50 cm Wuchshöhe erfolgen. Bei Untersaaten im 3–6-Blattstadium



Quelle: IGLU

© FNR 2018

Abb. 10: Herbst-N_{min} nach Mais ohne und mit Gräseruntersaat. Mittel der Jahre 2011–2015

bietet sich eine flache Drillsaat zwischen den Maisreihen an (2–3 Drillreihen mit 25 cm Abstand zu den Maisreihen). Alternativ kann die Grasaussaat auch mit dem Schleppschlauchverteiler oder als Breitsaat erfolgen. Die Praxis zeigte, dass ein Einarbeiten der Untersaaten dem breitwürfigen Verteilen, z. B. mit dem Schleuderstreuer, vorzuziehen ist, da bessere Feldaufgänge erzielt werden. Die Grasnarbe sollte über Winter stehen bleiben und eine Nachnutzung des Grasaufwuchses im Folgejahr vorgesehen werden.

Fazit: Untersaaten im Mais reduzieren das N-Auswaschungsrisiko im Mittel um 22 kg N/ha und in Einzeljahren um bis zu 50 kg N/ha. Die Herbst-N_{min}-Werte insgesamt werden kontrollierbarer, hohe Werte nehmen deutlich ab.

Positiver Nebeneffekt des Anbaus von Untersaaten als Zwischenfrucht sind eine verbesserte Befahrbarkeit zur Ernte sowie die Reduzierung von Bodenverdichtungserscheinungen. Außerdem wirken sie, wie andere Zwischenfrüchte auch, humusmehrend. Beim Übergang in die Folgenutzung sollten die Gräser mechanisch bekämpft und möglichst auf Herbizide verzichtet werden.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22006112

4.3 Düngung mit Gärresten zu Mais, Sorghum und Triticale – grundwasserschonend umgesetzt

Maendy Fritz, Jonas Haag (TFZ Straubing)

Einleitung: In der Anwendung sind Gärreste, wie andere Wirtschaftsdünger auch, nicht mit industriell hergestelltem Mineraldünger vergleichbar. Durch unterschiedliche Einflussfaktoren wie Ausgangsmaterial, Substratqualität, Verweildauer in Fermenter/Lagerbehälter sowie verwendeter Aufbereitungstechnik besitzt jeder Gärrest eine spezifische Inhaltsstoffzusammensetzung. Weiterhin haben Gärreste einen geringen Trockenmassegehalt und einen hohen Anteil an flüchtigen Stickstoffverbindungen.

In Versuchen zur Gärrestdüngung von Mais, Sorghum und Triticale im Rahmen des EVA-Verbundvorhabens wurden die Nährstoffgehalte von 160 Gärresten vor der Ausbringung im Labor erfasst und analysiert (Abb. 11). Während die Nährstoffgehalte im Mittel vergleichbar mit Rindergülle sind, ist die tatsächliche Schwankungsbreite der Gehalte sehr groß (LfL 2018). Insbesondere der stark schwankende Stickstoffgehalt (N) erschwert in der Praxis die Düngeplanung. Deshalb sollte vor der Ausbringung unbedingt eine Analyse der Nährstoffgehalte erfolgen.

Die vorgestellten Ergebnisse stammen aus den Satellitenversuchen Gärreste und Düngung des EVA-Verbundvorhabens. In diesen Versuchen wurde an bundesweit sechs

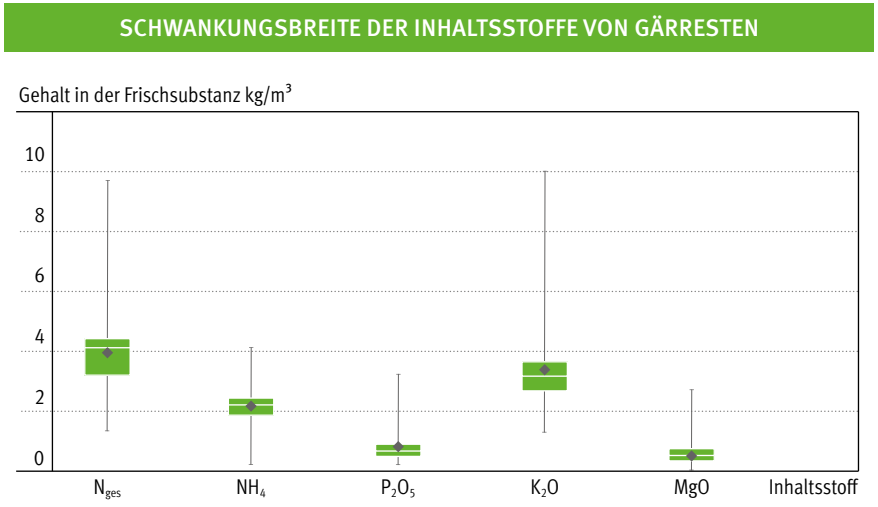


Abb. 11: Schwankungsbreite der Inhaltsstoffgehalte im EVA-Projekt ausgebrachter Gärreste (n = 160)

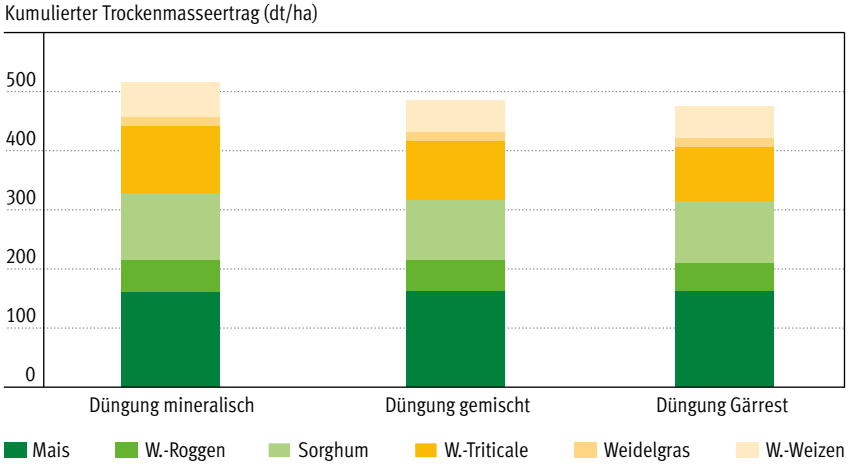
Standorten die Düngung mit Gärresten im Vergleich zu mineralischer Düngung und kombinierten Düngevarianten im Hinblick auf die Ertragsleistung sowie die N-Dynamik im Boden untersucht. N_{min}-Untersuchungen nach der Ernte geben Aufschluss darüber, ob bei Gärrestdüngung niedrige Rest-N_{min} Werte vor Winter möglich sind und worauf zu achten ist.

Im Fruchtfolgeversuch wurden die Effekte unterschiedlicher Düngung auf eine vierjährige Fruchtfolge aus Mais, Winterroggen, Sorghum, Wintertriticale, Einjährigem Weidelgras und Winterweizen zur Kornnutzung als Abschluss untersucht. In weiteren Versuchen wurden die Kulturen Mais bzw. Sorghum mit Winterroggen als nachfolgende Winterzwischenfrucht sowie Wintertriticale mit Weidelgras bzw. Raps als Folgefrucht bei unterschiedlicher Düngung sowie verschiedenen Düngezeitpunkten betrachtet.

Methodik: Die Versuche wurden nach Sollwertprinzip gedüngt. Dafür wurde anhand des erwarteten Ertrags der angebauten Kultur der Nährstoffentzug berechnet. Hieraus ergab sich dann nach Abzug des im Boden vorhandenen N_{min}-Gehalts und etwaiger weiterer Zu- und Abschläge die zu düngende Nährstoffmenge. Für die Gärrückstände wurde ein Mineraldüngeräquivalent von 70 % angenommen, sodass 1 kg Gärrest-N 0,7 kg Mineraldünger-N entsprach. Im Fruchtfolgeversuch wurden jeweils die Düngevarianten 100 % N mineralisch, 100 % Gärrückstand und je 50 % mineralisch + 50 % Gärrückstand miteinander verglichen. Unter dieser Vorgabe wurden in einer vierjährigen Fruchtfolge aus Energiepflanzen mit reiner Gärrestdüngung etwas geringere Erträge als mit Mineraldünger erzielt, während die Kombination beider Dünger dazwischen lag (Abb. 12).

Gärrestausbringung mit Schleppschlauchtechnik – bodennah und emissionsreduziert. Nach neuer DüV wird die Einarbeitung organischer Dünger auf unbestellten Äckern ab 2025 innerhalb einer Stunde zur Pflicht.

TROCKENMASSEERTRAG DER FRUCHTFOLGE BEI UNTERSCHIEDLICHER DÜNGUNG



Quelle: TFZ

© FNR 2018

Abb. 12: Trockenmasseertrag der Fruchtfolge bei unterschiedlicher Düngung im Fruchtfolgeversuch (Sollwert abzüglich N_{min}, Gärreste mit 70 % MDÄ)

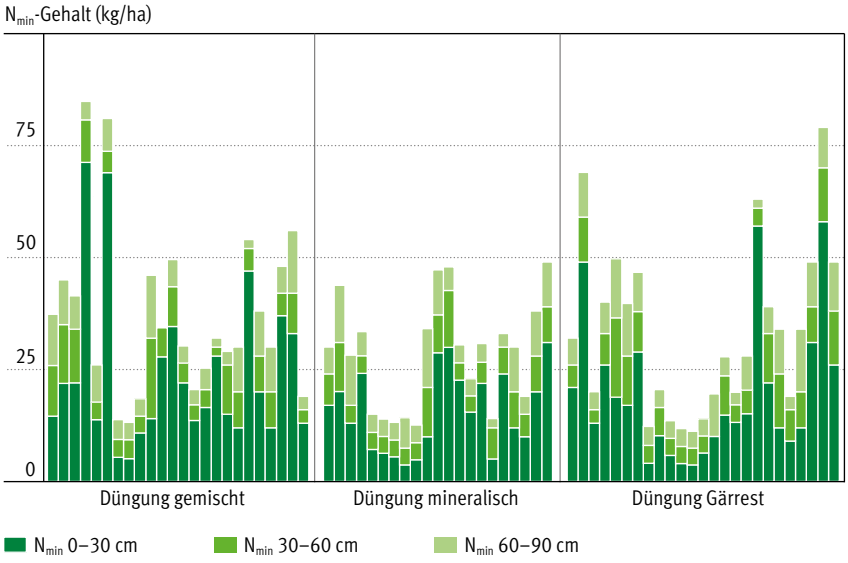
Ergebnisse:
Mais und Sorghum: In der Fruchtfolge lieferten Mais und Sorghum nach Gärrestdüngung vergleichbar hohe Erträge wie nach mineralischer Düngung. Aufgrund der langsameren Jugendentwicklung haben Mais und Sorghum einen verzögerten Stickstoffbedarf, deshalb kann der später verfügbare Stickstoff aus Gärresten effektiv von den Pflanzen in Biomasse umgesetzt werden. Die Ausbringung der Gärreste sollte vor der Saat erfolgen, um die zur Mineralisierung der Stickstoffverbindungen notwendige Zeit zu gewährleisten. Im Teilversuch waren die Erträge bei der Düngung zur Saat etwas höher als bei der späteren Düngung derselben Stickstoffmenge in den Bestand. Außerdem lassen sich bei Ausbringung im Frühjahr vor der Saat Ausgasungen von flüchtigen Stickstoffverbindungen leichter vermeiden. Dafür sind die Ausbringung bei bewölktem Himmel mit milden Umgebungstemperaturen und die sofortige, vollständige Einarbeitung der Gärreste wichtig.

Wintertriticale und Winterroggen: Die in der Fruchtfolge festgestellten Ertragsunterschiede ergaben sich hauptsächlich aufgrund des angebauten Getreides. Während die anderen Kulturen die Gärrestdüngung gut umsetzten, waren Wintertriticale und Winterroggen bei mineralischer Düngung etwas ertragsrei-

cher. Bei reiner Gärrestdüngung konnten die erforderlichen Nährstoffe nicht zum optimalen Zeitpunkt beziehungsweise in der ausreichenden Menge geliefert werden. Eine Kombination der unterschiedlich schnell pflanzenverfügbaren Dünger kann diese Lücke schließen. Dementsprechend erreichte die Kombination aus mineralischer und Gärrestdüngung bei Getreiden etwas höhere Erträge und annähernd das Ertragsniveau mineralischer Düngung.

Nach der Saat von Wintergetreide im Herbst wäre theoretisch eine Düngegabe mit Gärrest möglich. Im folgenden Frühjahr, wenn das Pflanzenwachstum richtig anschiebt, wären die Stickstoffverbindungen dann eventuell pflanzenverfügbar. Im Teilversuch mit Wintertriticale waren nach Gärrestdüngung im Herbst jedoch erhöhte N_{min}-Gehalte im Boden nachweisbar. Im Herbst im Boden verbliebenes Nitrat wird nach Vegetationsende nicht mehr umgesetzt und unterliegt dem Auswaschungsrisiko. Die Düngeverordnung schränkt die Stickstoffdüngung im Herbst

N_{min}-GEHALT NACH ERNTE BEI UNTERSCHIEDLICHER DÜNGUNG



Quelle: TFZ

© FNR 2018

Abb. 13: N_{min}-Gehalt nach Ernte bei unterschiedlicher Düngung im Fruchtfolgeversuch

weiter ein. So dürfen auf Ackerland nach der Ernte der letzten Hauptfrucht bis Ablauf des 31.01. keine Düngemittel mit wesentlichem Gehalt an Stickstoff mehr ausgebracht werden. Ausnahmen gibt es für bis zum 15.09. gesäte Zwischenfrüchte, Winterraps und Feldfutter und bis 01.10. gesäte Wintergerste nach Getreidevorfrucht. Diese Kulturen dürfen noch bis 01.10. gedüngt werden, allerdings maximal mit 30 kg Ammoniumstickstoff oder 60 kg Gesamt-N/ha (DüV vom 01.06.2017). Weitere Einschränkungen für die neuen Nitratkulissen wurden mit der DüV-Novelle 2020 beschlossen (siehe S. 16).

Nitrataustrag: Die mögliche Auswaschung von Salzen, insbesondere Nitrat, nach der Ernte ist ein grundlegendes Problem, da diese Nährstoffe den Folgekulturen nicht mehr zur Verfügung stehen und in Gewässern negative Umweltwirkungen haben. Besonders mit einer angepassten Düngeplanung auf der Grundlage des realistisch geschätzten Ertragsniveaus am Standort und dem Anbau von Zwischenfrüchten kann dieses Auswaschungsrisiko minimiert werden. Im EVA-Projekt lag der nach der Ernte im Boden verbliebene Stickstoff bis auf wenige Ausnahmen unter 50 kg/ha (Abb. 13). In diesen Ausnahmefällen lag der Ertrag wegen sehr ungünstiger Witterung jeweils deutlich unter dem standortüblichen Niveau und die gedüngten Nährstoffe wurden nicht in Biomasse umgesetzt. Eine übermäßige Verlagerung des mineralischen Stickstoffs in tiefere Schichten, die auf Auswaschung hindeuten würde, wurde in keiner Düngevariante festgestellt.

Fazit: Vergleichende Düngeversuche mit mineralischer N-Gabe, Gärrestgabe und kombinierter N-Gabe haben gezeigt, dass über eine komplette Fruchtfolge mit der Kombigabe ein gleichwertiges Ertragsniveau wie mit Mineraldüngergaben erzielt werden kann. Bei rein organischer Düngung spielt der Zeitpunkt der N-Freisetzung eine größere Rolle, sodass die Erträge kulturabhängig etwas geringer ausfallen können. Die Nachernte- und Herbst-N_{min}-Werte der Fruchtfolge zeigten bei den nach Sollwertmethode gedüngten Versuchen im Untersuchungszeitraum keine Unterschiede zwischen mineralischer und organischer Düngung. Herbst-N_{min}-Werte bis zu 50 kg N/ha sind aus Wasserschutzsicht erstrebenswert. Einzelne überhöhte Werte wurden dann festgestellt, wenn negative Witterungseinflüsse deutliche Ertragseinbußen bedingt hatten. Die Frage der langjährigen Entwicklung der N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat bei Gärrestdüngung wurde mit diesem Versuch noch nicht geklärt.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22006012

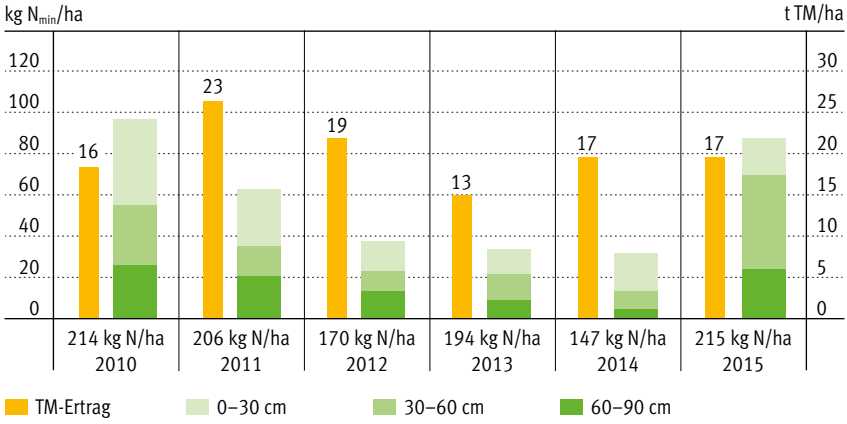
4.4 Anpassung der Gärrestgabe zu Silomais an den N-Bedarf – ein Praxisbeispiel

Christine von Buttlar, Birgit Kräling (IGLU Göttingen)

Einleitung: Im Rahmen eines Arbeitspaketes im EVA-Verbund wurden gewässerschonende Anbauverfahren für Energiepflanzen unter Einsatz von Gärsubstratdüngung anhand von Feldversuchen auf Praxisbetrieben getestet. Ein Ziel war es, die N-Düngung zum Silomais grundwasserschutzorientiert anzupassen und wenn möglich gleichzeitig die Ertragsleistung beizubehalten. Gerade auf Standorten, die sich durch eine langjährige organische Düngung auszeichnen und daher i. d. R. während der Vegetationszeit eine hohe N-Nachlieferung aus dem Boden aufweisen, besteht hier in der Praxis häufig noch ein Handlungsspielraum.

Methodik: Es werden Ergebnisse eines niedersächsischen Praxisbetriebes mit Biogasanlage vorgestellt. (Eckdaten: 800 mm Jahresniederschlag, 7,6 °C Jahresmitteltemperatur, 18–42 Bodenpunkte, 700 KW_{el}. NawaRo-Biogasanlage). Als Stickstoffdünger kamen jeweils 25–30 m³/ha an Gärresten zum Einsatz. Dieser wurde ergänzt durch eine mineralische Unterfußdüngung.

ANPASSUNG DER N-DÜNGUNG ZU SILOMAIS UND ENTWICKLUNG DER HERBST-N_{min}-WERTE



Quelle: IGLU

© FNR 2018

Abb. 14: Anpassung der N-Düngung zu Silomais und Entwicklung der Herbst-N_{min}-Werte. Beispiel eines niedersächsischen Praxisbetriebes, 2010–2015 (N aus Gärrestdüngung mit 70 % MDÄ inkl. N_{min})

Wenn weiterer N-Bedarf durch eine späte N_{min}-Beprobung nachgewiesen wurde, erfolgte im Einzelfall eine mineralische Nachdüngung. Die N-Düngung wurde in einer Variante praxisüblich ausgerichtet und in den weiteren Varianten bis auf 150 kg N/ha abgestuft (inkl. N_{min} bei 70 % Mineraldüngeräquivalent).

Ergebnisse: Zu Beginn der Untersuchungen im Jahr 2010 zeigten die betriebsüblichen Düngegaben (~200 kg N/ha) einen **Trockenmasseertrag** von 16 t TM/ha und einen Herbst-N_{min}-Wert von über 90 kg N/ha. Hier war deutliches Einsparpotenzial gegeben. Diesen N-Überhang hat der Betrieb durch Anpassung seiner praxisüblichen N-Düngegabe in den Folgejahren deutlich reduzieren können. In den Jahren 2012–2014 wurden mit Düngegaben zwischen 170 und 150 kg N/ha (inkl. N_{min}) jeweils niedrige Herbst-N_{min}-Werte von unter 40 kg N/ha erzielt. Die Ziele eines grundwasserschutzorientierten Maisanbaus konnten damit voll erreicht werden. Eine erneute hohe N-Gabe im Jahr 2015 brachte dann wie im Jahr 2010 auch wieder hohe N-Überschüsse im Herbst mit sich. Die Ergebnisse machen deutlich, dass das Ertragsniveau zwar Jahresschwankungen unterworfen war, aber die hohen N-Stufen nicht ertragswirksam wurden. An dem Standort konnte mit 150 kg N/ha die volle Ertragsleistung erzielt werden (Abb. 14).

Fazit: Bei mineralisationsstarken Standorten kommt der Berücksichtigung der bodenbürtigen N-Nachlieferung bei der Düngeplanung eine große Bedeutung zu. Gerade Mais verfügt über ein gutes N-Aneignungspotenzial und kann Stickstoff aus dem Bodenvorrat gut nutzen. Die sukzessive Anpassung des praxisüblichen N-Düngeniveaus des Versuchsbetriebes von über 200 kg N/ha bis auf 150 kg N/ha macht deutlich, dass auch bei einer gärrestbetonten Düngung niedrige Herbst-N_{min}-Werte um die 40 kg N/ha möglich sind. Das Ertragsniveau schwankte zwar zwischen den Jahren, konnte aber auch bei der reduzierten N-Düngung gehalten werden. Durch vegetationsbegleitende Untersuchungen des Versorgungszustandes der Bestände (spätes N_{min}) kann ein „Sicherheitszuschlag" bei der Düngung vermieden und zusätzliche Sicherheit geschaffen werden.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22006112

4.5 Mehrschnittiges Ackergras in Fruchtfolgen mit Energiepflanzen – eine gute Alternative

Tobias Glauert (LWK Niedersachsen)

Einleitung: Der Anbau von Ackergräsern, Ackergrasmischungen und Leguminosengrasgemengen kann durch eine mehrschnittige und überjährige Nutzung eine große Menge Biomasse zur Biogasproduktion liefern. Durch den stärker werdenden Druck auf den Maisanbau kann die Einbindung von Ackergräsern in Energiepflanzen-

fruchtfolgen auch zu einem Imagegewinn bei der Biogaserzeugung beitragen. Im EVA-Arbeitspaket „Etablierung von mehrschnittigem Ackerfutter in Fruchtfolgen mit Energiepflanzen“ wurden an verschiedenen Standorten standortangepasste Ansaatmischungen im Hinblick auf Anbaueigenschaften und Ertragsleistung getestet und ökonomisch sowie ökologisch bewertet. Zum Einsatz kamen Rotkleegrasmischungen, Luzernegrasgemenge, Luzernereinsaaten und Grasmischungen. Im Rahmen der vorhergegangenen Projektphasen stellte sich heraus, dass in Ostdeutschland und Bayern Rotkleegrasgemenge und auf trockenen Standorten vornehmlich Luzerne bzw. Luzernegrasgemenge sichere Leistungen erzielen. Rotkleegrasmischungen liefern in diesen Bundesländern auf den für Luzerne ungünstigen Standorten gute Erträge. Auf den frischeren Standorten in Niedersachsen hingegen bieten reine Gräsermischungen mit hohen Weidelgrasanteilen Vorteile.

