

GEWÄSSERSCHUTZ MIT NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN



STEIGERUNG
DER GEWÄSSER-
SCHUTZLEISTUNG

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

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

Christine von Buttlar, Michael Dickeduisberg, Maendy Fritz, Tobias Glauert, Jonas Haag,
Johannes Köhler, Peter Kornatz, Birgit Kräling, Janine Müller, Anne-Katrin Prescher,
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
Sofern nicht am Bild vermerkt: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)

Gestaltung/Realisierung

www.tangram.de, Rostock

Druck

www.druckerei-weidner.de, Rostock

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 939

1. Auflage

FNR 2018

GEWÄSSERSCHUTZ MIT NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN



VORWORT

Sehr geehrte Damen und Herren,
fast 60 % der in Deutschland verbrauchten erneuerbaren Primärenergie werden aus Biomasse bereitgestellt. Rund ein Viertel der Bioenergie wird aus Energiepflanzen erzeugt. Im Jahr 2016 wurden auf ca. 2,42 Millionen ha Energiepflanzen angebaut, davon entfielen 1,45 Millionen ha auf Pflanzen für die Biogasproduktion.

Der Schutz der natürlichen Ressourcen Boden und Grundwasser ist für nachhaltige Bioenergie von großem Belang. Dabei geht dieser Aspekt weit über den Anbau von Energiepflanzen für die Biogasproduktion hinaus. Mit dem Anbau spezieller Kulturarten in Trinkwasserschutzgebieten, mit wasserschonenden Produktionsverfahren im Energiepflanzenanbau und mit biologisch schnell abbaubaren Bioschmier- und -kraftstoffen kann diesem Aspekt Rechnung getragen werden. Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) hat bereits im Jahr 2015 einen Förderschwerpunkt „Nachhaltige Erzeugung und Verwertung nachwachsender Rohstoffe unter besonderer Berücksichtigung der Ressource Wasser“ veröffentlicht, in dem die Entwicklung innovativer Konzepte gefördert wird.

Die in dieser Veröffentlichung dargestellten Handlungsempfehlungen für den Gewässerschutz im Energiepflanzenanbau basieren auf Forschungsergebnissen im BMEL-Verbundprojekt „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirt-



schaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“. Angesprochen sind in erster Linie Landwirte, die ihren Energiepflanzenanbau optimieren möchten, sowie Berater, Verbände und Kommunen, die in ihrem Wirkungsbereich den Gewässerschutz verbessern wollen. Neben einer Einführung in das Wasserschutz- und Düngerecht von EU bzw. Deutschland erhalten Sie Hinweise zu Möglichkeiten der Fruchtfolgegestaltung, zu Untersaaten und Zwischenfrüchten sowie Empfehlungen für den Anbau von Dauerkulturen. Des Weiteren gibt Ihnen die Broschüre Informationen zur bedarfsgerechten Gärrest- und Stickstoffdüngung.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Andreas Schütte', written in a cursive style.

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

INHALT

1	Einleitung	4
2	Wasserschutz in der landwirtschaftlichen Praxis – wichtige Bausteine der aktuellen Rechtslage	6
2.1	Novellierte Düngeverordnung und Düngegesetz – neue Vorgaben zum Umgang mit Düngemitteln	9
2.2	Weitere Verordnungen im Hinblick auf den Umgang mit Wirtschaftsdüngern	13
3	Grundlagen gewässerschonender Landbewirtschaftung	14
3.1	Nitrat – wichtiger Pflanzennährstoff	14
3.2	Viehhaltung und Biogas – bevorzugte Nutzung auf leichten Standorten	18
3.3	Gärrestmanagement und Energiepflanzenanbau – Worauf kommt es aus Sicht des Wasserschutzes an?	19
4	Gewässerschutz im Energiepflanzenanbau – aufgezeigt an Versuchsergebnissen	21
4.1	Zwischenfrüchte – eine tragende Säule für den Gewässerschutz	22
4.2	Untersaaten im Mais – wenn das Wasser reicht, eine gute Wahl	25
4.3	Düngung mit Gärresten – grundwasserschonend umgesetzt	27
4.4	Anpassung der Gärrestgabe zu Silomais an den N-Bedarf – ein Praxisbeispiel	32
4.5	Mehrschnittiges Ackergras in Fruchtfolgen mit Energiepflanzen – eine gute Alternative	33
4.6	Humuserhalt in Energiepflanzenfruchtfolgen – Basis für nachhaltige Ackernutzung	38
4.7	Wasserschutzfruchtfolgen mit Energiepflanzen – Potenziale und Wirtschaftlichkeit	43
4.8	Modellierung – neue Wege zur Abschätzung des Nitrataustrags	52
4.9	Durchwachsene Silphie – Perspektiven für den Gewässerschutz	55
4.10	Riesenweizengras – Lösung für trockene Standorte?	59
5	Ausblick	62
6	Anhang	65
6.1	Autorenverzeichnis	65
6.2	Literaturverzeichnis	66
6.3	Beteiligte Institutionen	68