Der Gräseranbau erscheint unter dem Aspekt des Gewässerschutzes interessant, da er mehrjährig angelegt ist, schon als Untersaat gedrillt werden kann und hohe N-Entzüge erwarten lässt. Auch im Hinblick auf die Nährstoffbindung über Winter und die Erosionsvermeidung bietet der Anbau von Gräsern bekanntermaßen positive Eigenschaften.

Methodik: Zur besseren Vergleichbarkeit der Ackerfutteransaatvarianten wurden parallel sogenannte Referenzvarianten (Mais ohne Untersaat, Winterroggen-GPS) mitgeprüft. Diese wurden mit ihrer ortsüblichen Aussaatstärke ausgesät. Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf den Standort Niedersachsen. Zur optimalen Ausnutzung der Vegetationszeit stand die Etablierung ertragreicher Aufwüchse als Einsaaten (Untersaaten) in Mais und Getreide im Vordergrund. Vor allem diese Varianten tragen zur Bodenschonung, Erosionsminderung und Verbesserung der Gesamthumusbilanz und damit zu einer nachhaltigen Biogasproduktion bei.

Anbauhinweis: Etablierung als Untersaaten im Mais: Bei der Einsaat im Mais ist darauf zu achten, die Konkurrenzkraft des Maises nicht zu schwächen. Deshalb ist eine Einsaat in den Mais zum 5–6-Blattstadium mit einer um zwei Drittel reduzierten Aussaatstärke zur normalen Aussaatstärke empfehlenswert. Die Einsaat wird in der Praxis meistens mit einem Pneumatikstreuer ausgebracht. Des Weiteren existieren auch gute Erfahrungen, wenn die Einsaat mit der späten Gülleausbringung kombiniert wird. Dabei wird die Grassaat beim Befüllen über einen Injektor direkt ins Fass gezogen. Beim Pflanzenschutz ist unbedingt darauf zu achten, dass Herbizide eingesetzt werden, die artspezifisch über das Blatt wirken. Der Einsatz von Bodenherbiziden kann die jungen Keimlinge der Einsaat schädigen und sollte deshalb, wenn nötig, früh im 2–3-Blattstadium durchgeführt werden.

Etablierung von Untersaaten in Getreide: Bei der Spätsommeransaat und Frühjahrsansaat in Winterroggen-GPS müssen die Saatstärken des Getreides um ca. 30 % unterhalb der normal empfohlenen Ansaatstärke für Getreide reduziert werden, um eine Etablierung der Einsaaten zu gewährleisten.

Vorteil der Spätsommeransaat in Winterroggen ist, dass sich die Gräsereinsaat im Spätsommer etablieren kann. Allerdings sind die Möglichkeiten des Pflanzenschutzes im Ansaatjahr gegen Unkräuter sehr eingeschränkt. Die Frühjahrseinsaat der Ackerfuttermischungen bringt eine zusätzliche Überfahrt zu Vegetationsbeginn mit sich, andererseits können im Herbst auch noch Bodenherbizide in reduzierter Aufwandmenge ausgebracht werden, ohne dass eine Schädigung der Frühjahrseinsaaten zu befürchten ist. Bei der Sortenwahl des Getreides ist auf besonders standfeste Sorten zu achten. Früh ins Lager gehende Bestände verhindern die Entwicklung der Einsaaten.

Stickstoffdüngung – Worauf ist zu achten? Hinsichtlich der Stickstoffdüngung ist zwischen den Gräser- und Leguminosenmischungen zu differenzieren. Die Kleegrasmischungen sowie das Luzernegras und die Luzernereinsaat werden deutlich geringer gedüngt als die Weidelgräser. In einem etablierten Luzernereinsaatbestand ist keine N-Düngung mehr notwendig.

Ergebnisse: Im Folgenden sind die Ergebnisse des niedersächsischen Standortes Otterham im Landkreis Aurich dargestellt. Dieser steht stellvertretend für die Marschböden der maritim geprägten Klimaräume.

Ertragsleistungen: Generell zeigen sich auf derartig feuchtkühlen Standorten die Vorteile von Gräsermischungen, deren Etablierung besonders als Blanksaatvariante, aber auch als Einsaat in Mais und Getreide-GPS gelingt. Die Luzerne als Mischung mit Bastardweidelgras bzw. als Reinsaat konnte sich erwartungsgemäß nicht in allen Aussaatvarianten durchsetzen.

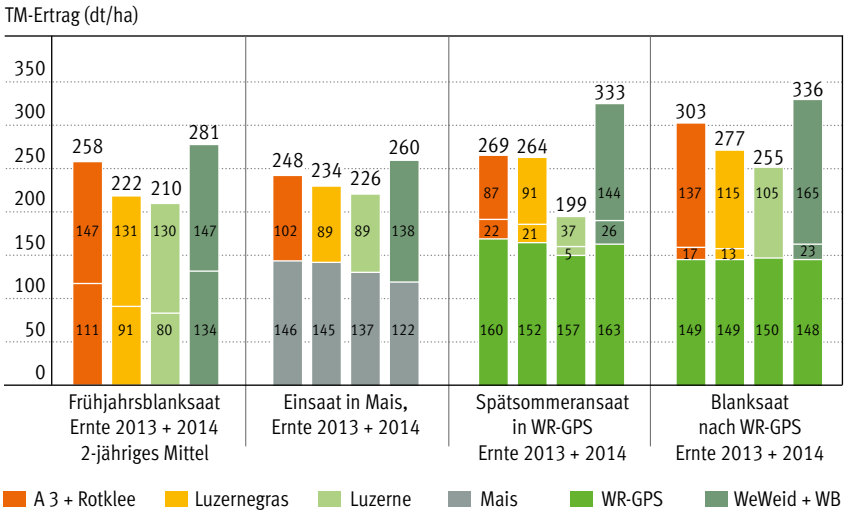
Gras-Untersaat im Mais

In der Frühjahrsblanksaat konnten im Anlagejahr (2013 und 2014) im Mittel mit dem Kleegrasgemenge (Welsches Weidelgras, Bastardweidelgras, Deutsches Weidelgras (A 3) + Rotklee) über 100 dt TM/ha erzielt werden, im zweiten Hauptnutzungsjahr sogar ca. 150 dt TM/ha. Am Besten etablierte sich die reine Gräsermischung aus Welschem Weidelgras (WeWeid) mit Bastardweidelgras (WB). Diese überzeugte in der Summe über 2 Jahre mit über 280 dt TM-Gesamtertrag. Das Luzernegras und die Luzernereinsaat blieben unter diesem Niveau.

Die Ergebnisse der Versuchsanlage von Mais mit der Einbringung einer Untersaat zeigen auf, dass die Etablierung möglich ist, aber ein erntewürdiger Aufwuchs erst im Folgejahr nach der Maisernte realisiert wird. Im Vergleich der Maiserträge mit Einsaaten zur Referenz ohne Einsaaten sind

leichte Einbußen beim Maisertrag zu erkennen. Zu begründen ist dies mit den sich üppig entwickelten Grasbeständen zwischen den Maisreihen. Ansonsten ist keine negative Beeinflussung des Maises durch die Einsaaten zu beobachten. Die Ganzpflanzenerträge der drei Ansaatvarianten im Roggen-GPS liegen auf einem ähnlichen Niveau (ca. 150 dt TM/ha). Die Einsaat der Ackerfuttermischungen scheint keinen Einfluss auf die GPS-Erträge zu haben. Im Jahr der GPS-Ernte ist das Ertragspotenzial der Einsaaten sowohl als Spätsommeransaat in Winterroggen-GPS, Frühjahrseinsaat und auch als Blanksaat nach GPS als sehr verhalten einzustufen. Im Folgejahr lassen sich mit einer 4-Schnittnutzung besonders bei der reinen Gräsermischung hohe Erträge erreichen. Bei der Spätsommeransaat in Winterroggen-GPS liegen diese bei 144 dt TM/ha, bei der Blanksaatvariante bei über 165 dt TM/ha. Generell ist die Etablierung der Einsaaten im Spätsommer parallel zur Getreideaussaat als vielversprechender

BIOMASSEERTRÄGE VON ACKERGRASVARIANTEN (FRÜHJAHRSBLANKSAAT) IM VERGLEICH ZU VERSCHIEDENEN GRÄSEREINSAATEN



WR = Winterroggen, WeWeid = Welsches Weidelgras, WB = Bastardweidelgras

Quelle: LWK Niedersachsen

© FNR 2018

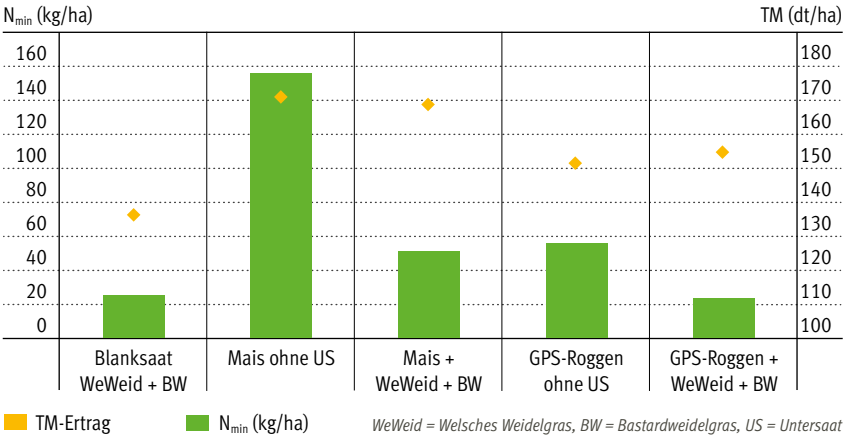
Abb. 15: Biomasseerträge von Ackergrasvarianten (Frühjahrsblanksaat) im Vergleich zu verschiedenen Gräsereinsaaten in Mais und Winterroggen-GPS. Versuchsstandort Otterham, Niedersachsen, Mittel der Erntejahre 2013 und 2014 (A3 = Ackergrasmischung aus den 3 Grasarten Bastard-, Welschem- und Deutschem Weidelgras + Rotklee zusammen; WR-GPS = Winterroggen-Ganzpflanzensilage; WeWeid= Welsches Weidelgras; WB=Bastardweidelgras)

einzustufen. Insbesondere dann, wenn sich das Getreide im Herbst bereits sehr gut etabliert hat. Die Einsaaten von Ackerfuttermischungen in die Winterroggenbestände im Frühjahr zum Vegetationsbeginn konnten nicht überzeugen. Ursache waren die aufgrund milder Winter schon im zeitigen Frühjahr sehr dichten Getreidebestände.

Die gängige Praxis sind Herbstaussaaten, vergleichbar mit den Blanksaaten nach Winterroggen-GPS oder Winterroggen zur Körnerzeugung, um von den deutlichen Mehrerträgen im ersten Hauptnutzungsjahr zu profitieren. Weitere Untersuchungen zum Aufwuchs von Blanksaaten im Folgejahr der Körnerernte zeigten ähnliche Ergebnisse. Auch hier waren Kleegras- und reine Gräsermischungen den anderen Varianten überlegen.

Stickstoffdynamik im Boden: Zur Beurteilung des Anbaus der beschriebenen Ackerfuttermischungen in verschiedenen Anbauverfahren aus Wasserschutzperspektive können besonders die Herbst-N_{min}-Werte als Anhaltspunkte dienen. In der folgenden Abbildung 16 sind die Herbst-N_{min}-Ergebnisse in unterschiedlichen Ansaatvarianten ohne bzw. mit Ackergrasuntersaaten (Welsches Weidelgras/Bastardweidelgras) aus dem Jahr 2014 dargestellt. Der alleinige Maisanbau ohne Untersaat zeigte mit über 150 kg N/ha die höchsten N_{min}-Werte im Herbst. Durch die Ackergrasuntersaat im Mais konnte der Herbst-N_{min}-Wert auf 50 kg N/ha gesenkt werden. Die Gräserblanksaat sowie GPS-Roggen mit Gräseruntersaat erreichten mit rund 20 kg N/ha die niedrigsten Herbst-N_{min}-Werte.

HERBST-N_{min} NACH UNTERSCHIEDLICHEN AUSSAATVARIANTEN



Quelle: LWK Niedersachsen

© FNR 2018

Abb. 16: Herbst-N_{min} nach unterschiedlichen Aussaatvarianten, 2014

Die Ergebnisse zeigen, dass Untersaaten sehr gut den Stickstoff in der Pflanzenmasse binden und deutlich geringere Rest-N_{min}-Gehalte im Boden hinterlassen. Des Weiteren sind die Untersaaten in der Lage, auch später im Herbst noch weiter Stickstoff aus dem Boden aufzunehmen.

Fazit: Insgesamt zeigen die Versuche, dass eine Etablierung von mehrschnittigen Gräsern in Fruchtfolgen mit den gängigen Energiepflanzen (Mais und GPS-Getreide) sinnvoll ist. Besonders vor dem Hintergrund des knapper werdenden Flächenangebots und der Möglichkeit, die Gesamthumusbilanz von humuszehrenden Energiefruchtfolgen zu verbessern, bieten sich derartige Anbausysteme an. Bei Bewirtschaftung in nach EG-WRRL gefährdeten Grundwasserkörpern bieten die Gräsereinsaaten (Untersaaten) in Mais und Getreide eine optimale Möglichkeit, die Herbst-N_{min}-Werte zu senken. Auch der mehrjährige Ackergrasanbau stellt sich bei angepasster N-Düngung aus Sicht des Gewässerschutzes positiv dar. Des Weiteren können Betriebe mit Rinderhaltung und Biogasanlage die Aufwüchse in beiden Nutzungszweigen einsetzen. Mit der Etablierung der überjährig genutzten Ackerfutterbestände lässt sich die Gülleverwertung flexibler gestalten, dennoch sind die in der Düngeverordnung vorgeschriebenen N-Düngemengen im Sommer/Herbst zu Zwischenfrüchten bzw. Untersaaten einzuhalten. Bei Folgekulturen nach Getreide in Form von Zwischenfruchtmischungen ohne Leguminosen oder Grasuntersaaten liegt der Düngebedarf bei 40–60 kg N/ha, bei Mischungen mit Leguminosen bei 20 kg N/ha. Auch vor dem Hintergrund der Greeningauflagen ergeben sich Möglichkeiten, diese mittels der beschriebenen Ansaatvarianten zu erfüllen. Aus Wasserschutzaspekten ist der Anbau von Untersaaten im Mais und im Getreide zu empfehlen und z. T. in der Praxis auch nicht mehr wegzudenken.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22006012

4.6 Humuserhalt in Energiepflanzenfruchtfolgen – Basis für nachhaltige Ackernutzung

Matthias Willms (ZALF Müncheberg)

Einleitung: Die organische Substanz des Bodens ist wesentlicher Träger der Bodenfruchtbarkeit. Sie ist das Resultat eines Fließgleichgewichtes von Humusaufbau durch die Zufuhr organischer Stoffe und dem Humusabbau durch Mineralisation. Der Humusgehalt beeinflusst die Nährstoffspeicherung und Umsetzung im Boden, erhöht die Wasserhaltefähigkeit und trägt zu einer günstigen Bodenstruktur bei. Ein ausgeglichener Humusgehalt trägt wesentlich zur Stabilisierung der Ertragsleistung bei und das Risiko der Nährstoffauswaschung wird reduziert.

In Anbausystemen mit Energiepflanzen wird in der Regel die gesamte oberirdische Biomasse geerntet. Es stellt sich daher die Fra-

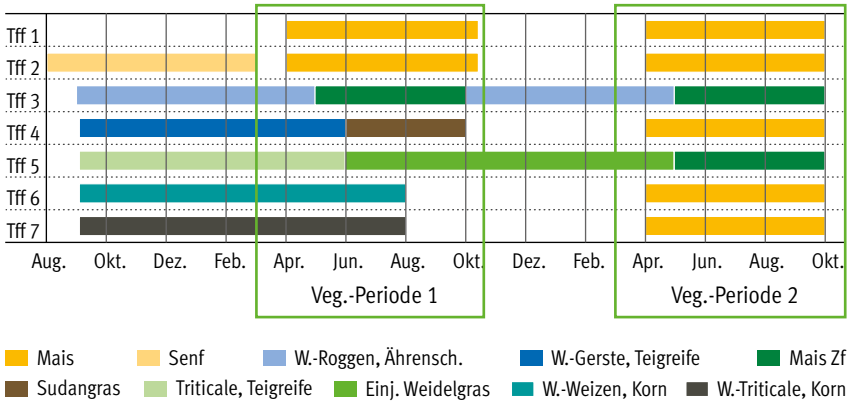
ge, ob und wie genügend organische Substanz auf die Anbauflächen zurückgebracht und eine ausgeglichene Humusbilanz gesichert werden kann.

Methoden: Da die landwirtschaftliche Anbauplanung entsprechend der aktuellen Verwertungsmöglichkeiten häufig kurzfristig geschieht, werden hier zweijährige Teilfruchtfolgen (Tff) im Hinblick auf Lösungsansätze zur Sicherung der Humusbilanz bei gleichzeitiger Erzeugung hoher Methan-Hektarerträge untersucht. Die Versorgung des Bodens mit organischer Substanz erfolgte über Gärreste, Einarbeiten von Stroh und Gründüngung sowie den Anbau von Gräsern. Es werden exemplarisch Ergebnisse von Standorten in Thüringen und Niedersachsen mit gemittelten Versuchsergebnissen der Jahre 2014–2015 dargestellt. Geprüft wurden sieben in der Praxis übliche Anbaufolgen. Diese Teilfruchtfolgen (Abb. 17) erstrecken sich über zwei Winter und zwei Vegetationsperioden. Sie unterscheiden sich in ihrer Verwertungsmöglichkeit (nur Energiepflanzen oder gemischt mit Marktfrüchten), im Fruchtfolgesystem (Hauptfrucht oder Zweikultursystem), im Grad der Bodendeckung über Winter und in der Zufuhr organischer Substanz (Anfall und Menge von Gründüngung oder Stroh).

- Versuchsstandorte sind:
  - Dornburg, Thüringen, 580 mm Jahresniederschlag, Parabraunerde (Lehm),
  - Werlte, Niedersachsen, 770 mm Jahresniederschlag, humoser Sand.

Die vergleichende Bewertung der Anbaumaßnahmen auf ihre Humuswirkung erfolgte mit der VDLUFA Humusbilanz (2014). Die

UNTERSUCHTE TEILFRUCHTFOLGEN, ANBAUZEITEN UND ZWISCHENBRACHEN



Quelle: M. Willms, ZALF

© FNR 2018

Abb. 17: Untersuchte Teilfruchtfolgen (Tff), Anbauzeiten und Zwischenbrachen mit Zf = Zweitfrucht

Einheit der Humusbilanz sind Humusäquivalente (Häq). Diese Einheit soll verdeutlichen, dass die Kennwerte der Humusbilanz dazu dienen, die optimale Versorgung des Bodens mit organischer Substanz zu quantifizieren. Sie sind jedoch nicht geeignet, die Änderung der Bodenhumusvorräte (C_{org}) zu berechnen. Verwendet werden die sogenannten „unteren Werte" der VDLUFA-Methode. Diese sind angezeigt, um den Status der Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und die Böden in einem guten Kulturzustand zu belassen. Die Humussalden wurden in Saldenklassen zusammengefasst. Anzustreben ist dabei Saldenklasse „C" (ausgeglichen), die eine ausreichende Versorgung des Bodens mit organischer Substanz mit hohen Erträgen gewährleistet.

Die Bemessung der Stickstoffdüngung erfolgte als Szenario „rechnerisch". Berücksichtigt wurden die landesspezifischen Vorgaben für N-Sollwert und die zugehörigen Zu- und Abschläge. Die organische Düngung mit Gärresten wurde auf 170 kg/ha begrenzt, der Rest wurde mineralisch ergänzt und ein Mineraldüngeräquivalent von 70 % berücksichtigt. Als Dünger wurden Gärreste mit folgenden Eigenschaften verwendet:

TAB. 1: INHALTSSTOFFE DER EINGESETZTEN GÄRRESTE

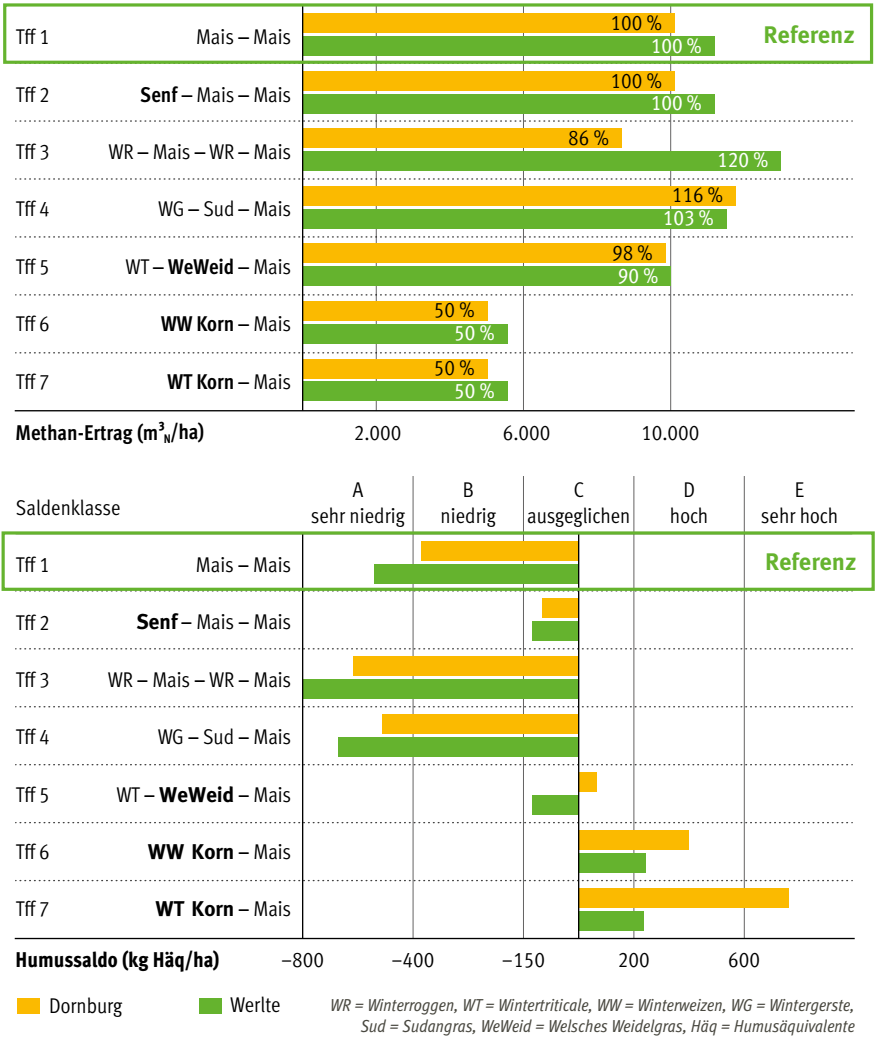
Standort	N_{Gesamt} (kg/m³)	Trockenmasse (%)	Humuswirkung (kg Häq je 10 kg N_{Gesamt} aus Gärrest)
Dornburg	3,2	5,0	22,0
Werlte	4,6	5,9	17,3

Ergebnisse: Abbildung 18 stellt für die untersuchten Fruchtfolgen an den Standorten Dornburg und Werlte die Methan-Hektarerträge (oben) sowie die Humusbilanz (unten) dar.

Methan-Hektarertrag: Die Zweikultursysteme Roggen-Mais-Roggen-Mais (Tff 3), Wintergerste-Sudangras-Mais (Tff 4) und Triticale-Welsches Weidelgras-Mais (Tff 5) zeigten an beiden Standorten überwiegend bessere Erträge als Mais in Selbstfolge. In Dornburg konnten Spitzenerträge in der Folge Wintergerste-Sudangras-Mais (Tff 4) erzielt werden (116 % von Mais in Selbstfolge). In Werlte zeigte dagegen die Folge Roggen-Mais-Roggen-Mais (Tff 3) als Zweikultursystem die höchsten Methan-Hektarerträge (120 % von Mais in Selbstfolge).

Humusversorgung des Bodens: In der Fruchtfolge Senf-Mais-Mais (Tff 2) konnte durch eine Gärrestdüngung und den einmaligen Anbau von Senf als Gründüngung der Humussaldo von zwei Jahren Maisanbau ausgeglichen werden. Die Höhe des Humussaldos war dabei abhängig von der Aufwuchsleistung des Senfs. In der Teilfruchtfolge Triticale-Welsches Weidelgras-Mais (Tff 5) verbesserte der Anbau von Welschem Weidelgras als Sommerzwischenfrucht trotz dessen Nutzung als Biogassubstrat den Humussaldo. Die ertragsstarken Fruchtfolgen Mais-Mais (Tff 1), Roggen-Mais-Roggen-Mais (Tff 3) und Wintergerste-Sudangras-Mais (Tff 4) zeigten negative Humussalden. Diese sind mit der weiteren Fruchtfolgegestaltung auszugleichen.

ERGEBNISSE DER STANDORTE DORNBURG UND WERLTE



Quelle: M. Wllms, ZALF

© FNR 2018

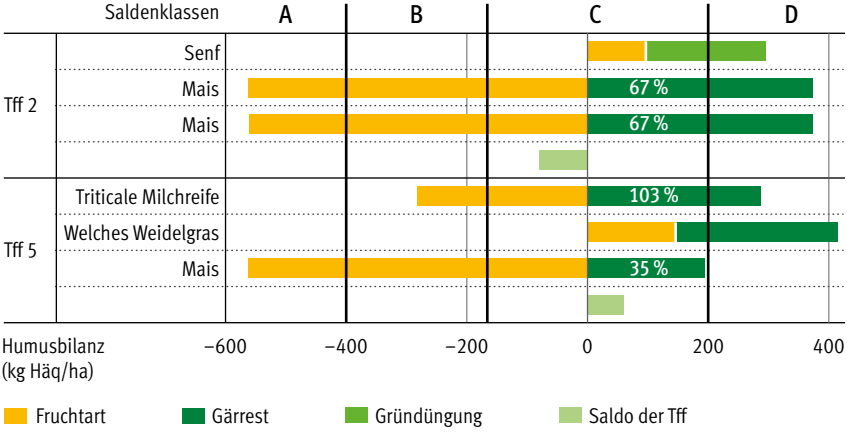
Abb. 18: Ergebnisse der Standorte Dornburg und Werlte. Oben: Methan-Hektarertrag in m³ N/ha und relativ zu Mais in Selbstfolge [%], unten: Humussaldo nach VDLUFA. Hervorgehoben sind Fruchtarten, die die Teilfruchtfolge (Tff) aus Sicht der Humusbilanz aufwerten.

Durch den Anbau von Getreide mit Körnernutzung gefolgt von Mais (Tff 6 und 7) mit dem Verbleib des Strohs auf der Anbaufläche war es möglich, hohe positive Bilanzsalden zu erzielen, mit denen die Defizite anderer Fruchtfolgeglieder ausgeglichen werden können. Die Höhe des Humussaldos war dabei abhängig vom Strohertrag.

C-Input und Output am Fruchtfolgebeispiel: Für den Bewirtschafter stellt sich die Frage, in welchen Größenordnungen durch organische Dünger wie Gärreste sowie Fruchtfolgegestaltung und Gründüngung die Humusbilanz gesteuert werden kann. Die einzelnen Bilanzglieder werden exemplarisch für die typische Fruchtfolge Senf-Mais-Mais sowie die humusbetonte und wasserschutzorientiere Fruchtfolge Triticale-Weidelgras-Mais für den Standort Dornburg dargestellt (Abb. 19).

In der Teilfruchtfolge Senf-Mais-Mais (Tff 2) muss der Humusabbau von zwei Jahren Maisanbau ausgeglichen werden. Beiträge zur Versorgung des Bodens mit frischer organischer Substanz zur Humusbildung leisten die Gärrestdüngung und Senf als Gründüngung. Dabei erreichte die Gärrestdüngung zu Mais mit 37,5 kg Häq/ha 67 % des Humusbedarfs. Die humusmehrende Wirkung der Gründüngung mit Senf betrug 53 % des Humusbedarfs von einem Jahr Maisanbau und konnte die Humusbilanz der Fruchtfolge

HUMUSWIRKUNG DER FRÜCHTE UND VERSORGUNG DES BODENS



Quelle: M. Willms, ZALF

© FNR 2018

Abb. 19: Humuswirkung der Früchte und Versorgung des Bodens mit frischer organischer Substanz zur Humusbildung durch Gärrestdüngung und Gründüngung am Standort Dornburg. Prozentangabe: Humuswirkung der Gärrestdüngung vom Bedarf der Fruchtart (Daten 2005–2015)

zwar in der Gehaltsklasse „C“ halten, aber nicht vollständig ausgleichen.

In der Teilfruchtfolge Triticale-Welsches Weidelgras-Mais (Tff 5) konnte der Humusbedarf von Triticale durch die Gärrestdüngung voll ausgeglichen werden. Der Anbau des Welschen Weidelgrases als Zwischenfrucht trug mit rund 300 kg Häq/ha positiv zur Humusbilanz bei. Für Mais ist die Wirkung der Gärrestdüngung in dieser Teilfruchtfolge geringer, da ein Teil der maximal 170 kg N aus Gärrest bereits zum Weidelgras im Frühjahr gedüngt wurde. In der Summe fiel die Humusbilanz leicht positiv aus.

Fazit: Ein negativer Humussaldo führt mittelfristig zu einem Abbau des Bodenhumusvorrates und damit zu einer Verschlechterung der Nährstoffnachlieferung und Wasserhaltefähigkeit des Bodens und wirkt letztlich ertragsmindernd. Ein hoher Bilanzsaldo (Klasse „E“) weist auf mögliche Auswaschungsrisiken für Nährstoffe hin, z. B. als Nitrat. Ausgeglichene Humussalden mit hohen Methan-Hektarerträgen sind daher sowohl für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit als auch aus Sicht des Wasserschutzes anzustreben und durch kleine Umstellungen der Fruchtfolgen und Anbaumaßnahmen relativ einfach zu erzielen:

- Gärrestdüngung, Gründüngung, Strohdüngung und Anbau von Gräsern sind geeignete Maßnahmen, um einen ausgeglichenen Humussaldo in Energiefruchtfolgen zu erzielen. Sie können ein bis zwei Jahre Maisanbau im Humussaldo ausgleichen.
- Der Anbau von Mais in Selbstfolge mit der Düngung von Gärresten führt dagegen zu Humusabbau und negativen Humussalden.
- Regionale Unterschiede im Humussaldo entstehen durch unterschiedliche Erträge von Stroh- und Gründüngung sowie unterschiedliche Zusammensetzungen der Gärreste bzw. Wirtschaftsdünger. Kenngröße ist hier die Humuswirkung (Häq) je 10 kg Gesamtstickstoff.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22006012

4.7 Wasserschutzfruchtfolgen mit Energiepflanzen – Potenziale und Wirtschaftlichkeit

Janine Müller, Peter Kornatz (Uni Gießen), Christine von Buttlar (IGLU Göttingen)

Einleitung: Unter dem Aspekt Gewässerschutz wurden im Zeitraum von 2013–2015 im Rahmen der EVA-Fruchtfolgeversuche Klima- und Gewässerschutzvarianten untersucht. Im Mittelpunkt stand, ergänzend zu pflanzenbaulichen und ökonomischen Aspekten, die Frage, ob sich mit der Gestaltung spezieller Fruchtfolgen mögliche Nährstoffverluste und Erosionsprobleme reduzieren lassen und so speziell Lösungen für den Gewässerschutz angeboten werden können. Die Untersuchungen erfolgten an verschiedenen Versuchsstandorten,

um unterschiedliche Boden- und Klimabedingungen zu berücksichtigen. Es werden exemplarisch Ergebnisse der **Standorte Ascha** in Bayern und **Haus Düsse** in Nordrhein-Westfalen wiedergegeben.

Methodik: Der **Standort Ascha in Bayern** (430 m über NN) steht stellvertretend für die Ackerfutter-Wintergersten-Regionen der Vor- und Mittelgebirge. Der Standort ist durch Braunerden und Pseudogleye geprägt, die sich bodenartbestimmend durch lehmigen Sand auszeichnen. (AZ 47, mittlerer Niederschlag 807 mm/a, Ø-Temp. 7,5 °C).

Der **Standort Haus Düsse in Nordrhein-Westfalen** charakterisiert Regionen mit guten Bodeneigenschaften, ausreichender Wasserversorgung und wüchsigen Temperaturen mit gutem Ertragspotenzial (toniger Schluff, AZ 65, mittlerer Niederschlag 800 mm/a, Ø-Temp. 9,8 °C).

Es werden jeweils die Versuchsergebnisse einer standortspezifisch gewählten Wasserschutzfruchtfolge und einer Klima- und Wasserschutzfruchtfolge mit reduzierter Stickstoff (N)-Düngung (–25 % N bezogen auf Stickstoffbedarfsanalyse nach Länderempfehlung) zwei Referenzfruchtfolgen gegenüber gestellt: Einmal der Sollwert-Variante der Klima- und Wasserschutzfruchtfolge ohne reduzierte N-Düngung und einmal Mais in Selbstfolge (3 Jahre Mais, bzw. Mais und Sorghum mit Sollwertdüngung). Die Klima- und Wasserschutzfruchtfolge „N –25 %“ und deren Sollwert-Variante unterscheiden sich nur in der Höhe der Düngermenge. Die Arbeitsgangabfolge und der Einsatz von Saatgut sowie Pflanzenschutzmitteln unterscheiden sich lediglich zwischen den Standorten, innerhalb der Standorte bei gleichen Kulturen jedoch nicht.

Als Wasserschutzparameter wurden die N_{min}-Gehalte der Böden vor Winter erfasst. Diese Herbst-N_{min}-Beprobung erfolgte jeweils zu Beginn der Vegetationsruhe. Weiter wurden N-Flächenbilanzsalden berechnet. Die N-Düngung wurde aus versuchstechnischen Gründen rein mineralisch gegeben. Beide Versuchsstandorte wurden auch in der Vergangenheit rein mineralisch gedüngt. Das normale Düngeniveau orientierte sich jeweils an den Düngeempfehlungen der Länder abzüglich des Frühjahrs-N_{min}-Wertes.

Die Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL) dient als ökonomischer Parameter, um die unterschiedlichen Fruchtfolgen zu bewerten und Standorte miteinander vergleichen zu können. Einbezogen in der DAKfL sind kostenseitig alle Arbeitsgang- und Lohnkosten sowie die tatsächlichen Faktorkosten für Saatgut, Dünger und Pflanzenschutzmittel. Leistungsseitig wurden aus den Biomasseerträgen die Methan-Hektarerträge berechnet, welche wiederum eingepreist den Methanerlös der Kulturart darstellen. Für die DAKfL wird die Summe der Kosten von den Leistungen der Kultur abgezogen.

Ergebnisse am Standort Ascha: In der Klima- und Wasserschutzfolge kamen in Jahr 1 Mais mit Winterzwischenfrucht Grünroggen, gefolgt von Sudangras im Jahr 2 und Triticale im Jahr 3 zum Anbau. In der reinen Was-

serschutzvariante kamen im Jahr 1 Mais mit einer Gräseruntersaat, die bis zum dritten Anbaujahr stehen geblieben ist und abschließend in Jahr 3 Sudangas zum Anbau. Und in der ertragsorientierten Referenzfruchtfolge kamen im Jahr 1 und Jahr 2 Mais und im Jahr 3 abschließend Sudangras zum Anbau. Tabelle 2 stellt die angebauten Kulturen für jede Versuchsvariante dar.

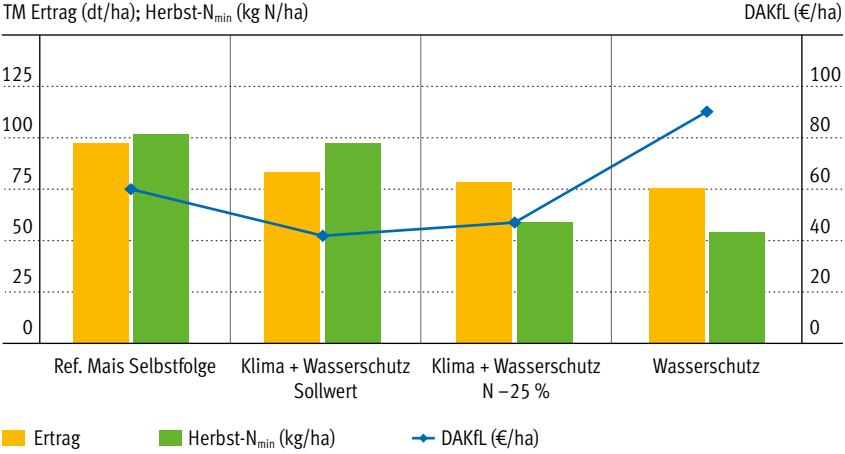
Es wird deutlich, dass bei den an Umweltzielen ausgerichteten Fruchtfolgen N –25 %

TAB. 2: FRUCHTFOLGEGLIEDER DER UNTERSUCHTEN FRUCHTFOLGEN

am Standort Ascha (2013–2015)

Fruchtfolgen	Referenz Mais/Sudangras in Selbstfolge	Klima + Wasserschutz		Wasserschutz
		Sollwert	–25 % N	
Jahr 1	Mais	Mais + Winterzwischenfrucht Roggen		Mais + Untersaat
Jahr 2	Mais	W-Roggen/Sudangras		Weidelgras
Jahr 3	Sudangras	Triticale		Weidelgras/Sudangras

ASCHA: FRUCHTFOLGEMITTEL VON ERTRAG, HERBST-N_{min} UND DAKFL



Quelle: IGLU nach TFZ, TLLLR, Uni Giessen, ZALF

© FNR 2018

Abb. 20: Standort Ascha: Übersicht der Fruchtfolgemittel von Biomasseertrag, Herbst-N_{min} und DAKfL für zwei Wasserschutz- und zwei Referenzfruchtfolgen, 2013–2015

und Wasserschutz mit etwas geringeren Biomasseerträgen zu rechnen ist. Die Herbst-N_{min}-Werte konnten jedoch deutlich reduziert und damit das Auswaschungsrisiko von Stickstoff deutlich gesenkt werden. Die mittleren N-Salden waren in allen Fruchtfolgen ausgeglichen. Ökonomisch betrachtet schnitt die Wasserschutzfruchtfolge am besten ab. Ein aus Gewässerschutzsicht weiterer Vorteil dieser gräserbetonten Fruchtfolge ist die durchgehende Bodenbedeckung, die sich durch die Etablierung des Weidelgrases ergibt. Gerade erosionsanfällige Standorte in Hanglagen und an Fließgewässern können hiervon profitieren. Differenzierte Fruchtfolgen und auch die Einbindung von Gräsern in die Fruchtfolge weisen somit am Standort Ascha nicht nur aus Wasserschutzsicht, sondern auch ökonomisch interessante Potenziale auf.

Ergebnisse am Standort Haus Düsse: In der Klima- und Wasserschutzfolge kam im Jahr 1 Mais gefolgt von Winterzwischenfrucht Grünroggen zum Anbau. Im Jahr zwei folgte als Zweitfrucht Futterhirse und im Herbst die Ansaat von Triticale. Im Jahr drei wurde sowohl die Triticale als Hauptfrucht als auch das als Stoppelansaat gesäte Weidelgras als Zweitfrucht geerntet. In der reinen Wasserschutzvariante kam im Jahr 1 ein Roggen-Triticale-Gemenge mit Weidelgrasuntersaat zum Anbau. Im Jahr zwei kam das Weidelgras zur Ernte, gefolgt von Mais in Zweitfruchtstellung. Nach der Ernte folgte dann ein Weidelgras als Winterzwischenfrucht mit nachfolgendem Zweitfruchtmais in Jahr 3. Als ertragsstarke Referenz wurde Mais in Selbstfolge angebaut. Tabelle 3 stellt die angebauten Kulturen für jede Versuchsvariante dar.

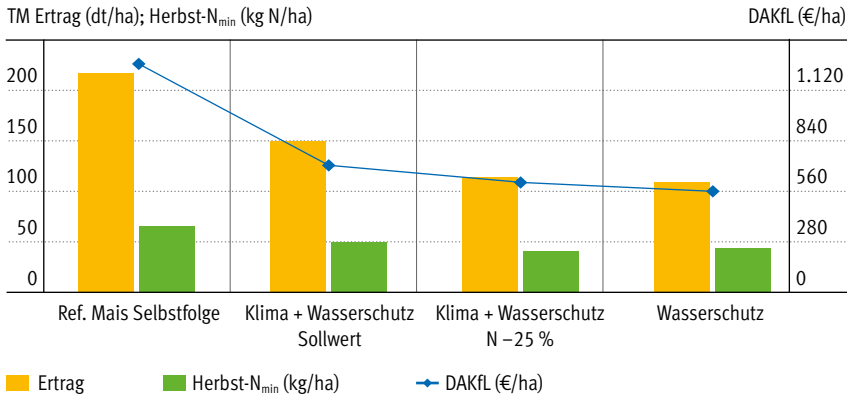
Mit der N-reduzierten Fruchtfolge konnten die vergleichsweise niedrigsten Herbst-N_{min}-Werte erzielt werden, gefolgt von der Wasserschutzfruchtfolge. Es wurde am Standort Haus Düsse aber auch das hohe Ertragspotenzial für Mais auf guten Standorten deutlich. Die Integration von Getreide und Gräsern in die Wasserschutzfruchtfolgen brachte eine deutliche Reduktion der Ertragsleistung und damit nur halb so hohe DAKfL wie die Maisfolge. Durch die Wasserschutzfruchtfolgen konnten an die-

TAB. 3: FRUCHTFOLGEGLIEDER DER UNTERSUCHTEN FRUCHTFOLGEN

am Standort Haus Düsse (2013–2015)

Fruchtfolgen	Referenz Mais/Sudangras in Selbstfolge	Klima + Wasserschutz		Wasserschutz
		Sollwert	–25 % N	
Jahr 1	Mais	Mais + Winterzwischenfrucht Roggen		Roggen/Triticale + Untersaat
Jahr 2	Mais	W-Roggen/Futterhirse		Weidelgras + Mais
Jahr 3	Mais	Triticale/Weidelgras		Weidelgras + Mais

HAUS DÜSSE: FRUCHTFOLGEMITTEL VON ERTRAG, HERBST-N_{min} UND DAKFL



Quelle: IGLU nach LWK Nordrhein-Westfalen, Uni Giessen, ZALF

© FNR 2018

Abb. 21: Standort Haus Düsse: Übersicht der Fruchtfolgemittel von Biomasseertrag, Herbst-N_{min} und DAKfL für zwei Wasserschutz- und zwei Referenzfruchtfolgen, 2013–2015

sem Standort somit zwar rund 20 kg N/ha niedrigere Herbst-N_{min}-Werte sowie ausgeglichene Humusbilanzen und geringere Erosionsanfälligkeiten erreicht werden, die aber mit deutlichen wirtschaftlichen Einbußen einhergingen. Nicht berücksichtigt wurden die in der Praxis bestehenden Programme zum Abschluss von Agrarumweltmaßnahmen, die den Anbau von Untersaaten oder Zwischenfrüchten finanziell fördern. Und auch die Erfüllung der Greeningvorgaben ist u. a. durch den Zwischenfruchtanbau möglich. Diese weiteren Überlegungen sollten in Anbauentscheidungen mit einbezogen werden.

Fazit: Durch den Anbau gewässerschonender Fruchtfolgen mit Energiepflanzen können Herbst-N_{min}-Werte gesenkt und niedrige N-Salden erreicht werden. Wichtige Fruchtfolgeelemente sind Gräser, die auch als Untersaaten und Zwischenfrüchte zur ganzjährigen Bodenbedeckung beitragen. Auch die Integration von Getreidewinterungen in maisdominierten Fruchtfolgen wirkt positiv. Entscheidend ist es, Fruchtfolgen regional angepasst zu gestalten. Der Erfolg ist auf schwächeren Standorten deutlicher ausgeprägt. Liegen wie am **Standort Ascha** die Maiserträge eher zwischen 100 und 150 dt TM/ha*Jahr, können alternative Kulturen wie Sudangras, Ganzpflanzenroggen oder Weidelgräser vergleichbare

Erträge liefern. Auch die N-Reduktion zeigt an diesem Standort positive Grundwasserschutzeffekte. Die Wasserschutzfruchtfolge mit der ganzjährigen Bodenbedeckung durch Gräser in Kombination mit Mais als Zweitfrucht bietet zudem die größte Wirtschaftlichkeit.

Für den Standort **Haus Düsse** mit deutlich höherem Ertragsniveau zeigt die um 25 % N-reduzierte Fruchtfolge sowohl aus Gewässerschutzsicht als auch ökonomisch eine Vorzüglichkeit gegenüber der Wasserschutzvariante. Diese bietet jedoch aufgrund des hohen Gräseranteils guten Erosionsschutz und wirkt positiv auf die Humusbilanz. Mit der Abnahme des Maisanteils in der Fruchtfolge zugunsten von Getreide und Gräsern geht an diesem Standort eine abnehmende ökonomische Vorzüglichkeit einher, so dass wasserschutzorientierte Fruchtfolgen weniger ökonomisch sein können. Die Erfüllung von Greeningvorgaben oder auch der Einbezug von Fördermaßnahmen sollten bei den Anbauentscheidungen mit berücksichtigt werden.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22013208, 22006012, 22006112, 22006212

4.8 Minderung von Erosion und N-Auswaschung mit Durchwachsener Silphie – Ergebnisse aus dem Projekt „Silphie-Dauerkulturen: Ein Beitrag zum Wasser- und Bodenschutz“

Siegfried Schittenhelm, Dennis Grunwald (JKI Braunschweig)

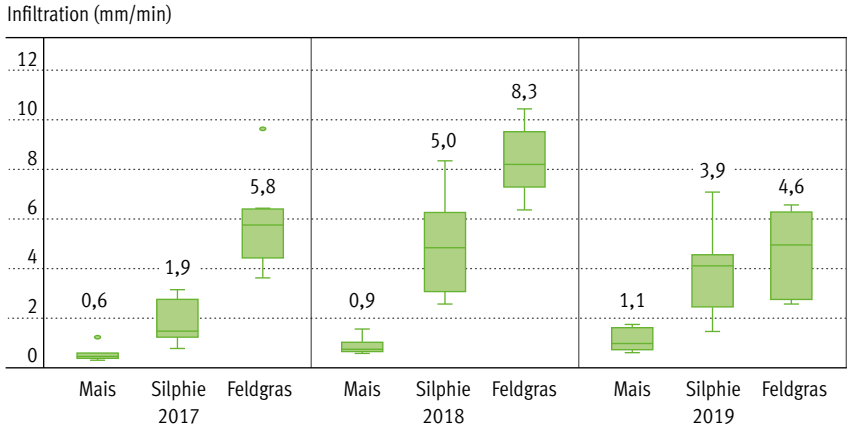
Einleitung: Im Vergleich zu der derzeit dominierenden Biogaspflanze Mais sind die Dauerkulturen Durchwachsene Silphie (nachfolgend kurz: Silphie) und Feldgras durch fehlende Bodenbearbeitung, Wiederaustrieb nach der Ernte und eine längere Vegetationsdauer gekennzeichnet. Die Silphie ist zudem charakterisiert durch eine tiefe und intensive Durchwurzelung des Bodens und ein seltenes Befahren des Ackers. Diese biologischen und anbautechnischen Besonderheiten lassen erwarten, dass insbesondere die Silphie in hohem Maße mit den rechtlichen Vorgaben bzw. Handlungsvorschriften im Bereich Wasser- und Bodenschutz kompatibel ist. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden in den Jahren 2017–2019 im Projekt „Silphie-Dauerkulturen: Ein Beitrag zum Wasser- und Bodenschutz“ in einem Feldversuch in Braunschweig eine Mais-Selbstfolge, eine Silphie-Dauerkultur sowie mehrjähriges Feldgras hinsichtlich Wasserinfiltration, N_{min}-Gehalt, Sickerwassermenge, Stickstoffauswaschung, Oberflächenabfluss und N-Abtrag durch Erosion untersucht.

Methodik: Der Versuchsstandort Braunschweig ist gekennzeichnet durch einen Boden mit lehmigem Sand, 616 mm Jahresniederschlag und eine mittlere Lufttemperatur von 9,1 °C. Die Silphie-Dauerkultur, die Mais-Selbstfolge und das mehrjährige Feldgras wurden auf je acht 240 m² großen Parzellen angebaut. Als Wettermanipulation wurde Ende Juli auf der Hälfte der Parzellen eine Starkregensimulation (80–120 mm innerhalb vier Tagen) durchgeführt. Zu Projektbeginn befanden sich die drei Kulturen bzw. Anbausysteme bereits seit fünf Jahren auf denselben Parzellen, sodass sich im Boden neue Gleichgewichtszustände beispielsweise bei organischer Substanz, Regenwurmbesatz und hydraulischer Leitfähigkeit einstellen konnten.

Durchwachsene Silphie

Ergebnisse: Die Silphie zeigte regelmäßig eine hohe Wurzeldichte bis zu 1 m Tiefe. Die Graswurzeln erreichten ebenfalls 1 m, wiesen jedoch nur eine geringe Wurzeldichte auf und bildeten nur in der oberen 5 cm-Bodenschicht ein dichtes Wurzelgeflecht. Die Maiswurzeln erreichten bei insgesamt geringer Wurzeldichte zwar im Trockenjahr 2018

WASSERINFILTRATIONSRATEN ZU BEGINN DER VEGETATIONSPERIODE



Quelle: JKI

© FNR 2020

Abb. 22: Wasserinfiltrationsraten zu Beginn der Vegetationsperiode. Die Linien in den Boxen stellen den Median und die Zahlen über den Boxen den Mittelwert dar.

Abflusswasser einer Maisparzelle nach Starkregensimulation mit 20 mm innerhalb einer Stunde im Juli 2017.

Maisparzelle kurz nach einem natürlichen Starkregen Ende Mai 2017.

eine Tiefe von 1 m, nicht aber im feuchten Jahr 2017. Die jeweils zu Vegetationsbeginn gemessenen Wasserinfiltrationsraten waren bei Silphie und Feldgras signifikant höher als bei Mais (Abb. 22). Das bessere Wasseraufnahmevermögen der beiden Dauerkulturen dürfte auf eine höhere Regenwurmaktivität und eine verbesserte Bodenstruktur aufgrund der fehlenden Bodenbearbeitung zurückzuführen sein. Zudem hat die Silphie einen sehr hohen Wasserverbrauch, sodass der Boden oftmals trocken und die Wasserspeicherkapazität vor einem Niederschlag entsprechend groß ist.

Sowohl der Oberflächenabfluss als auch die Bodenverluste durch Erosion waren bei Silphie und Feldgras vernachlässigbar gering. Bei Mais hingegen waren insbesondere im nassen Sommer 2017 große Mengen

TAB. 4: STICKSTOFFBILANZ (kg N/ha) FÜR DREI BIOGASKULTUREN AM STANDORT BRAUNSCHWEIG.

	3/2017 bis 2/2018			3/2018 bis 2/2019		
	Mais	**Silphie**	**Feldgras**	**Mais**	**Silphie**	**Feldgras**
Input						
Düngung	180	170	310	180	170	310
Atmosphärische Deposition	14	14	14	14	14	14
Bewässerung	7	7	7	36	36	36
Output						
Biomasseernte	256	207	370	305	212	376
Auswaschung	34	4	11	19	2	4
Erosion	3	0	0	0	0	0
Bilanz	**–92**	**–20**	**–50**	**–94**	**6**	**–20**

Quelle: JKI

an Abflusswasser und erodiertem Sediment zu verzeichnen (siehe Fotos). Grund dafür war ein natürlicher Starkregen kurz nach der Maisaussaat mit 26 mm innerhalb einer Stunde. In der Folge kam es zu Verschlämmung und Krustenbildung in den Maisparzellen. Im weiteren Jahresverlauf waren bei Mais, trotz des nahezu flachen Geländes, immer wieder starke Wasserabflüsse zu verzeichnen.

Feldgras und insbesondere Mais hatten eine deutlich negativere Stickstoffbilanz als Silphie (Tab. 4). Die Stickstoffauswaschung unter Silphie war zu allen untersuchten Zeiträumen gering, was durch einen signifikant niedrigeren Gehalt des Bodens an auswaschbarem Stickstoff und die Tendenz zu einer geringeren Versickerung aufgrund des hohen Wasserverbrauchs der Silphie erklärt werden kann.

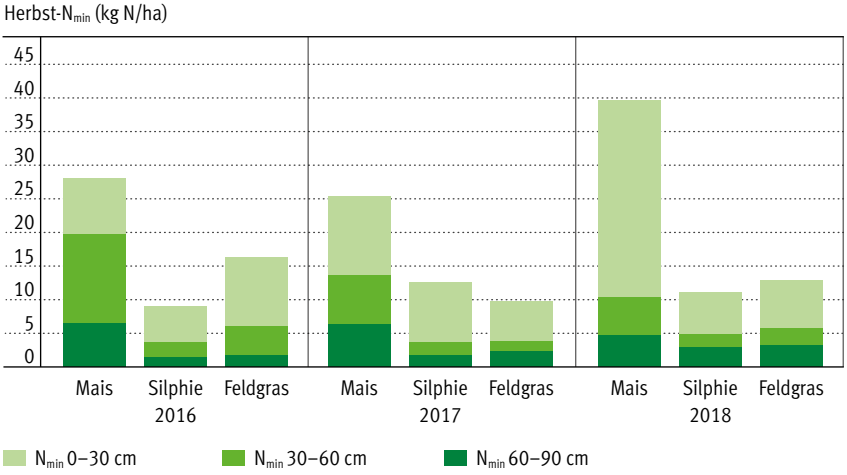
Der Gehalt an mineralischem Stickstoff im Boden war bei Mais zu allen Untersuchungszeitpunkten und in allen Bodentiefen höher als bei Silphie und meist auch Feldgras (Abb. 23). Im Herbst 2016 und 2017 war dies insbesondere zwischen 30 und 90 cm Bodentiefe der Fall. Das könnte die höheren N-Auswaschungsverluste unter Mais besonders gegenüber der Silphie erklären. Die niedrigeren N-Gehalte unter den beiden mehrjährigen Kulturen sind vermutlich auf die geringere Mineralisierung wegen fehlender Bodenbearbeitung und die längere N-Aufnahme zurückzuführen, die durch ein zeitigeres Pflanzenwachstum im Frühjahr und die Fähigkeit zum Wiederaufwuchs nach der Ernte bedingt ist.

Düngung d. Durchwachsenen Silphie
Andrea Biertümpfel (TLLLR Dornburg), Johannes Köhler

Versuchsergebnisse des Thüringer Landesamtes für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (ehemals Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft) zeigten, dass die Durchwachsene Silphie bei angemessener N-Düngung (N-Sollwert von 135 kg/ha • a bei einem Ertragsniveau von 150 dt TM/ha) nach der Ernte nur sehr geringe N-Mengen im Boden hinterlässt. Eine Ertragsminderung war bei Düngung mit Gärresten unterhalb des N-Sollwerts nicht zu verzeichnen. Daraus lässt sich ableiten, dass etablierte Bestände durch ihr stark ausgeprägtes Feinwurzelsystem den im Boden vorhandenen Stickstoff sehr gut erschließen können. Gleichzeitig belegten die Erträge, dass die ausgebrachten Gärreste von der Pflanze gut verwertet wurden. Unterschiede im Ertrag und auch im N_{min} nach der Ernte konnten zwischen mineralischer und organischer N-Düngung nicht festgestellt werden. Demzufolge wäre ein Anbau der Durchwachsenen Silphie in umweltsensiblen Bereichen, insbesondere in Wasserschutzgebieten oder gefährdeten Gebieten nach EG-WRRL durchaus in Betracht zu ziehen. Nach derzeitigem Erkenntnisstand ist davon auszugehen, dass in derartigen Gebieten eine organische Düngung der Durchwachsenen Silphie zum geeigneten Termin in angemessener Höhe möglich wäre.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22027012

HERBST-N_{min}-GEHALTE IN 3 JAHREN UND 3 BODENTIEFEN FÜR 3 BIOGASKULTUREN



Quelle: JKI

© FNR 2020

Abb. 23: Herbst-N_{min}-Gehalte (kg N/ha) in drei Jahren und drei Bodentiefen (cm) für drei Biogaskulturen am Standort Braunschweig, gemessen jeweils im Oktober.

Fazit: Die Durchwachsene Silphie eröffnet neue Perspektiven für eine nachhaltige Energiepflanzenproduktion. Die Silphie weist ebenso wie Feldgras ein gegenüber Mais geringeres Risiko der Grundwasserbelastung durch Stickstoffdünger auf. Verantwortlich dafür ist neben den verringerten auswaschbaren Stickstoffgehalten im Boden das bei mehrjährigen Kulturen im Vergleich zu Mais erhöhte Potenzial zur Infiltration und Speicherung von Niederschlagswasser, die Vermeidung von Bodenverkrustungen und damit einhergehend eine deutliche Verringerung der Wassererosion. Die Silphie ist deshalb insbesondere im Hügelland und den Hanglagen der Mittelgebirge ein wirksames Instrument zur Minderung von Bodenverlusten durch Erosion sowie zum vorbeugenden Hoch- und Grundwasserschutz.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22023914

4.9 Riesenweizengras – Ökonomische Lösung für trockene Standorte

Michael Dickeduisberg (LWK NRW), Janine Müller (Uni Gießen)

Einleitung: Riesenweizengras ist ein mehrjähriges Ackergras, das als trockentolerant gilt und daher unter anderem in australischen Trockengebieten, der nordamerikanischen Prärie und in der argentinischen Pampa zur Futter- und Weidenutzung angebaut wird. Die Trockentoleranz resultiert aus einer oberirdischen Anpassung an Trockenheit und aus tiefgründigen Wurzeln, die tief liegende Wasserschichten nutzen können. Im Hinblick auf die Anpassung der heimischen Landwirtschaft an den Klimawandel mit zunehmenden periodischen Trockenphasen – wie zuletzt in den Jahren 2018 und 2019 – hat die Trockentoleranz einen großen Nutzen. Darüber hinaus eignet sich dieses Gras durch seine Mehrjährigkeit auch für feuchte Standorte mit Problemen bei der Bodenbefahrbarkeit zur Frühjahrsbestellung. In den vergangenen Jahren wurde Riesenweizengras in Ungarn züchterisch mit dem Schwerpunkt der energetischen Nutzung weitergezüchtet. Versuche zeigten bereits Biomasseerträge auf Maisniveau mit nur geringfügig niedrigeren spezifischen Gasausbeuten. Da Riesenweizengras als Dauerkultur den Boden ganzjährig bedeckt und tief durchwurzelt, liegt ein Potenzial im Gewässerschutz nahe und sollte intensiver untersucht werden. Am Standort Haus Düsse (Landwirtschaftskammer NRW) wurde die Dauerkultur Riesenweizengras ab dem Jahr 2012 in Exaktversuchen getestet. Dabei zeichnete sich unter anderem durch Vergleiche mit dem FNR-Projekt EVA III ein Gewässerschutzpotenzial der Kultur ab. Aufgrund der positiven Voruntersuchungen wurden zwischen 2012 und 2015 in einem durch das BMEL geförderten Projekt die Erträge von Riesenweizengras mit der Referenzkultur Silomais verglichen und Aussagen über die Wirtschaftlichkeit erzielt („Bewertung von Riesenweizengras im Vergleich mit praxisüblichen Anbausubstraten unter Aspekten des Pflanzenbaus, der Wirtschaftlichkeit und des Umweltschutzes“ [BRAWU]).

Methodik: Das Riesenweizengras wurde nach der Etablierung ab dem ersten vollständigen Standjahr mit einem N-Sollwert von 240 kg N ha^{-1} auf eine Ertragserwartung von 20 t ha^{-1} unter Anwendung der N-Sollwertmethode gedüngt. Als Referenz diente eine Mais-Selbstfolge ohne Winterzwischenfrucht, für die ein N-Sollwert von 190 kg N ha^{-1} angestrebt wurde. Die Vorfrucht mehrjähriges Ackergras mit langjähriger organischer Düngung wurde im August 2012 untergepflügt. Anschließend wurde das Riesenweizengras am 10.09.2012 gesät, wohingegen die Mais-Parzellen als Brache bis zur nächsten Maisaussaat überwinterten. Das Riesenweizengras unterlag einem zweischnittigen Ernteregime. Die Düngergaben erfolgten nach Abzug des Frühjahrs-N_{min} zu 2/3 zu Vegetationsbeginn und zu 1/3 nach dem ersten Schnitt im Juli.

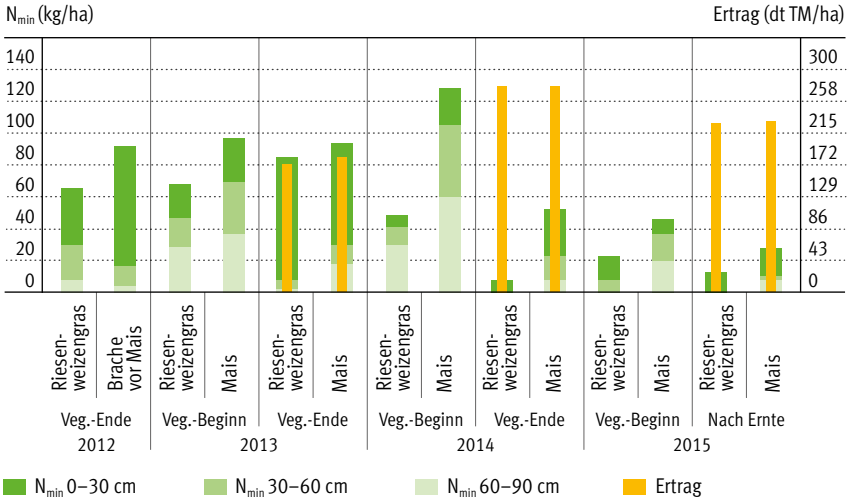
Riesenweizengras, eine alternative Energiepflanze zu Mais

Ergebnisse: Riesenweizengras hat eine vergleichsweise langsame Jugendentwicklung, sodass die N-Nachlieferung aus dem Ackergrasumbruch bis zum Vegetationsbeginn 2013 kaum in Biomasse umgesetzt werden konnte. Im folgenden Etablierungsjahr bildete Riesenweizengras sein tiefreichendes Wurzelsystem aus, welches in den Folgejahren zur Vermeidung von N-Verlagerungen in untere Bodenschichten beitrug.

Hohe N_{min}-Werte im Frühjahr 2014 sowohl im Riesenweizengras als auch im Mais resultierten unter anderem aus hohen Bodenstickstoffgehalten zum Vegetationsende 2013. Für beide Kulturen lagen die Biomasseerträge in 2013 (Mais: 17 t TM ha^{-1}; Riesenweizengras: 16 t TM ha^{-1}) aufgrund eines sehr späten Vegetationsbeginns Mitte April und unterdurchschnittlich kühlem Mai deutlich unter den Ertragserwartungen und hinterließen folglich den nicht aufgenommenen Stickstoff aus der Mineraldüngung im Boden.

In den Erntejahren 2014 und 2015 lagen die Erträge beider Kulturen oberhalb der für die Düngung kalkulierten Erträge von 20 t TM ha^{-1}. Die Kulturführung von Riesenweizengras hatte gegenüber Mais den Vorteil später Ernten (Oktober anstatt September) und anhaltenden Wachstums nach dem letzten Schnitt im Jahr und somit idealer Verwertung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs. Infolgedessen stieg der N_{min} der Maisbrache nach der Ernte an, wohingegen die Stickstoffgehalte im Boden nach der Ernte von Riesenweizengras bis zum Vegetationsende konstant blieben. Auf einem vergleichbaren Praxisschlag mit Riesenweizengras in Haus Düsse wurden ähnliche Ergebnisse beobachtet. Bei etwas geringerer Ertragserwartung und somit geringerem N-Sollwert lagen die N_{min}-Werte zu Vegetationsende ab dem ersten Nutzungsjahr stets unterhalb von 20 kg N ha^{-1} (4–18 kg N ha^{-1}).

ENTWICKLUNG N_{MIN}-WERTE UND BIOMASSEERTRAG VON RIESENWEIZENGRAS UND MAIS



Quelle: ZNR – Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

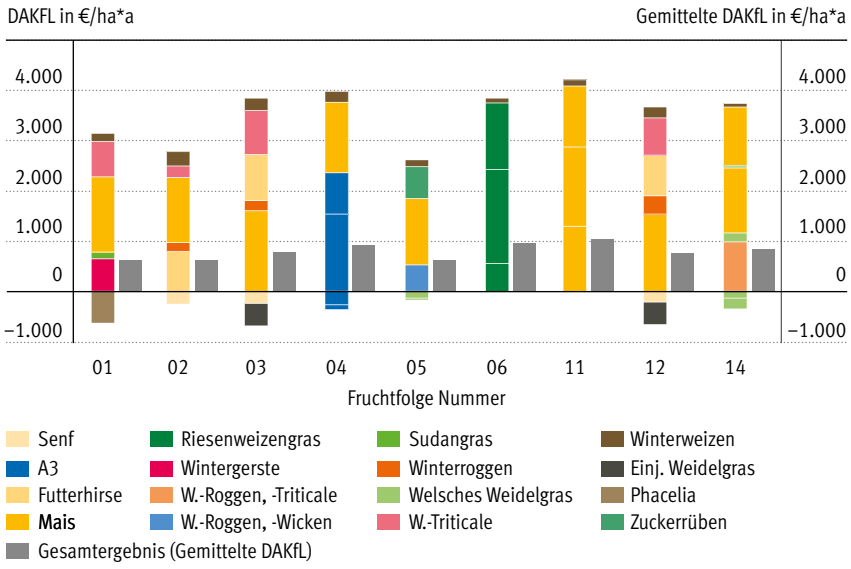
© FNR 2018

Abb. 24: Entwicklung der N_{min}-Werte und des Biomasseertrags von Riesenweizengras und Mais in Selbstfolge in einem Fruchtfolgeversuch, jeweils zu Vegetationsbeginn (Veg.-Beginn) und Vegetationsende (Veg.-Ende) eines Erntejahres. Beginnend mit der Aussaat von Riesenweizengras 2012, dem folgenden Etablierungsjahr und abschließend mit der Ernte 2015.

Interessante Versuchsergebnisse zeigen Berechnungen der Uni Gießen zur Wirtschaftlichkeit des Riesenweizengrasanbaus. Abbildung 25 zeigt exemplarisch für den Standort Haus Düsse (NRW) verschiedene vierjährige Energiepflanzenfurchtfolgen im Vergleich zum Anbau von Riesenweizengras. Berechnet wurde die Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL €/ha *Jahr). Einbezogen in der DAKfL sind kostenseitig alle Arbeitsgang- und Lohnkosten sowie die tatsächlichen Faktorkosten für Saatgut, Dünger und Pflanzenschutzmittel. Leistungsseitig wurden aus den Versuchserträgen die Methan-Hektarerträge berechnet, welche wiederum eingepreist den Methanerlös der Kulturart darstellen.

Beim Vergleich des vierjährigen Anbauzeitraums wird deutlich, dass das Riesenweizengras (Fruchtfolge 06) mit einer mittleren DAKfL von 958 €/Jahr nach Mais (Fruchtfolge 11) mit einer mittleren DAKfL von 1.050 €/Jahr die zweitwirtschaftlichste Kultur war. Die Kosten pro m³ Methan lagen beim Riesenweizengras bei 0,29 €/m³ CH_4*a im

MITTLERE DIREKT- UND ARBEITSERLEDIGUNGSKOSTENFREIE LEISTUNG



Quelle: Uni Gießen

© FNR 2020

Abb. 25: Mittlere Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL) der vierjährigen Fruchtfolgeversuche am Standort Haus Düsse (aggregiert).

Vergleich zum Mais mit 0,24 €/m³ CH_4. Der Methanhektarertrag war mit 3.724 m³ CH_4/ha*a jedoch rund 30 % niedriger als der von Mais mit 5.459 m³ CH_4/ha*a. Riesenweizengras schnitt jedoch ökonomisch besser als die weiteren 7 untersuchten Fruchtfolgen und auch besser als die Ackergras-Maisfruchtfolge (04) ab.

In ergänzenden Modellrechnungen unter Berücksichtigung der langen Nutzungsdauer von Riesenweizengras (16 Jahre und 5 % Ertragsrückgang pro Jahr unterstellt) berechnen sich für Riesenweizengras sogar um rund 12 % niedrigere Methangestehungskosten als im Maisanbau mit Zwischenfrucht.

Fazit: Die Untersuchungen zeigen das Potenzial von Riesenweizengras, aufgrund der durchgängigen Bodenbedeckung und später Erntetermine Stickstoffverlagerungen und somit N-Auswaschungen zu vermeiden. Wichtig ist dabei die standortangepasste und ertragsabhängige Düngung. Zudem sollte keine N-Gabe nach dem zweiten Schnitt am Ende des Jahres erfolgen. Als Dauerkultur mit ganzjähriger Bodenbedeckung wirkt Riesenweizengras dem Bodenabtrag durch Erosion (und somit Eintrag in Gewässer) entgegen. Insgesamt ist das Riesenweizengras nach den derzeitigen Erkenntnissen eine Kultur mit hohem Gewässerschutzpotenzial.

Ökonomische Bewertungen für den Standort Haus Düsse zeigen auch die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit von Riesenweizengras. Im Mittel der ersten Nutzungsjahre fielen die Methangestehungskosten von Riesenweizengras zwar etwas höher als von Mais, aber im Vergleich zu den weiteren geprüften Fruchtfolgen günstiger aus. Unter Berücksichtigung der langen Nutzungsdauer von Riesenweizengras (16 Jahre unterstellt) schlägt das Riesenweizengras auch den Mais mit Zwischenfrucht Senf, wenngleich das Ertragsniveau unter dem von Mais liegt.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22025715, 22015216

4.10 Reduktion von Stoffeinträgen durch Pufferstreifen mit Kurzumtriebs-Gehölzen an Gewässern

Cornelia Fürstenau, Dirk Harzendorf, Armin Vetter (TLLLR Dornburg), Christine von Buttlar (IGLU Göttingen), Nicole Paul (FNR Gülzow)

Einleitung: Nicht nur beim Grundwasserschutz gibt es Handlungsbedarf, auch die Oberflächengewässer wie Bäche, Flüsse und Seen weisen häufig einen mangelhaften ökologischen Zustand auf. 2015 erreichten nur 7 % der Bäche und Flüsse und 26 % der Seen in Deutschland einen sehr guten oder guten ökologischen Zustand (UBA 2017, UBA 2018). Zu den Ursachen zählen Bodenerosion und Oberflächenabfluss von angrenzenden Äckern, die Nährstoffe, vor allem Nitrat und Phosphor, in die Gewässer eintragen.

Große Schläge, intensive Bodenbearbeitung und der Anbau erosionsanfälliger Kulturen wie Mais, Zuckerrüben oder Kartoffeln steigern das Risiko von Bodenabtrag.

Eine Lösungsoption hierfür stellt neben Grünlandstreifen auch die streifenförmige Anlage von Kurzumtriebsplantagen (KUP) im Uferbereich dar. KUP bestehen aus schnellwachsenden, stockausschlagfähigen Baumarten wie Weiden, Pappeln oder Robinien. Sie können in regelmäßigen Intervallen geerntet werden und treiben nach der Ernte aus dem Wurzelstock wieder aus. Streifenförmige KUP im Uferbereich bieten

Der Bennebach in Thüringen: Eine Erosionsrinne ist deutlich erkennbar.

damit neben der potenziellen Schutzfunktion auch einen Energie- oder Wertholzertrag und versprechen so eine relativ hohe Akzeptanz seitens der Landwirte. Inwieweit sie die Stoffeinträge in Gewässer tatsächlich minimieren können, hat die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR, ehemals Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft) zwischen 2012 und 2015 auf einer Versuchsfläche am Bennebach im Kyffhäuserkreis untersucht.

Methodik: Die Versuchsfläche befand sich auf dem 34 ha großen Flurstück „Bienenhaus“ des Agrarbetriebes RWF GmbH Wolferschwenda. Das Flurstück fällt mit 4 bis 10 Prozent Neigung zum Bennebach ab und ist erosionsgefährdet. Zwischen dem Bennebach und dem Ackerschlag befand sich ein ca. 16 m breiter Grünstreifen. Auf diesem legte die TLLLR 2011 auf einer Länge von 350 m 12 m breite Parzellen in drei Varianten an (Abb. 26):

1. Kurzumtriebsplantagen (KUP) mit Hybridweiden der Sorte Tordis,
2. Grünland mit Luzernegrasgemisch und
3. die Ackerbaufruchtfolge, die auch auf dem angrenzenden Acker angebaut wurde: Winterraps, Winterweizen und Durum.

Die wissenschaftliche Begleitforschung umfasste Erosionsmodellierungen und ein intensives Gewässer-, Boden-, Erosions- und Vegetationsmonitoring. Außerdem wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen analysiert.

Ergebnisse: Bodenanalysen und Erosionsmodellierung zeigten für den Ackerschlag Bienenhaus deutlich die hohe Erosionsgefährdung. Die Folge langjähriger Erosionsereignisse waren 50 bis 85 cm mächtige Sedimentablagerungen im Gewässerrandstreifen. Zum Zeitpunkt des Projektes betrug der mittlere potenzielle Bodenabtrag von der Ackerfläche (ohne ackerbauliche Erosionsschutzmaßnahmen) 6 Tonnen pro Hektar und Jahr.

Die Modellierungen ergaben, dass sich durch erosionsmindernde Maßnahmen wie z. B. Mulchsaatverfahren, Fruchtfolgegestaltung, hanglinienparallele Bearbeitung, Zwischenfruchtanbau und Schlagteilung die Stoffausträge auf dem Ackerschlag Bienenhaus durch Einzelmaßnahmen um 11 bis 47 Prozent, bzw. durch Maßnahmenkombinationen um bis zu 75 Prozent reduzieren lassen würden.

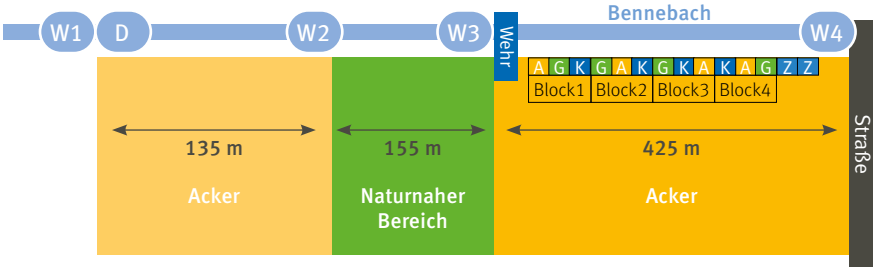


Abb. 26: Design der Versuchsfläche und benachbarte Flächen.
(W = Messstellen, D = Drainage, A = Acker, G = Grünland, K = KUP, Z = KUP mit anderen Sorten)

Versuchsfläche im Frühjahr 2013.

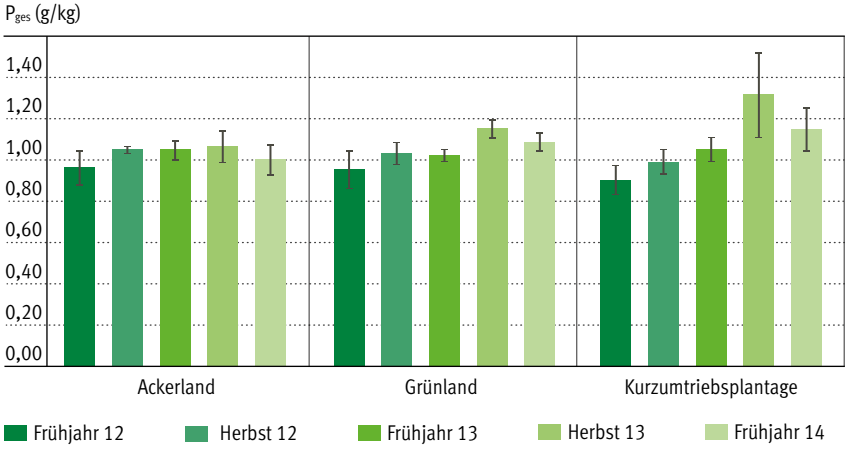
Ergänzend kann durch die Anlage von Pufferstreifen aus KUP und Grünland der Bodenabtrag durch Erosion deutlich reduziert werden. Die Retentionswirkung von KUP konnte schon innerhalb der Etablierungsphase festgestellt werden.

Als Indikator für die Retentionswirkung kann die Entwicklung der Gesamtphosphorgehalte im Oberboden der Pufferstreifen herangezogen werden (Abb. 27). Unter den KUP stieg der mittlere Gesamtphosphorgehalt im Oberboden in 10 m Entfernung zum

angrenzenden Acker von 2012 bis 2014 um 28 % von 0,90 auf 1,15 g/kg an. Unter Grünland betrug die Zunahme des Gesamtphosphorgehalts immerhin noch 14 %. Dagegen blieb der Phosphorgehalt unter den Ackerparzellen im Untersuchungszeitraum annähernd gleich. Durch die KUP-Retentionsstreifen wurde also die früher oder später (insbesondere nach Starkregenereignissen) in den Bennebach gelangende Phosphormenge und der Bodenabtrag um fast ein Drittel gegenüber der Ackernutzung ohne Randstreifen reduziert. Es kann angenommen werden, dass dieser Retentionseffekt mit der Dauer der Standzeit noch weiter zunimmt.

Ein weiteres Ergebnis der chemischen Bodenanalysen betraf die Entwicklung der N_{min}-Gehalte im Oberboden. Sie fielen unter KUP und Grünland etwas niedriger als unter Ackerland aus. Als ursächlich dafür wird das Ausbleiben einer Mineraldüngung auf den KUP-Streifen angesehen, was auch langfristig niedrige N-Austräge erwarten lässt.

ENTWICKLUNG DER P_{GES}-GEHALTE IN 10 M ENTFERNUNG VOM ANGRENZENDEN ACKERSCHLAG IN DEN JAHREN 2012 BIS 2015

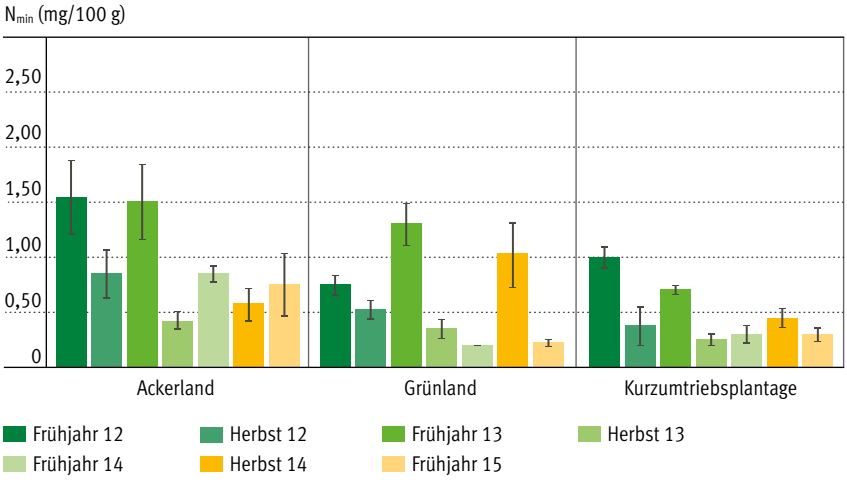


Quelle: TLLLR

© FNR 2020

Abb. 27: Entwicklung der P_{ges}-Gehalte in 10 m Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Jahren 2012 bis 2015. Die Peaks im Herbst 2013 erklären sich als Nachwirkungen von Starkregenereignissen im Mai 2013.

ENTWICKLUNG DES N_{min}-GEHALTES (0–5 CM TIEFE) IN 2 M ENTFERNUNG VOM ANGRENZENDEN ACKERSCHLAG IN DEN JAHREN 2012 BIS 2015



Quelle: TLLLR

© FNR 2020

Abb. 28: Entwicklung des N_{min}-Gehaltes (0–5 cm Tiefe) in 2 m Entfernung vom angrenzenden Ackerschlag in den Jahren 2012 bis 2015

Ein direkter Einfluss der drei Bewirtschaftungsvarianten auf die Nährstoffgehalte des Wassers und die Schwebstoffe im Bennebach konnte dagegen nicht nachgewiesen werden. Hierfür wären längere Untersuchungszeitreihen und größere Untersuchungsabschnitte erforderlich.

Fazit: Bei der Bewirtschaftung von Ackerflächen in Hanglagen an Fließgewässern können bei konventioneller Bestellung ohne erosionsmindernde Maßnahmen schnell Bodenabträge von rund 6 t/ha und Jahr entstehen. Auf besonders gefährdeten Flächen fallen diese unter Umständen noch höher aus. Um den Abbau der Bodenfruchtbarkeit und den Stoffaustrag in Gewässer zu vermeiden, sind erosionsmindernde Maßnahmen auf dem Acker (z. B. Mulchsaat, Schlagteilung, Fruchtartenwahl …) umzusetzen. Ergänzend bietet sich die Anlage von Pufferstreifen an, wobei Kurzumtriebsgehölze eine interessante Alternative zu Grasstreifen darstellen und neue Einkommensquellen erschließen können. KUP-Streifen bieten eine ganzjährige Bodenbedeckung und eine tiefreichende Durchwurzelung. Dadurch

wird der Bodenabtrag reduziert und die Retentionskapazität z. B. für Phosphor deutlich erhöht. Die mehrjährige Bodenruhe trägt durch den Eintrag von Streu und abgestorbener Wurzelbiomasse auch zum Humusaufbau bei. KUP werden in der Regel nicht gedüngt, wodurch auch das Risiko von Stickstoffausträgen ins Grundwasser und Oberflächengewässer reduziert wird.

Forschungsbedarf besteht noch bei der Rückumwandlung der Flächen: In der Regel werden schnellwachsende Bäume aufgrund sinkender Erträge nach etwa 20 Jahren mitsamt Wurzelstöcken gerodet. Ob hiermit eine verstärkte Freisetzung der im Boden angereicherten Nährstoffe verbunden ist bzw. mit welchen Anbaustrategien dies zu verhindern wäre, ist derzeit nicht bekannt.

Offene Fragen gibt es schließlich noch bei der Förderung: Derzeit können KUP-Pufferstreifen nicht mit einer ackerbaulichen Nutzung konkurrieren. Für die Forcierung dieses Anbausystems wären deshalb Ausgleichzahlungen sinnvoll.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22004711

Anbauhinweise für Gewässerschutz-KUP-Streifen

- *Aufgrund der geringen Flächengröße bietet sich bei KUP-Streifen an Gewässern eine Umtriebszeit von mindestens 10 Jahren an.*
- *Standortgerechte Baumarten für den Anbau im Gewässerrandstreifen (dieser umfasst i. d. R. 5–10 m ab Böschungsoberkante) sind die meisten Weidenarten, Schwarz-Erlen und die Schwarzpappel (Populus nigra L.).*
- *Weiden eignen sich allerdings eher für den Kurzumtrieb (4 Jahre). Die ertragsstarken Hybridsorten könnten im langen Umtrieb stark bruchgefährdet sein. Eine mögliche Alternative ist die Silber-Weide (Salix alba L.).*
- *Erlen sind für den mittleren bis langen Umtrieb interessant. Die Baumart kann jedoch durch die Wurzelfäule der Erle (Phytophthora alni) befallen werden, die im schlimmsten Fall zum Absterben ganzer Bestände führt. Leider sind insbesondere Bäume entlang von Gewässerläufen betroffen.*
- *Außerhalb des Gewässerrandstreifens sind auch die gängigen, ertragreichen Pappelhybriden verwendbar.*
- *Um Rückhalt und Infiltration von Feinmaterial und Nährstoffen optimal zu ermöglichen, sollte der Streifen mindestens 20 m breit sein und zum Erhalt der Beihilfefähigkeit insgesamt mindestens 0,3 ha umfassen.*
- *Die Pflanzzahlen sollten im langen Umtrieb und mit der Zielsetzung einer dauerhaften Bodenvegetation (positiv für die Rückhaltekapazität der Fläche)*

bei 2.000 Stück je Hektar, der Reihenabstand bei 3 m liegen.

- *Die Regulierung der Konkurrenzvegetation insbesondere im Pflanzjahr ist wichtig und kann mittels Mulchfolien und mechanischer Verfahren erfolgen.*
- *Eine Zäunung des Streifens oder die Verwendung von Wuchshüllen (keine sog. oxoabbaubaren Kunststoffe verwenden, die zum Mikroplastikeintrag in die Umwelt führen können) ist zum Schutz vor Wildschäden notwendig.*

Rechtliche Rahmenbedingungen

§ 38 Wasserhaushaltsgesetz des Bundes (WHG) verbietet das Anpflanzen nicht standortgerechter und das Entfernen standortgerechter Gehölze im Gewässerrandstreifen, mit Ausnahme der Entnahme im Rahmen einer ordnungsgemäßen Forstwirtschaft. Da KUP nicht unter den Waldbegriff fallen, kann ihre Ernte nicht als forstwirtschaftliche Nutzung gelten. § 38 Absatz 5 WHG nennt jedoch die Möglichkeit der Befreiung von den genannten Verboten durch die zuständigen Behörden der Bundesländer. Davon haben bereits einige Länder Gebrauch gemacht, darunter Baden-Württemberg, Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Thüringen. In diesen Ländern ist die Anpflanzung und Ernte von KUP auf dem Gewässerrandstreifen entweder schon jetzt oder künftig explizit erlaubt, oder es ist ein Passus im jeweiligen Landeswassergesetz enthalten, wonach die zuständigen Wasserbehörden Ausnahmegenehmigungen für KUP erteilen können.

4.11 Gewässerschutzleistung von Wildpflanzenmischungen für Biogasanlagen

Martin Degenbeck (Bayer. LWG Veitshöchheim)

Einleitung: Seit 2008 entwickelt die Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau artenreiche mehrjährige Wildpflanzenmischungen zur Biogasproduktion (WPM). Die praxisreife Saatmischung „Veitshöchheimer Hanfmix“ mit 30 Arten ist auf 5 Jahre Standzeit ausgelegt. Der Hanf dient als Ammenpflanze für die zwei- und mehrjährigen Arten und verdoppelt den TM-Ertrag im 1. Jahr. Eine Saatmischung mit Präriepflanzen befindet sich in der Entwicklung. Sie kann im Gegensatz zum Hanfmix ab dem 2. Jahr auch zeitgleich mit Mais geerntet werden.

Mit WPM kann der Landwirt einerseits Lebensräume für Honigbienen, andere Insekten, selten gewordene Feldvögel und Wildtiere auf seinem Acker schaffen und andererseits mit geringem Aufwand an Arbeitszeit und Betriebsstoffen besonders nachhaltig Biogas

Gerade für Honigbienen (hier auf einer Wegwarte) bieten die WPM reichlich Nektar und Pollen

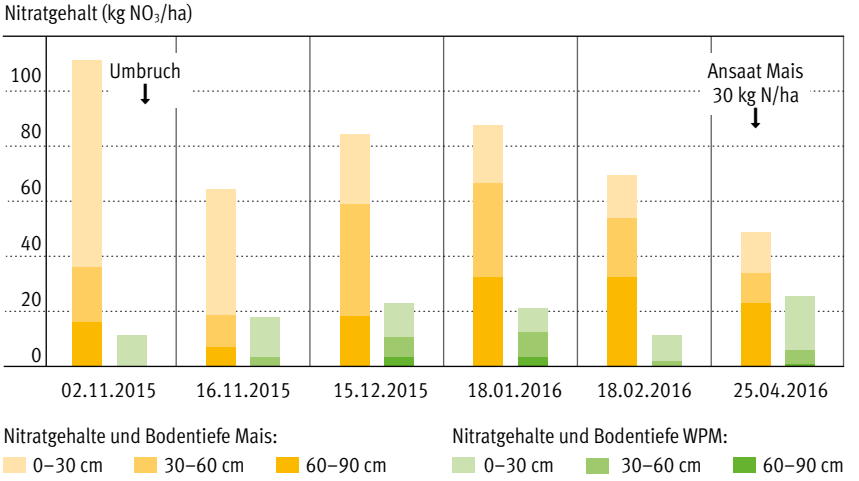
produzieren (Methanhektarertrag etwa 35–45 % vom Silomais). Naturschutz und Landwirtschaft auf einer Fläche sind möglich!

In mehreren vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BayStMELF) geförderten Forschungsvorhaben wurde der Frage nachgegangen, wie sich die Nährstoffgehalte, speziell die N_{min}-Gehalte und Nitratgehalte im Boden unter WPM entwickeln. Als Dauerkultur mit Pflanzen, die nach der Ernte weiterwachsen, sind bei Wildpflanzenmischungen reduzierte N_{min}-Werte im Boden und eine geringere Nitratauswaschungsgefahr zu erwarten. Bei Düngeversuchen wurde erarbeitet, dass eine Düngung über 120 kg N/Jahr keine Ertragssteigerung mehr bringt und daher deutlich weniger gedüngt werden muss als bei einer Maisfruchtfolge.

oben: Der Veitshöchheimer Hanfmix im 1. Standjahr, geprägt von Faserhanf, Cosmeen und Sonnenblumen.
unten: Im 2. Standjahr prägen Stockrosen, Fenchel und Wegwarte das Bild des Hanfmix, im Unterwuchs ist der Massenträger Rainfarn zu sehen. Die Dauerkultur sorgt für minimale herbstliche N_{min}-Gehalte im Boden.

Methodik: Da zu Versuchsbeginn der Nährstoffbedarf der WPM nicht bekannt war, wurden beim BMEL-Projekt ab 2012 in Grub (Bayern) und Dasselsbruch (Niedersachsen) Düngeversuche durchgeführt. Darüber hinaus wurden an zwei Standorten in Brandenburg ab 2012 drei Jahre lang neben anderen Bodenparametern der N_{min}-Gehalt in zwei Tiefen (0 bis 60 cm Tiefe) gemessen und mit anderen Kulturen verglichen. Bei einem Ringversuch wurden in Bayern ab 2011 an sieben Standorten jährlich Bodenuntersuchungen durchgeführt, darüber hinaus an zwei Standorten bis in eine Tiefe von 90 cm, um Nitratverlagerungen bei WPM im Vergleich zu einer Maisfruchtfolge zu untersuchen. Außerdem wurden die Nährstoffwerte im Boden nach Umbruch sowie die Nährstoffabfuhr mit dem Erntematerial untersucht. Um für Versuchszwecke eine Kontrolle aller eingesetzten Nährstoffe zu ermöglichen, wurden nicht (wie meist in der Praxis) Gärreste, sondern mineralische Dünger eingesetzt.

NITRATGEHALTE IN VERSCHIEDENEN BODENSCHICHTEN



Quelle: LWG Veitshöchheim

© FNR 2020

Abb. 29: Nitratgehalte in verschiedenen Bodenschichten (0 bis 30cm, 30 bis 60cm und 60 bis 90 cm) von November 2015 bis Ende Juli 2016 bei fünfjährigen Wildpflanzenparzellen (WPM) am Standort Straubing (Ringversuch Bayern), die vor dem Winter umgebrochen und am 29.04.2016 mit Mais angesät wurden. Zum Vergleich wurden Maisparzellen beprobt. (Sollwerte 120 kg N/ha bei Wildpflanzen und 180 kg N/ha bei Mais).

Ergebnisse: Beim Düngeversuch im Rahmen des BMEL-Projektes waren die herbstlichen Boden-Nitratgehalte unter WPM bis zu einer Düngung von 180 kg N/ha regelmäßig in einem für landwirtschaftliche Kulturen sehr niedrigen Bereich (um 10 kg/ha in 0–60 cm Bodentiefe) und gegenüber der ungedüngten Variante nicht erhöht. Erst bei extrem hoher N-Zufuhr weit über Bedarf (210 kg N/ha) war in einem Fall ein leichter Anstieg der Boden-Nitratgehalte in 0–30 cm Tiefe festzustellen. Auf den Maisparzellen in Brandenburg waren in 60 cm Tiefe nach der Ernte durchschnittlich 53 kg N/ha vorzufinden. Auf den Wildpflanzenparzellen lagen die N_{min}-Werte in derselben Tiefenzone mit 28 kg N/ha deutlich niedriger.

Beim Ringversuch Bayern lagen die Gesamt-N_{min}-Gehalte nach vierjähriger Standzeit bei der 2011 gesäten WPM vor dem Winter (Mitte Dezember) in 0 bis 90 cm Bodentiefe bei 21 kg/ha. Bei Silomais wurden in der Summe der Bodenschichten 0–90 cm bis zu 110 kg/ha Gesamt-N_{min} gemessen. Die Nitratwerte vor Winter konnten somit durch die Wildpflanzenkultur unter vergleichbaren

Bedingungen (gleicher Standort, reguläre Düngung) gegenüber Silomais deutlich gesenkt werden. Beim Silomais war die Verlagerung des Nitrats in tiefere Bodenschichten hingegen deutlich ersichtlich.

Vergleichbar hohe Nitratgehalte werden bei den WPM selbst nach einem Flächenumbruch bei weitem nicht erreicht (16. November: Mais 46 kg N/ha, WPM 14 kg N/ha in 0–30 cm), wie Abbildung 29 am Beispiel des Standorts Straubing zeigt. Unabhängig davon, ob die Flächen im Spätherbst oder erst im darauffolgenden Frühjahr umgebrochen wurden, blieben die Nitrat-Gehalte des Bodens niedrig. So lagen die Werte in den tieferen Bodenhorizonten über den Winter immer unter 10 kg N/ha.

Die Ernte der Wildpflanzenmischung erfolgt nach den Brut- und Setzzeiten der Wildtiere

Fazit: Der Anbau von Wildpflanzenmischungen bringt nur rund 35–45 % der Methanhektarerträge von Mais, bietet aber ein hohes Wasserschutzpotenzial. Die im Vergleich zum Mais wesentlich niedrigeren Rest-N_{min}-Gehalte im Boden vor dem Winter sind einerseits auf die nachhaltige Dauerkultur mit langer Wachstumsphase und ganzjähriger Bodenbedeckung, andererseits auch auf den geringeren N-Input auf den Wildpflanzen-Parzellen durch die reduzierte Düngung zurückzuführen.

Damit bietet sich der Anbau von artenreichen mehrjährigen Wildpflanzenmischungen zur Biogasproduktion für Regionen mit überhöhten Nitratwerten im Grundwasser, für Wasserschutzgebiete, für Flutpolder an Flüssen und im Umfeld von Gewässern an, wobei durch die dauerhafte Bodenbedeckung zudem der Sedimenteintrag (Erosion) in Bäche und Flüsse minimiert werden kann. Die Nachhaltigkeitsziele Steigerung der Biodiversität und Steigerung des Grundwasser- und Oberflächengewässerschutzes können in idealer Weise miteinander verbunden werden. Schließlich bieten die WPM dem Landwirt gerade in immer häufigeren Trockenjahren wie 2018 mehr Ertragssicherheit, da die verwurzelte Dauerkultur mit klimatischen Widrigkeiten besser zurechtkommt als eine jährlich neu zu bestellende einjährige Standardkultur.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22038211

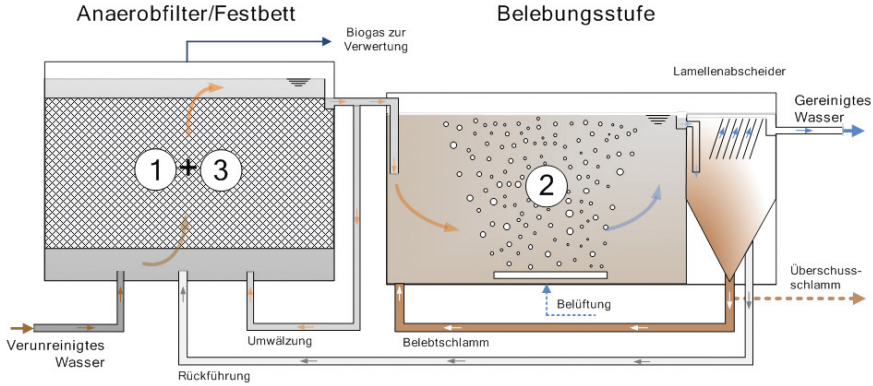
4.12 Organisch belastetes Oberflächenwasser auf Biogasanlagen mit dem Flexbio-Verfahren managen

Achim Loewen (HAWK Hildesheim/ Holzminden/Göttingen)

Einleitung: Biogasanlagen verfügen über große versiegelte Fahrsilo- und Verkehrsflächen. Bei Regenereignissen fallen stoßweise große Mengen an organisch hoch belastetem Oberflächenwasser an, die umweltgerecht entsorgt werden müssen. Wird das belastete Oberflächenwasser im Gärrestlager gesammelt, entstehen Kosten für den Lagerraumbedarf und für die Ausbringung. Mit der Flexbio-Technologie wird das Oberflächenwasser soweit aufgereinigt, dass wasserrechtliche Grenzwerte zum Einleiten in Vorfluter eingehalten werden.

2016 hat die FlexBio Technologie GmbH an einer bestehenden Biogasanlage der Bio-Energie Bad Gandersheim GmbH & Co. KG mit 700 kW Bemessungsleistung eine Anlage nach dem patentierten Flexbio-Verfahren im großtechnischen Maßstab errichtet und in Betrieb genommen. Das Vorhaben wurde von der HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst wissenschaftlich begleitet. Bei dem an der HAWK entwickelten Verfahren wird die im Abwasser befindliche Organik im Festbettfermenter zu Biogas umgesetzt, Treibhausgasemissionen werden deutlich verringert und die Ausbringung auf landwirtschaftliche Flächen erübrigt sich.

Methodik: Zunächst erfolgten die Genehmigungsplanung und die Erstellung der Anlage. Anschließend wurden unterschiedliche Fahrweisen und Betriebsparameter im Praxisbetrieb untersucht. Ziel war eine sichere Einhaltung von definierten Einleitwerten. Auf Basis der Ergebnisse wurde die



© Feher, Adam; Ganagin, Waldemar; Loewen, Achim: BGA-FLEXBIO, 2018

Abb. 30: Prinzip des FLEXBIO-Verfahrens ((1): aerobe Behandlung, (2): anaerobe Behandlung und Nitrifikation, (3): Denitrifikation)

Wirtschaftlichkeit des Konzepts unter den gegebenen Praxisbedingungen ermittelt.

Die Anlage erzeugt aus dem in einem Rückhaltebecken gesammelten Oberflächenwasser Biogas zur energetischen Nutzung. Sie umfasst einen anaeroben Festbettfermenter mit Biomasserückhaltung sowie eine aerobe Behandlungsstufe (Belebungsbecken), die eine weitergehende Reinigung der organischen Restbelastung und damit eine für die Umwelt schadlose Wassereinleitung bzw. Versickerung ermöglicht. Der Fermenter zeichnet sich durch eine große Ansiedlungsfläche für Mikroorganismen und eine Rückhaltung der aktiven Biomasse aus und ermöglicht so hohe Raumbelastungen und kurze Verweilzeiten. Das zugeführte Oberflächenwasser bietet die Kohlenstoffquelle für die Denitrifikation und ermöglicht so den Abbau von Nitrat zu reinem Stickstoff. Im Belebungsbecken wird die restliche Organik abgebaut und, bei Stickstoffbelastung, der Stickstoff oxidiert (Nitrifikation). Durch Rückführung eines Teilstroms aus dieser Stufe zurück in den Festbettreaktor wird zurückgeführter Überschussschlamm abgebaut.

Ergebnisse: Gemäß Genehmigung darf das behandelte Oberflächenwasser in ein Gewässer III. Ordnung (periodisch wasserführend, landwirtschaftlicher Graben) eingeleitet werden. Laut Nebenbestimmungen sind folgende Einleitwerte einzuhalten:

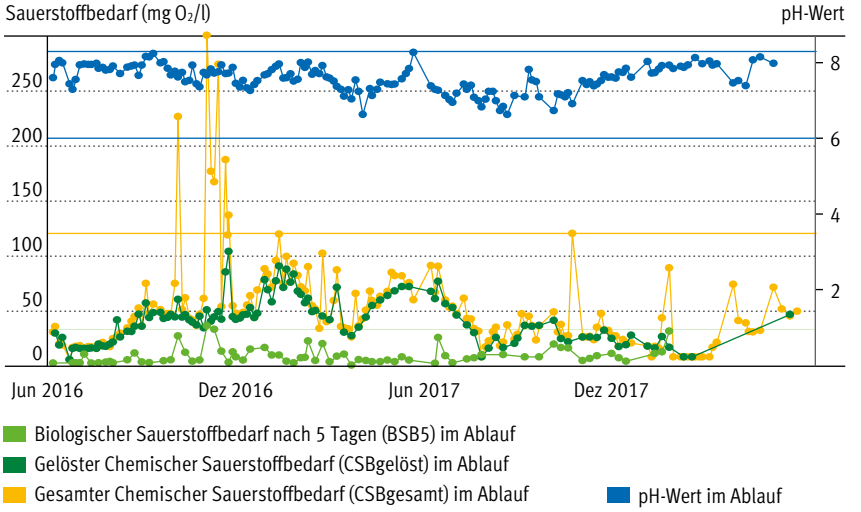
- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB): 120 mg/l
- Biochemischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen (BSB5): 32 mg/l
- pH-Wert: 6 bis 8,5

Oberflächenwasser vor und nach der Behandlung

Der CSB-Abbau des Gesamtsystems lag bis auf wenige Störfälle bei über 99 %, wobei i. d. R. über 90 % im Festbett abgebaut werden. Im November 2016 kam es durch Schlammaustrag zu CSB_{gesamt}-Werten von bis zu 300 mg/l im Ablauf. Nach Installation eines zusätzlichen Behälters zur Sicherstellung der Schlammrückhaltung konnte der Grenzwert von 120 mg/l sicher eingehalten werden.

Für die Anlage ist kein Grenzwert für Stickstoff vorgegeben. Im Rahmen des Vorhabens wurden dennoch alle bei Direkteinleitung ggf. relevanten Parameter untersucht. In Abhängigkeit von der N-Konzentration im Input und vom Rückführungsverhältnis fand ein N-Abbau von mindestens 60 %, bezogen auf den Median-Wert von 70 % statt. Dieser Wert soll künftig als Auslegungsgröße für Stickstoffabbau herangezogen werden.

VERLAUF DER ÜBERWACHUNGSPARAMETER MIT JEWEILIGEN GRENZWERTEN



Quelle: Feher, Adam; Ganagin, Waldemar; Loewen, Achim: BGA-FLEXBIO, 2018

© FNR 2020

Abb. 31: Verlauf der Überwachungsparameter mit jeweiligen Grenzwerten (durchgehende Linie)

In Abbildung 31 sind die Überwachungsparameter im Projektverlauf dargestellt. Alle Grenzwerte wurden nach Optimierung der Schlammabscheidung eingehalten.

Die in der Tabelle 5 zusammengefassten Daten liefern die Grundlage für die Ermittlung von spezifischen Entsorgungs- bzw. Behandlungskosten. Silagesickersaft wird getrennt gesammelt und der Biogasanlage zugeführt (Trennsystem). Die durchschnittliche Belastung des Oberflächenwassers beträgt 3.000 mg CSB/l. Die Kosten der Ausbringung des Oberflächenwassers ohne Behandlung lagen bei ca. 5 €/m³. Für das Vorhalten eines notwendigen Lagervolumens bzw. einer entsprechenden Infrastruktur wird bei 6 Monaten Lagerdauer und Abschreibung über Dauer der EEG-Vergütung ein Wert von ca. 1,25 €/m³ ermittelt, sodass sich für die Ausbringung insgesamt 6,25 €/m³ ergeben.

TAB. 5: ZU ENTSORG. WASSERMENGEN

Entwässerungsfläche	
Zu entwässernde Flächen ca.	8.000 m²
Jahresniederschlag	624 mm
Verdunstungsrate	30 %
Oberflächenwasseranfall	3.494 m³/a
Organische Belastung CSB	3.000 mg/l

Die spezifischen Kosten der Behandlung mittels Flexbio-Anlage setzen sich aus den Investitionskosten (Anlage, Anbindung und Umbaumaßnahmen), abgeschrieben über die EEG-Restlaufzeit der Biogasanlage, sowie aus variablen Betriebskosten (Verschleißteile, Wartung, Stromkosten) zusammen. Für die Beheizung der Anaerobstufe wird Wärme benötigt, die als überschüssige Abwärme der Biogasanlage zur Verfügung steht. Dafür erhält der Betreiber einen KWK-Bonus von 0,02 €/kWh. Des Weiteren lässt sich durch die Biogasnutzung Substrat einsparen. Insgesamt ergeben sich spezifische Behandlungskosten in Höhe von 1,57 €/m³.

TAB. 6: SPEZIFISCHE AUSBRINGUNGS- UND BEHANDLUNGSKOSTEN MIT FLEXBIO-VERFAHREN

	Ausbringung (€/m³)	Behandlung (€/m³)
Spez. Investition	1,25	1,49
Fixe Kosten	**1,25**	**1,49**
+ Ausbringung	5,00	0,00
+ Reinvest + Wartung	0,00	0,45
+ Stromkosten (0,20 •/kWh)	0,00	0,24
– KWK-Bonus (0,02 •/kWh)	0,00	–0,25
– Kostenersparnis Mais (38 •/t)	0,00	–0,36
Summe Variable Kosten	**5,00**	**0,08**
Spezifische Gesamtkosten	**6,25**	**1,57**

Fazit: Die Flexbio-Anlage ermöglicht eine nachhaltige Aufbereitung von Oberflächenwässern bei sicherer Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte. Bei der Betrachtung der Alternativen wird ein klarer Kostenvorteil deutlich: Eine Vollkostenrechnung ergibt bis zu 75 % Einsparung gegenüber der Ausbringung. Selbst wenn die Vorteile aus Substrateinsparung und KWK-Bonus unberücksichtigt bleiben, ist die Behandlung mit ca. 2,18 €/m³ um mindestens 65 % günstiger als die Ausbringung.

Da die FELXBIO-Anlagen modular aufgebaut, in Containern installiert und somit hinsichtlich der Größe bzw. der zu behandelnden Wassermengen flexibel sind, lässt sich die Technologie grundsätzlich an allen Biogasanlagen einsetzen. Die Auslegung und damit auch die Behandlungskosten hängen dabei weniger von der Größe der Biogasanlage, sondern von den Gegebenheiten vor Ort ab. Die Menge an Oberflächenwasser und dessen Belastung werden bestimmt durch die Topographie, lokale Niederschlagsmengen, bauliche Gegebenheiten und Rückstände eingesetzter Substrate oder sonstiger Verschmutzungen auf den Anlagen.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22401116, 22401216

4.13 Vermarktung von Gärprodukten außerhalb der Landwirtschaft – Teil einer Strategie für die Reduzierung des Nährstoffdrucks auf Gewässer

Carsten Herbes (HfWU Nürtingen)

Einleitung: Gärprodukte aus Biogasanlagen werden in den letzten Jahren zunehmend im Kontext einer Nährstoffüberfrachtung von Böden und Gewässern gesehen. In der Tat sind die Nährstoffmengen, die jährlich in Form von Gärprodukten die deutschen Biogasanlagen verlassen, ganz erheblich. Wenn man allein die für 2012 geschätzten Gärproduktmengen und ihre Nährstoffgehalte zu Grunde legt und diese den im Geschäftsjahr 2017/18 verkauften Handelsdüngern gegenüberstellt, wird dies überdeutlich: Die Stickstofffracht der deutschen Biogasanlagen entspricht 26 % des Stickstoffs in den abgesetzten Handelsdüngern, bei Phosphor beträgt die Quote sogar 80 % (LUFA Nord-West, 2015; Möller and Müller, 2012; Statistisches Bundesamt, 2018). Dabei gibt es hinsichtlich der Nährstoffversorgung große regionale Unterschiede. Es gilt also, zum einen die Nährstoffe aus den überlasteten Regionen in Regionen zu verbringen, in denen durch ihren Einsatz noch Mineraldünger ersetzt werden kann. Und zum anderen sind Optionen zu finden, wie sie in nicht-landwirtschaftlichen Anwendungen als Ersatz für Mineraldünger eingesetzt werden können.

Für beides ist eine Aufbereitung wichtig. Für die Verbringung über längere Distanzen muss die Transportwürdigkeit der Gärprodukte erhöht werden und für den außerlandwirtschaftlichen Einsatz müssen diese in ein Produkt überführt werden, das von Konsumenten akzeptiert wird. Verbraucher kaufen in der Regel getrocknete Produkte, häufig in der Form von Pellets oder Kügelchen.

Außerdem muss dieses Produkt von einer Kommunikation begleitet werden, die den potenziellen Kunden die ökologischen Vorteile von Gärprodukten deutlich macht. Und schließlich sollten die Anbieter wissen, ob und wie viel die Konsumenten für dieses Produkt mehr zu zahlen bereit sind als für ein Mineraldüngerprodukt. Im Projekt GÄRWERT wurden neben technischen, pflanzenbaulichen und ökologischen Fragen genau diese Marketing-bezogenen Fragen mit einer Konsumentenforschung beleuchtet.

© J. Dahlin

Beispiel eines Gartendüngers auf Gärprodukt-Basis.

Methodik: Aufbauend auf qualitativen Interviews mit Privatgärtnern wurden zwei Online-Choice-Experimente mit jeweils ca. 500 Konsumenten durchgeführt. Ein Experiment prüfte die Präferenzen und Zahlungsbereitschaften der Konsumenten für Düngerprodukte und eines für Gartenerden mit verschiedenen Attributen. Den Probanden wurden in mehreren Runden jeweils drei Produkte mit bestimmten Attributen (z. B. „torffrei", „aus nachwachsenden Rohstoffen") und einem bestimmten Preis präsentiert (Abb. 32). Aus diesen Produkten wählten die Probanden eines aus bzw. entschieden sich dafür, keines der Produkte zu wählen. Aus der Gesamtzahl der Entscheidungen – im Falle der Erden über 6.000 Einzelentscheidungen – wurden anschließend die relative Wichtigkeit bestimmter Attribute sowie die Zahlungsbereitschaften der Konsumenten berechnet.

Ergebnisse: Die Choice-Experimente machen deutlich, dass bei den Verbrauchern für die umweltfreundlichen Attribute von Düngern und Gartenerden auf Basis von Gärprodukten z. T. erhebliche Mehrzahlungsbereitschaften bestehen. Abbildung 33 verdeutlicht die Mehrzahlungsbereitschaft an einem Beispiel. So erzielt eine Universalerde einer Handelsmarke, die nicht mit den Attributen „bio", „torffrei" und „ohne Guano" aufwarten kann und für die die Herkunft aus einer Biogasanlage offengelegt wird (Produkt 1) über alle Kunden im Mittel nur eine Zahlungsbereitschaft von 4,54 Euro pro 40-Liter-Sack. Eine Blumenerde einer Premiummarke hingegen, die die Labels „bio", „torffrei" und „ohne Guano" trägt und deren Herkunft mit „aus nachwachsenden Rohstoffen" beschrieben wird, die also positive Umweltwirkungen aufweist (Produkt 2), ist den Kunden 7,81 Euro pro Sack wert. Der Unterschied zwischen beiden Produkten beträgt 3,27 Euro, mithin kann der Anbieter einen Aufpreis von 72 % gegenüber dem Basisprodukt erzielen.

Wenn Sie einen Blumengarten hätten, welchen Dünger würden Sie erwerben?

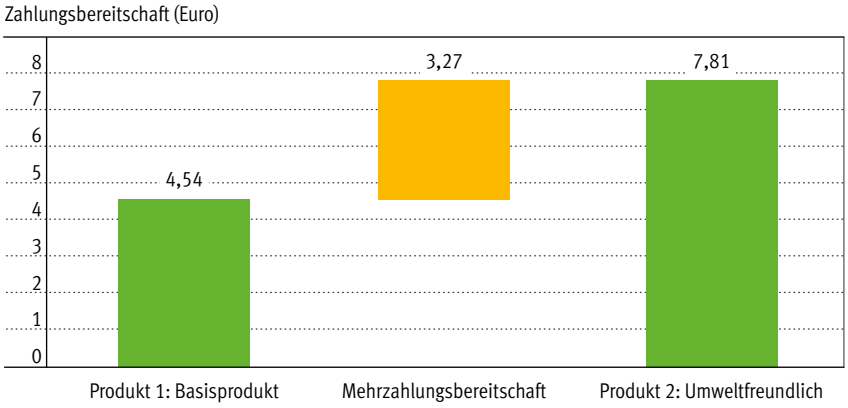
Dazu stellen wir Ihnen verschiedene Alternativen vor, aus denen Sie wählen können.
Die einzelnen Eigenschaften der Produkte ändern sich. Bitte treffen Sie eine Auswahl.

Produktbezeichnung	Blumendünger	Universaldünger	Blumendünger	Keinen dieser Dünger
Marke	Eigenmarken der Bau- und Gartenmärkte z. B. Obi, Toom	Mittelklasse-Marken z. B. Gartenkrone, Floraself	Premiummarken z. B. Compo, Neudorff	
Label	–	Bio	–	
Nährstoffgehalte (NPK)	8 – 6 – 7	4 – 2 –3	12 – 10 –11	
Rohstoff	mineralisch	organisch	mineralisch	
Preis	6 €	12 €	9 €	
	○	○	○	○

© 2011 by TNS Infratest

Abb. 32: Beispielfrage aus den Choice-Experimenten

MEHRZAHLUNGSBEREITSCHAFT FÜR EINE GARTENERDE EINER PREMIUMMARKE MIT POSITIVEN UMWELTEIGENSCHAFTEN



Quelle: HfWU Nürtingen

© FNR 2020

Abb. 33: Mehrzahlungsbereitschaft für eine Gartenerde einer Premiummarke mit positiven Umwelteigenschaften

Auch die Mehrzahlungsbereitschaft für bestimmte Eigenschaften im Einzelnen kann aus den Experimenten ermittelt werden: Bei Betrachtung aller Kunden ohne Differenzierung nach Kundengruppen ist die Zahlungsbereitschaft für ein Erdenprodukt, das das Attribut „aus nachwachsenden Rohstoffen" trägt, um 2,21 Euro pro 40-Liter-Sack höher als für ein Produkt, das explizit auf die Biogasherkunft hinweist. Dabei bewegt sich die Mehrzahlungsbereitschaft je nach Kundengruppe zwischen 4 Euro für die „Rohstoffsensiblen Premiummarken-Kunden" und nur 0,21 Euro für die „preissensitiven Kunden". Wichtig für die Biogasanlagen ist auch, dass sowohl die Bezeichnung „aus nachwachsenden Rohstoffen" als auch die Bezeichnung „aus fermentierten Reststoffen" bei allen Kunden Mehrzahlungsbereitschaften gegenüber der Bezeichnung „aus Reststoffen einer Biogasanlage" auslösen. Die Ergebnisse zeigen damit, dass die Biogasherkunft von den Kunden nicht positiv bewertet wird, wohingegen der Hinweis „aus nachwachsenden Rohstoffen" eine positive Zahlungsbereitschaft auslöst. Deutlich wird, dass es bei der Vermarktung neuer Gärprodukte nicht nur auf Qualitätseigenschaften ankommt, sondern auch auf die richtige Vermarktungsstrategie.

In weiteren Auswertungen wurden die Aussagen der Probanden auf Basis ihrer Antworten zum Umweltbewusstsein in Gruppen

eingeteilt. Hier wurde deutlich, dass umweltbewusste Kundengruppen mit hohen Mehrzahlungsbereitschaften auf Attribute wie „torffrei“, „aus nachwachsenden Rohstoffen“ oder „bio“ reagieren. Es gibt aber auch besonders preisbewusste Kundengruppen, die nicht bereit sind, für umweltfreundliche Dünger und Gartenerden aus Gärprodukten mehr auszugeben. Von daher muss ein Anlagenbetreiber, der selbst vermarktet oder auch ein Erdenhersteller, der Gärprodukte einsetzt, sich genau überlegen, auf welche Marktsegmente er sich konzentrieren will oder ob er einen breiten Ansatz wählt. Weitere Analysen haben gezeigt, dass die Zahlungsbereitschaften auch danach differieren, über welche Kanäle die Kunden Erden auf Gärproduktbasis erwerben: Kunden, die im Supermarkt kaufen, haben nur geringe Mehrzahlungsbereitschaften für umweltfreundliche Eigenschaften, Kunden, die direkt an einer Kompostanlage kaufen, dagegen oft eine hohe.

Fazit: Die Aufbereitung von Biogas-Gärprodukten bietet die Chance, deren Transportwürdigkeit zu erhöhen, sie aus nährstoffreichen Regionen zu verbringen und sie außerdem an Gruppen außerhalb der Landwirtschaft zu vermarkten. Die empirischen Untersuchungen im Projekt GÄRWERT haben gezeigt, dass die umweltfreundlichen Attribute von Gärprodukten bei den Konsumenten Mehrzahlungsbereitschaften verursachen. Es bestehen also gute Marktchancen für aufbereitete Gärprodukte. Neben den potenziellen positiven Umweltwirkungen einer solchen Vermarktung bietet diese für Biogasanlagen auch die Chance, heute gezahlte Transport- und Ausbringungskosten zu verringern bzw. Zusatzeinkünfte zu erzielen. Natürlich kann eine Vermarktung außerhalb der Landwirtschaft nur ein Teil der Lösung für die heutigen Verwendungsprobleme bei Biogasgärprodukten sein. Der Einsatz in der Landwirtschaft wird auch in der Zukunft ein wichtiger Verwendungspfad bleiben.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22402312

4.14 Potenziale zum Gewässer- und Klimaschutz in Energiepflanzenfruchtfolgen

Christine von Buttlar (IGLU Göttingen)

Einleitung: Viele Maßnahmen zum Gewässerschutz haben auch positive Effekte auf den Klimaschutz. Denn die Treibhausgase Kohlendioxid (CO_2) und Lachgas (N_2O) entstehen als Nebenprodukte der biologischen Umsetzung von Kohlenstoff und Stickstoff in landwirtschaftlichen Böden genauso wie Nitrat und gelöste organische Verbindungen, die auch für den Gewässerschutz relevant sind. Wie auch beim Gewässerschutz lassen sich Treibhausgasemissionen wesentlich, aber nicht vollständig durch Bewirtschaftungsmaßnahmen steuern. Eine diversifizierte und standortangepasste Fruchtfolgegestaltung, einhergehend mit einem moderaten, auf Ertragssicherheit ausgerichteten Düngeregime sind wirksame Instrumente, um Nit-

ratüberschüsse und damit negative Umwelteffekte für das Grundwasser und das Klima vermeiden. Ein zentraler Baustein ist der effiziente Einsatz der Stickstoffdünger. Die Verminderung ertragsunwirksamer Nährstoffüberschüsse bedeutet automatisch auch weniger Verluste an Ammoniak (NH_3) und Lachgas (N_2O). In Praxisversuchen des Verbundvorhabens EVA aus den Jahren 2011–2015 wurden verschiedene gewässerschutzorientierte Energiepflanzenfruchtfolgen im Hinblick auf die Reduzierung des N-Auswaschungsrisikos sowie die THG-Emissionen (Fokus Düngung) und die Humussalden bewertet.

Methodik: Auf einem niedersächsischen Biogasbetrieb, der in einem WRRL-Beratungsgebiet wirtschaftet, wurden über fünf Jahre Praxisversuche zum grundwasserschonenden Anbau mit unterschiedlichen Energiepflanzen durchgeführt. Die Düngung erfolgte sowohl betriebsüblich als auch mit reduzierten Stickstoffgaben. Gärreste wurden mit 70 % Mineraldüngeräquivalent angerechnet und der Frühjahrs-N_{min} Wert in 0–90 cm Bodentiefe in Abzug gebracht. Der Betrieb hat sich intensiv mit dem Anbau von Untersaaten in Mais und in GPS-Getreide befasst und die Anlage der Versuchsflächen in Arbeitsbreite realisiert. Begleitet wurde die Maßnahme analytisch durch regelmäßige N_{min}-Beprobungen im Laufe der Vegetationszeit und vor Winter, sowie durch Blattmessungen (Nitracheck), Ertragserfassungen und nachträgliche Berechnung des Hektarmethanertrags. Weiter wurden N-Flächenbilanzen und die potenzielle Sickerwasserkonzentration berechnet. Außerdem wurden in einem vereinfachten Ansatz die aus der Düngung stammenden Treibhausgasemissionen (THG) je Hektar und je Dezitonne Trockenmasse berechnet.

Ergebnisse: Tabelle 7 stellt die untersuchten Fruchtfolgebeispiele und ihre Umweltleistungen dar. Die Fruchtfolgen umfassen fünf Anbaujahre. Angegeben wird die zu erwartende Wasserschutzleistung (Herbst-N_{min}), die Humuswirkung, die Ertragsleistung und potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser für eine Löß-Parabraunerde (Ut3) im Mittel der Fruchtfolge. Als Referenz wurde der Maisanbau in Selbstfolge (F1) dargestellt. Die Fruchtfolgen F2 bis F5 berücksichtigen weiterhin den Maisanbau, zeichnen sich jedoch durch eine zunehmende Diversifizierung sowie die Reduktion des N-Düngeniveaus von 200 bis auf 135 kg N/ha aus. Als zusätzliche Fruchtfolgeglieder wurden Winterroggen GPS, Ackergras, Gräseruntersaat in Mais sowie Zuckerrüben und Sorghum getestet.

Deutlich wird in allen Optimierungsbeispielen, dass eine angepasste Düngung, die Einbindung von Untersaaten und die Erhöhung des Gräser- bzw. des Getreideanteils in der Fruchtfolge grundwasserschonend wirken. Wenn wie auf diesem Standort, der bereits seit mehreren Jahren organisch mit Gärsubstrat gedüngt wird, von einer guten bodenbürtigen N-Nachlieferung ausgegangen werden kann, sind auch bei reduzierter Gärrestgabe nur geringe Ertragsrückgänge zu verzeichnen.

Gleichzeitig kann durch eine stärkere Anrechnung des Gärrestes bzw. die Reduktion des Düngeniveaus bei nahezu stabilen Erträgen ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet wer-

TAB. 7: BEISPIELE FÜR ENERGIEPFLANZENFRUCHTFOLGEN UND BEWERTUNG DER GRUNDWASSER-, BODEN- UND KLIMASCHUTZSCHUTZLEISTUNG

Niedersächsische Versuchsergebnisse 2011–2015

Parameter	Jahr/ Einheit	Fruchtfolge				
		1 (Referenz)	2	3	4	5
	1	Mais 200	WR-GPS + Zwfr	WR + AG+ 1S	WR + AG+ 1S	WR-GPS + Zwfr
	2	Mais 200	Mais 200 + US	Mais 160 + US	Mais 160 + US	Mais 135 + US
	3	Mais 200	Mais 200 + US	Mais 160 + US	Sorghum	ZR
	4	Mais 200	WR-GPS + Zwfr	WR + AG + 1S	WR-GPS + Zwfr	WR-GPS + Zwfr
	5	Mais 200	Mais 200 + US	Mais 160 + US	ZR	Mais 135 + US
TM-Ertrag	dt TM/ha	179	168	176	160	165
Methanertrag	m^3/ha	5.293	4.923	5.130	4.595	4.829
Humus	HÄ/ (ha*Jahr)	–464	–70	–40	–155	–159
N-Bilanz	kg N/ha	–9	–6	27	26	–12
Herbst-N_{min}	kg N_{min}/ha	77	39	30	38	28
Potenz. Nitratkonzentration[1]	mg NO_3/l Ut3	86	44	34	43	31
$CO_{2\ Äqu.}$ Fläche	kg CO_2/ha	1.344	686	531	669	487
$CO_{2\ Äqu.}$ Produkt	kg CO_2/dt TM	7,5	4,0	3,0	4,7	2,9

Quelle: von Buttlar et. al. 2016

US = Untersaat, WR = Winterroggen, AG = Ackergras, Zwfr. = Zwischenfrucht, GPS = Ganzpflanzensilage, ZR = Zuckerrübe; Zahl = N-Gabe inkl. N_{min}

[1] *rechnerische Nitratkonzentration im Sickerwasser ohne Denitrifikation.*

den. Die aus Grundwasserschutzsicht wichtigen Maßnahmen sind auch im Hinblick auf die Humusbilanz positiv zu werten. Nicht dargestellt ist hier die Erosionsanfälligkeit der Fruchtfolgen mit Blick auf den Oberflächengewässer- und Bodenschutz, aber auch hier können durch die Erhöhung des Gäseranteils in der Fruchtfolge deutliche Verbesserungen erzielt werden. Die Berechnung der potenziellen Sickerwasserkonzentration (ohne Verluste durch Denitrifikation o. ä.) macht deutlich, dass mit einer angepassten Düngung und einer Erweiterung des Kulturartenspektrums um Gräser, Getreide-GPS oder Zuckerrüben Nitratkonzentrationen unterhalb des Grenzwertes von 50 mg NO_3/l möglich sind. Je nach Standort und Sickerwasserspende können die Werte jedoch variieren (von Buttlar et. al. 2017).

Grasuntersaat in Getreide

Fazit: Anhand von Praxisversuchen konnte gezeigt werden, dass durch eine Erhöhung des Gräseranteils sowie durch die Einbindung von Getreide für die Ganzpflanzennutzung und Untersaaten Maisfruchtfolgen aufgelockert und grundwasserschonend weiterentwickelt werden können. In Abhängigkeit vom Standort ist dies bei nahezu stabilen Erträgen möglich, vor allem, wenn es sich um langjährig organisch gedüngte Flächen handelt. Ein zunehmender Gräseranteil in der Fruchtfolge mit zunehmend ganzjähriger Bodenbedeckung wirkt positiv auf die Humusbilanz und reduziert zudem das Erosionsrisiko. Der effiziente Umgang mit Stickstoff durch eine verbesserte Anrechnung der Gärrückstände in der Düngeplanung sowie durch die Reduktion der Düngemenge und damit die Einsparung von Mineraldünger führt nicht nur zu niedrigeren Herbst-N_{min} Werten und einem verminderten N-Auswaschungsrisiko, sondern reduziert auch die Treibhausgasemissionen.

Abschlussbericht
www.fnr.de/projektfoerderung
Förderkennzeichen 22006112

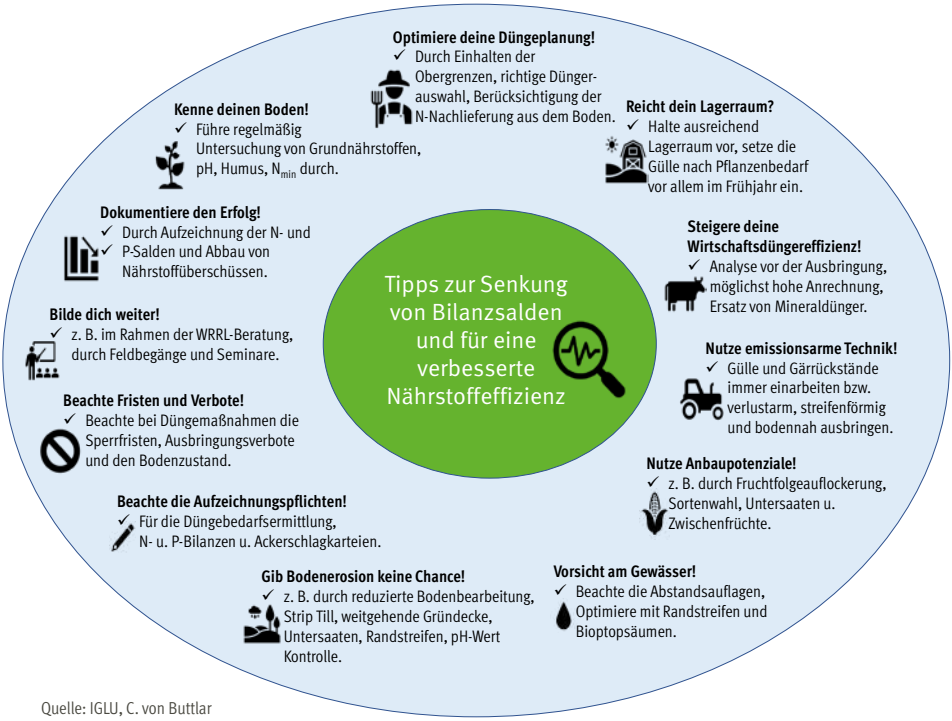
4.15 Tipps zur Steigerung der N- und P-Effizienz

Christine von Buttlar, Carsten Meyer (IGLU Göttingen)

Durch die geänderten politischen Rahmenbedingungen hat sich der Druck auf die Landwirtschaft beim Einsatz von stickstoffhaltigen Düngern stark erhöht. Deutliche Verbesserungen bei der Nährstoffeffizienz sind gefordert, insbesondere in Gebieten, in denen zu hohe Nitratgehalte in den Grundwassermessstellen nachgewiesen werden. Die Erfahrungen der vergangenen Jahre in Wasserschutzgebieten und gefährdeten Gebieten nach Wasserrahmenrichtlinie haben gezeigt, dass vielfältige Möglichkeiten zur Optimierung der Nährstoffeffizienz vorhanden sind und häufig nicht nur das Risiko von Nährstoffauswaschung reduziert, sondern auch Erträge stabilisiert und Düngekosten gesenkt werden können.

Klar ist aber auch, dass für ein erfolgreiches gewässerschonendes Wirtschaften ein Umdenken in den Bereichen Düngeplanung, Erfassung der Nährstoffdynamik im Boden, Nährstoffanalytik und bei den technischen Lösungen notwendig ist.

Die folgende Abbildung 34 zeigt eine Übersicht von Tipps zur Senkung von Bilanzsalden und Auswaschungsverlusten durch den optimierten Einsatz von N- und P-haltigen Düngern. Künftig immer wichtiger wird der Faktor Boden, nicht nur als Nährstoff-, sondern auch als Wasserspeicher. Fallen Spielräume für Reparatur- oder Sicherheits-



Quelle: IGLU, C. von Buttlar

Abb. 34: Tipps zur Senkung von N- und P-Bilanzsalden und für eine verbesserte Nährstoffeffizienz

düngegaben weg, kommt es drauf an, dass der Boden eine maximale Nährstoffnachlieferung ermöglicht, diese bei der Düngeplanung angerechnet wird und so zur maximalen Ertragssicherheit bei gleichzeitig minimalen N-Überhängen beiträgt. Durch die Messung der N-Nachlieferung aus dem Boden (z. B. N_{min}) wie auch vegetationsbegleitende Untersuchungen der N-Versorgung der Bestände (z. B. Yara-N-Tester, Nitracheck) können hier die erforderlichen Informationen gewonnen werden.

Interessante Optimierungspotenziale bestehen beim Einsatz organischer Dünger, insbesondere bei Gülle und Gärrückständen (siehe auch Kap. 4.3 und 4.4). Voraussetzung für den bedarfsgerechten und grundwasserschonenden Wirtschaftsdüngereinsatz sind ausreichender Lagerraum sowie eine Begrenzung der Zufuhr organischer Dünger unterhalb der ordnungsrechtlichen Obergrenze von 170 kg Gesamt-N_{org}/ha. Weiter kommt es auf eine dem Nährstoffgehalt sowie der erwarteten N-Verfügbarkeit angepasste Anrechnung der Nährstoffe bei der Düngeplanung an. Erfahrungen zeigen, dass gerade auf langjährig organisch gedüngten Standorten die N-Nachlieferung aus der organischen Düngung hoch ist. Wird dieser Stickstoff beim Mineraldünger eingespart, schont das das Grundwasser und den Geldbeutel. Experten sehen hier landesweit eine der wichtigsten Stellschrauben zur Ver-

besserung der nitratbezogenen Grund- und Oberflächengewässerqualität (UBA 2019). Die N-Verfügbarkeit aus organischen Düngern ist durch den Einsatz emissionsarmer Ausbringungstechnik noch zu steigern, z. B. durch den Einsatz von Schleppschuh bzw. Injektionstechniken. Auch die Gülle-Unterfußdüngung zu Mais mit entsprechender Substitution von Mineraldünger hat sich in der Praxis bewährt.

Im Hinblick auf die Reduzierung von P-Verlusten stehen zudem Maßnahmen zur Vermeidung von Bodenerosion im Mittelpunkt. Hierzu gehören z. B. reduzierte Bodenbearbeitung, Strip Till-Verfahren, Arbeiten quer zum Hang, Anlage von Gewässerrandstreifen, Reduktion von Reihenabständen z. B. beim Mais, Etablierung von Untersaaten, die Stabilisierung der Bodenstruktur durch optimierte Kalkung und eine Überprüfung der P-Düngung, insbesondere beim Einsatz organischer Nährstoffträger.

In den folgenden tabellarischen Übersichten findet sich nach Handlungsfeldern sortiert eine Liste wichtiger Einzelmaßnahmen zur Steigerung der N- und P-Nährstoffeffizienz.

TAB. 8: ÜBERSICHT MÖGLICHER MASSNAHMEN ZUR VERMEIDUNG VON NÄHRSTOFFÜBERSCHÜSSEN FÜR STICKSTOFF (N) UND PHOSPHOR (P)

sowie zur Steigerung der Nährstoffeffizienz. X = Maßnahmenwirkung vorhanden

Maßnahmenübersicht	**Abbau von Überschüssen oder Steigerung der Effizienz von …**	
a. Genaue Kenntnis des Bodens und seiner Nährstoffdynamik	**N**	**P**
Regelmäßige Grundnährstoff-, pH-Wert- und Humusuntersuchungen.	X	X
Beachtung des Frühjahrs-N_{min}-Wertes bzw. beim Mais des Spät-Frühjahrs-N_{min} Wertes eigener Flächen.	X	
Messen des Nachernte-N_{min} von Raps- und Getreideflächen zum Zwischenfruchtanbau und Abschätzung der Notwendigkeit einer N-Düngung.	X	
Messen der N-Gehalte aus dem Biomasseaufwuchs von Zwischenfrüchten zur Erfassung des N-Nachlieferungspotenzials aus Ernterückständen.	X	
Messen des Nachernte-N_{min}-Wertes zur Kontrolle der Düngestrategie und des Herbst-N_{min}-Wertes zur Abschätzung des potenziellen Nitratverlagererungsrisikos über Winter.	X	
Vermeiden von Bodenerosion z. B. durch reduzierte Bodenbearbeitung, Untersaaten im Mais, Anpassung der Bearbeitungsrichtung, Fruchtartenwahl, Kalkung, Verzicht auf Strohabfuhr.	X	X

Maßnahmenübersicht	Abbau von Überschüssen oder Steigerung der Effizienz von …	
b. Optimierung des Gärrest- bzw. Wirtschaftsdüngereinsatzes	**N**	**P**
Analyse von Gärrückständen, Gülle und Mist vor jeder Ausbringung und entsprechende Anrechnung des Düngewertes bei der Düngeplanung.	X	X
Überprüfung des Mineraldüngeräquivalents der organischen Dünger. Auf langjährigen Wirtschaftsdüngerstandorten kann die N-Nachlieferung deutlich höher als der Mindestwert nach DüV sein.	X	
Vorhalten von ausreichendem Lagerraum, um pflanzenbedarfsgerecht Düngen zu können.	X	X
Einsatz emissionsarmer Ausbringtechnik, z. B. Einsatz von Schleppschuh bzw. Injektortechnik bzw. weitere Maßnahmen zur direkten Einarbeitung durch Grubber oder Scheibeneggen direkt am Ausbringungsgerät.	X	X
Einsatz von Strip Till-Verfahren in Mais, ggf. mit Gülleunterfußdüngung.	X	**X**
Innovative Maßnahme: Gülleansäuerung (Syre N-System), dadurch Vermeidung von Geruch und Ammoniak-Verlusten und höhere N-Anrechnung.	X	
Innovative Maßnahme: Einsatz der NIRS-Technik (Nah-Infrarot-Technik), dadurch genauere Erfassung von N- und P-Gehalten bei der Ausbringung.	X	X

c. Optimierung des Mineraldüngereinsatzes	N	P
Bei Mineraldüngereinsatz Beachtung der technischen Merkblätter zu Inhaltsstoffen und Korngrößenverteilung.	**X**	**X**
Einsatz von P-reduzierten Mehrnährstoffdüngern bei P-Überschüssen.		**X**
Einsatz möglichst homogener Dünger mit geringer Streuung der Korngrößenverteilung und geringem Staubanteil.	**X**	
Verzicht auf den Einsatz staubförmiger Kalkdünger.	**X**	
Düngerstreuercheck zur Verbesserung der Querverteilung.	**X**	
Innovative Maßnahme: Einsatz von Precision Farming Technologien, z. B. für die teilflächenspezifische Mineraldüngung.	**X**	
Einsatz des N-Testers in Getreidekulturen bzw. Nitracheck in Mais zur Anpassung weiterer N-Düngegaben an die Nachlieferung aus dem Boden.	**X**	

d. Optimierung der Düngeplanung und Erfolgskontrolle	N	P
Standortbezogene Überprüfung der Vorgaben der DüV und Berücksichtigung reeller Nachlieferungen aus Zwischenfrüchten und Boden bei der Düngeplanung.	**X**	**X**
Erstellung einer Düngeplanung unter Verwendung standortbezogener, aktueller Daten (z.B. Inhaltsstoffe aus Gärresten, Anrechnungsfaktoren organischer Dünger, Ertragserwartung etc.).	**X**	**X**

Maßnahmenübersicht	Abbau von Überschüssen oder Steigerung der Effizienz von …	
Führen einer Schlagkartei und Berechnung der Schlagbilanzen mit dem Ziel des Abbaus von Nährstoffüberschüssen.	X	X
Weiterführende Kontrolle der Nährstoffströme durch Erstellung einer Stoffstrombilanz (bzw. Hoftorbilanz) z. B. in WRRL-Kulissen durch die Wasserschutzberatung.	X	X

e. Weitere Anbaumaßnahmen, insbesondere zum optimierten P-Einsatz	N	P
Erosionsvermeidung durch Mulchsaat bzw. Direktsaatverfahren.		X
Erosionsvermeidung und Nährstoffbindung durch Untersaaten in Mais.	X	X
Anlage von Windschutzstreifen.		X
Umwandlung von Acker in Grünland auf Grenzsstandorten.	X	X
Keine P-Düngung auf moorigen Standorten und auf Standorten in den Bodengehaltsklassen D + E.		X

Fazit: Die Erfahrungen aus den Bereichen Wasserschutz und Wasserrahmenrichtlinienberatung zeigen, dass aus dem genannten Portfolio an Möglichkeiten ein individuelles Konzept je nach Betrieb zu entwickeln ist. Nicht alle Maßnahmen können und müssen gleichzeitig umgesetzt werden. Schwerpunkte sind herauszufinden und möglichst kurzfristig anzugehen, bestenfalls mit Unterstützung der Wasserschutzberatung. Die Erfolge werden z. B. in den Nährstoffbilanzen schnell sichtbar. Der Effekt in den Messstellen wird dagegen erst langfristig deutlich. Nur mit einem Mehr an Informationen, einer verbesserten Planung und optimierter Technik wird eine Steigerung der N- und P-Effizienz gelingen. Die Werkzeuge dazu sind vorhanden.

5 AUSBLICK

Energiepflanzen und Anbausysteme: Der Energiepflanzenanbau bietet Chancen zur Integration neuer Kulturen in die Fruchtfolgen und damit zur Diversifizierung. Silomais als bekanntermaßen ertragsstarke Kultur mit hoher züchterischer Adaption an unsere Anbauregionen ist die derzeit wichtigste Biogaskultur. Wird sie im Wechsel mit Winterungen, z. B. Getreiden zur Ganzpflanzenernte, weiteren Sommerungen, z. B. Zuckerrüben oder Hirsen oder auch im Wechsel mit Ackergräsern und Zwischenfrüchten angebaut, so lässt sich eine Fruchtfolge mit ausgewogener Humusbilanz und höherer Wasserschutzleistung erreichen. Sorghumarten haben insbesondere auf den ostdeutschen Trockenstandorten ähnlich gute Ertragsleistungen und ähnliche Herbst-N_{min}-Werte wie Mais gezeigt. Zuckerrüben eignen sich dagegen in den typischen Rübenregionen zum Einsatz als Biogassubstrat und weisen zudem niedrige Herbst-N_{min}-Werte auf.

Erosionsschäden und Nährstoffausträgen kann durch eine grundwasserschonende Fruchtfolgegestaltung mit Anteilen an Getreide-GPS, Ackergräsern und ganzjähriger Bodenbedeckung vorgebeugt werden. Aus Gewässerschutzsicht interessant ist der Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten. Sie verbessern nicht nur die Humusbilanz und mindern das Erosionsrisiko, sondern sie nehmen überschüssigen Stickstoff nach der Ernte der Hauptfrucht auf, speichern ihn über Winter in der Wurzelmasse und stellen ihn im Frühjahr zur Folgekultur wieder zur Verfügung.

Neue Dauerkulturen wie die Durchwachsene Silphie und Wildpflanzenmischungen bieten aufgrund ihrer Mehrjährigkeit bei angepasstem Düngeniveau ebenfalls interessante Potenziale für den Gewässerschutz.

Düngemanagement und Ausbringungstechnik: Eine wesentliche Voraussetzung in Bezug auf die Vermeidung von N-Verlusten ist die möglichst genaue Kenntnis des Nährstoffbedarfs der unterschiedlichen Kulturarten unter Berücksichtigung der Ertragserwartung. Ziel ist es, optimale Ertragsleistung mit gezielter Düngung zu erreichen. Gärreste sind wesentliche Bestandteile der Düngung in Biogasbetrieben. Ein effizienter Einsatz ist nicht nur aus Kostengründen, sondern auch zur Erfüllung der schärferen Vorgaben der novellierten Düngeverordnung im Hinblick auf die Vermeidung von Nährstoffausträgen von Bedeutung. Die sich durch den emissionsarmen Einsatz von Wirtschaftsdüngern ergebenden Potenziale zur Einsparung von Mineraldüngern sollten konsequent genutzt werden. Auch die N-Nachlieferung langjährig organisch gedüngter Böden wird bei der Düngeplanung künftig stärker Berücksichtigung finden.

Um trotz reduzierter Düngung noch sichere Erträge zu erzielen, bietet sich ein verstärkter Einsatz vegetationsbegleitender Instrumente zur Beurteilung des Versor-

gungszustandes der Pflanzen, wie z. B. Spätfrühjahrs-N_{min}, Hydro-N-Tester oder Nitracheck an. Weitere Potenziale zur verbesserten Nährstoffausnutzung können durch den Einsatz von Zusätzen wie z. B. N-Stabilisatoren erwartet werden. Auch der Einsatz von NIRS-Technologie (Nahinfrarotspektroskopie) zur Erfassung der Nährstoffgehalte im Güllefass und GPS-Unterstützung bei der Ausbringung sowie Schlitz- und Injektionstechniken bieten künftig noch Optimierungspotenziale für einen effizienten und verlustarmen Gärresteinsatz.

Aktuelles Wissen zur Gärrestverwertung bietet u. a. die FNR-Fachtagung „Pflanzenbauliche Verwertung von Gärrückständen aus Biogasanlagen“ (Gülzower Fachgespräche Band 51, FNR 2015; Band 57, FNR 2018). Die 4. Fachtagung dieser Reihe ist für den 15.09.2020 in Berlin geplant (Infos auf biogas.fnr.de).

Erosionsvermeidung und Schutz der Oberflächengewässer: Im Hinblick auf die Oberflächengewässer gilt es, den Bodenabtrag durch Erosion und damit den P-Austrag zu reduzieren. Möglichkeiten zur gewässerschonenden Optimierung bestehen im Einsatz von Techniken zur reduzierten Bodenbearbeitung. Der Einsatz von Mulchsaatverfahren und Engsaattechnik ist beispielsweise bei Reihenkulturen wie Mais schon weit verbreitet. Die Etablierung einer ganzjährigen Gründecke durch Untersaaten und Zwischenfrüchte ist ebenfalls als Maßnahme zur Erosionsvermeidung geeignet. Ergänzend können erosions- und eintragsmindernd

Grünstreifen oder Kurzumtriebsplantagen an Fließgewässern angelegt werden, deren Aufwüchse zudem energetisch nutzbar sind.

Für im Bereich der Fahrsilos und versiegelten Flächen von Biogasanlagen anfallende organisch belastete Oberflächenwässer sind technische Lösungen entwickelt worden, die eine Einleitung des gereinigten Wassers in den Vorfluter bei Einhaltung der Grenzwerte ermöglichen und eine kostengünstige Alternative zur Ausbringung darstellen (z. B. FlexBio).

Aufbereitung und Vermarktung von Gärresten: Neue Verwertungswege tragen zur Entlastung bei Nährstoffüberschüssen bei. Entwicklungspotenzial besteht bei der Aufbereitung von Gärresten mit dem Ziel, die Transportwürdigkeit zu steigern und die Wertigkeit des Düngers zu erhöhen. Vielfach umgesetzt wird die Separation von Gärresten in die flüssige und feste Phase. Für größere Biogasanlagen kann z. B. auch die Vakuumverdampfung und Erzeugung von Ammoniumsulfatdünger (ASL) eine interessante Perspektive bieten. Durch den Export von Nährstoffen in marktfruchtgeprägte Regionen oder durch Vermarktungswege außerhalb der Landwirtschaft z. B. über Gartenmärkte können künftig regionale Nährstoffbilanzüberschüsse reduziert und Zusatzeinkünfte generiert werden.

Wasser- und Klimaschutz im Energiepflanzenanbau: Die Landwirtschaft ist nicht nur beim Gewässerschutz, sondern auch beim Klimaschutz zunehmend gefordert, ihren Beitrag zu leisten. Stärkere regionale Klimaschwankungen, gekennzeichnet durch einen Anstieg der Vorsommertrockenheit und wärmere Winter, erfordern zunehmend eine Anpassung der Anbausysteme, um auch künftig die Ertragsleistungen zu sichern. Vielfach wird eine stärkere Anbaudiversifizierung als Möglichkeit der Risikominimierung angestrebt. Das Risiko von Stoffausträgen in das Grundwasser und die Oberflächengewässer wird durch den Anstieg der Erosionsrisiken und Ertragsschwankungen voraussichtlich zunehmen. Der Energiepflanzenanbau hat hier große Potenziale. Er bietet ein breites Spektrum

möglicher Kulturen und Anbausysteme; eine geschickte Auswahl aus dieser Palette und eine Abkehr von reinen Maisfruchtfolgen kann Treibhausgasemissionen verringern und gleichzeitig dem Gewässerschutz dienen. Das gilt auch für eine angepasste Düngung – Klima- und Gewässerschutz sind zwei Seiten einer Medaille. Ein umweltoptimierter Energiepflanzenanbau hat damit einen dreifachen Nutzen: Er schont das Klima durch den Ersatz fossiler Rohstoffe, er schont es durch reduzierte Emissionen im Anbau und er schützt die Gewässer.

Monitoring der Gewässerschutzleistung: Um die Gewässerschutzleistung von Anbausystemen bewerten zu können, bedarf es des Einsatzes von Monitoringsystemen. Dies gilt für alle Formen der landwirtschaftlichen Nutzung gleichermaßen. Wichtige Bausteine sind die Stickstoff- und Phosphatbilanzen auf Schlag- und Betriebsebene, wobei ausgeglichene Bilanzen mit niedrigen Überschüssen einen wesentlichen Indikator für grundwasserschonendes Wirtschaften darstellen. Analytische Begleitparameter wie der Herbst-N_{min}-Wert geben Aufschluss über den noch vor Winter potenziell verlagerbaren Stickstoff im Boden und bilden Standortverhältnisse, Jahreswitterung und unterschiedliche Anbauverfahren zusätzlich mit ab. Aus Sicht des Wasserschutzes muss es das Ziel sein, den Rest-N_{min} vor Winter möglichst gering zu halten. Sollen mehrjährige Effekte im Boden und oberflächennahen Grundwasser abgebildet werden, können je nach Fragestellung Nitrat-Tiefenprofile, der Einsatz von Saugkerzen oder oberflächennahen Grundwassermessstellen sinnvolle Methoden sein. Diese Instrumente erlauben ein zielgenaues Wirtschaften unter Berücksichtigung der Standortgegebenheiten, Ertrags- und Umweltziele. Im Hinblick auf die diskutierte stärkere standörtliche Binnendifferenzierung bei der Umsetzung der Düngeverordnung wird dem Anbau- sowie dem Nitratmonitoring künftig noch größere Bedeutung zukommen.

6 ANHANG

6.1 Literaturverzeichnis

Die **Abschlussberichte** zu den in dieser Broschüre vorgestellten Ergebnissen finden sich auf **www.fnr.de/projektfoerderung/projektdatenbank-der-fnr** unter den jeweils am Ende der Kapitel angegebenen Förderkennzeichen.

BMEL (2020): Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Umweltbericht im Rahmen der strategischen Umweltprüfung. Änderung des nationalen Aktionsprogramms zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen – Änderung des düngungsbezogenen Teilprogramms (Düngeverordnung). Hrsg.: BMEL, Bonn, 30.01.2020.

BMU, BMEL (2017): Nitratbericht 2016: Gemeinsamer Bericht der Ministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie für Landwirtschaft und Ernährung.

Bundesrat (2020): Drucksache 98/20. Verordnung zur Änderung der Düngeverordnung und anderer Vorschriften. Verordnung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft. Dem Entwurf wurde am 27.03.2020 zugestimmt. Abruf am 08.04.2020 unter: https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2020/0001-0100/98-20.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

Bundestagsdrucksache (2016): Gewässer in Deutschland – Minderungsbedarf Stickstoff, Deutscher Bundestag, 18. Wahlperiode, Drucksache 18/8653. 02.06.2016.

Buttlar von, C. und Willms, M. (2016): Bewertung des Energiepflanzenanbaus für Biogasanlagen vor dem Hintergrund der Anforderungen der europäischen Wasserrahmenrichtlinie. Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berichte über Landwirtschaft, Band 94/Ausgabe 2, August 2016. S. 1–23. ISSN: 2196-5099.

Dahlin, J., Beuthner, C., Halbherr, V., Kurz, P., Nelles, M., Herbes, C. (2019): Sustainable compost and potting soil marketing: Private gardener preferences. Journal of Cleaner Production 208, 1.603–1.612.

DüV (2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung, DüV); vom 26.05.2017.

DVGW (2010): DVGW-Information Wasser Nr. 73: Erzeugung von Biomasse für die Biogasgewinnung unter Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes. Hrsg.: Deutscher Verband des Gas- und Wasserfachs DVGW, Juni 2010.

DWA (2020): Merkblatt DWA-M 907: Erzeugung von Biomasse für die Biogasgewinnung unter Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes, Hrsg.: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef – überarbeitete Fassung in Vorbereitung.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (2020): Entwicklung der Biogasanlagenstandorte in Deutschland. FNR nach DBFZ, Fachverband Biogas e.V. (2018). Abruf am 16.04.2020 unter https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas/anlagenstandorte-biogasproduktion-in-deutschland.html.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (2018): Gewässerschutz mit nachwachsenden Rohstoffen, Steigerung der Gewässerschutzleistung, 1. Auflage 2018, Gülzow-Prüzen.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (2015): Pflanzenbauliche Verwertung von Gärrückständen aus Biogasanlagen. Fachtagung, 10.–11. März 2015, Berlin. Gülzower Fachgespräche Band 51, Gülzow-Prüzen.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (2018): Pflanzenbauliche Verwertung von Gärrückständen aus Biogasanlagen. Fachtagung, 3.–4. Juli 2018, Berlin. Gülzower Fachgespräche Band 57, Gülzow-Prüzen.

Holsten, B., Pfannerstill, M., Trepel, M. (2016): Phosphor in der Landwirtschaft, Management eines begrenzt verfügbaren Nährstoffes. Hrsg.: Institut für Ökosystemforschung, Christian Albrechts-Universität zu Kiel.

LfL (2018): Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Gelbes Heft, Stand 2018. 14. Auflage Januar 2018, Freising-Weihenstephan. Abruf 16.04.2020 unter: https://www.lfl.bayern.de/publikationen/informationen/040117/index.php.

LUFA Nord-West (2015): Umrechnungsfaktoren für Nährstoffe von der Elementform in die Oxidform und umgekehrt. Abruf am 18.05.2020 unter https://www.lufa-nord-west.de/index.cfm/action/downloadcenter.html?n=Boden – „Umrechnungsfaktoren für Nährstoffe".

LWK-Niedersachsen (2020): Landwirtschaftskammer Niedersachsen: Informationen zur Meldepflicht in Bezug auf Wirtschaftsdünger. Abruf am 16.04.2020 unter: www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/74/nav/1587/article/21554.html.

Nitratbericht 2016 (2017): Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft. Hrsg.: BMUB Ref. WR I 3, BMEL Ref. 523.

Möller, K., Müller, T. (2012): Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. Engineering in Life Sciences 12, 242–257.

Statistisches Bundesamt (2018): Produzierendes Gewerbe – Düngemittelversorgung. Wirtschaftsjahr 2017/2018. Abruf am 18.05.2020 unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Publikationen/Downloads-Fachstatistiken/duengemittelversorgung-jahr-2040820187004.pdf?__blob=publicationFile&v=4.

UBA (2017): Umweltbundesamt: FAQs zu Nitrat im Grund- und Trinkwasser. Grundwasserkörper in Deutschland, die aufgrund von Nitratbelastungen in einem schlechten chemischen Zustand sind. Abruf am 16.04.2020 unter: https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/grundwasser/nutzung-belastungen/faqs-zu-nitrat-im-grund-trinkwasser#wie-ist-die-situation-in-deutschland.

UBA (2017): Umweltbundesamt: Ökologischer Zustand der Fließgewässer. Abruf am 30.04.2020 unter: https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/fliessgewaesser/oekologischer-zustand-der-fliessgewaesser#okologischer-zustand-der-flusse-und-bache.

UBA (2018): Umweltbundesamt: Indikator: Ökologischer Zustand der Seen. Abruf am 30.04.2020 unter: https://www.umweltbundesamt.de/indikator-oekologischer-zustand-der-seen#die-wichtigsten-fakten.

UBA (2019): Umweltbundesamt: Ammoniak Emissionen – Entwicklung seit 1990. Abruf am 14.04.2020 unter: https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/ammoniak-emissionen#entwicklung-seit-1990.

UBA (2019): Umweltbundesamt: Stickstoff-Flächenbilanzen für Deutschland mit Regionalgliederung Bundesländer und Kreise – Jahre 1995 bis 2017, Texte 131/2019. Abruf am 28.05.2020 unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-10-28_texte_131-2019_stickstoffflaechenbilanz.pdf

VDLUFA (2014): Verband Deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten: Standpunkt Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Speyer, 07.03.2014. Abruf am 17.04.2020 unter: https://www.vdlufa.de/download/Humus/Standpunkt_Humusbilanzierung.pdf.

6.2 Beteiligte Institutionen

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG)
Arbeitsbereich Natur und Landschaft (ISL2)
An der Steige 15
97209 Veitshöchheim
Tel.: 0931/9801-407
www.lwg.bayern.de

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU)
Neckarsteige 6-10
72622 Nürtingen
Tel.: 07022/201-0
www.hfwu.de

Hochschule Hildesheim/Holzminden/ Göttingen (HAWK)
Fakultät Ressourcenmanagement
Büsgenweg 1a
37077 Göttingen
Tel.: 0551/5032-257
www.hawk-hhg.de

Ingenieurgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt (IGLU)
Bühlstraße 10
37073 Göttingen
Tel.: 0551/54885-21
www.iglu-goettingen.de

Julius Kühn-Institut (JKI) Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde
Bundesallee 58
38116 Braunschweig
Tel.: 0531/596-2318
www.julius-kuehn.de/pb/

Justus Liebig Universität Gießen Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft
Professur für landwirtschaftliche Produktionsökonomik
Senckenbergstraße 3
35390 Gießen
Tel.: 0641/99372-60
www.uni-giessen.de/fbz/fb09/institute/ibae/produktionsoekonomik

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK Nds)
Fachbereich Grünland und Futterbau
Johanssenstraße 10
30159 Hannover
Tel.: 0511/3665-4257
www.lwk-niedersachsen.de

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (LWK NRW)
Zentrum für nachwachsende Rohstoffe (ZNR)
Haus Düsse
59505 Bad Sassendorf
Tel.: 02945/989-144
www.landwirtschaftskammer.de/duesse

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschafts-forschung Müncheberg e. V. (ZALF)
Institut für Landnutzungssysteme
Eberswalder Straße 84
15374 Müncheberg
Tel.: 033432/82-264
www.zalf.de

Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)
Abteilung Rohstoffpflanzen und Stoffflüsse
Schulgasse 18
94315 Straubing
Tel.: 09421/300-210
www.tfz.bayern.de

Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR)
Referat 34 Landwirtschaftliches Versuchswesen und Nachwachsende Rohstoffe
Apoldaer Straße 4
07774 Dornburg-Camburg OT Dornburg
Tel.: 0361/574041-100
www.thueringen.de/th9/tlllr/index.aspx

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)
OT Gülzow, Hofplatz 1
18276 Gülzow-Prüzen
Tel.: 03843/6930-0
Fax: 03843/6930-102
info@fnr.de
www.fnr.de

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier
mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 939
mediathek.fnr.de
FNR 2020

FNR
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.