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 seit dem 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 8.000 Anlagen mit einer elektrischen Gesamtleistung von über 4 Gigawatt stieg auch die Anbaufläche für Biogas-Energiepflanzen auf bundesweit rund 1,4 Millionen ha an (FNR, Stand April 2018). Silomais ist mit rund 70 % am Energiepflanzenmix die überwiegend zum Anbau kommende 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 (SRU 2005, DWA 2010, 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.

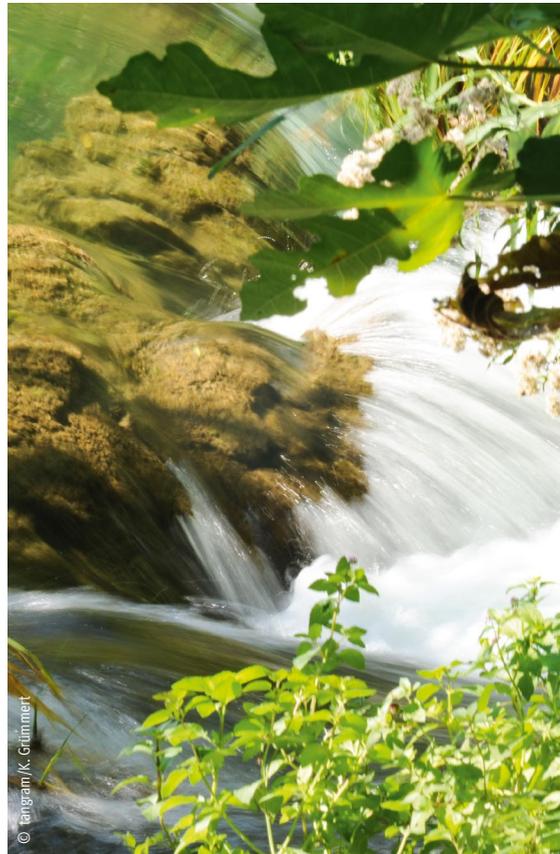
Mit dem **EEG 2014** wurde der Förderungsschwerpunkt für neue Anlagen weg von der Nutzung von Energiepflanzen und hin zur vermehrten Reststoff- bzw. Wirtschaftsdüngernutzung verlagert. Dies hat zu einem deutlichen Rückgang des Anlagenzubaues geführt. Der Bestand von rund 8.000 Biogasanlagen wird aber auch noch im nächsten Jahrzehnt 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 Phosphat 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 Landwirtschaft werden hier in den nächsten Jahren Anstrengungen zum Abbau von Nährstoffverlusten erwartet. Dies soll einerseits durch eine flächendeckende Umsetzung der **novellierten Düngeverordnung** geschehen. Die novellierte Düngeverordnung ist im Juli 2017 in Kraft getreten und hat insbesondere zum Ziel, den Einsatz der Nitrat- und Phosphathaltigen Düngemittel so zu regeln, dass die N- und P-Effizienz gesteigert und Auswaschungsverluste reduziert werden. 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. Weiter haben die meisten Bundesländer zu diesem Zweck auch 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 im Wesentlichen Ergebnisse des Verbundvorhabens „Standortangepasste Anbausysteme für die Produktion von Energiepflanzen“ (EVA). Das Vorhaben wurde

vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über den Projektträger Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) gefördert. In der Förderphase 2013 bis 2015 (EVA III) wurde im Rahmen des Vorhabens ein Untersuchungsschwerpunkt auf Gewässerschutzaspekte im Energiepflanzenanbau gelegt. Es werden erste **konkrete Handlungsempfehlungen für die Praxis gegeben und weiterer Untersuchungsbedarf aufgezeigt**.



2 WASSERSCHUTZ IN DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN PRAXIS – WICHTIGE BAUSTEINE DER AKTUELLEN RECHTSLAGE

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, im Hinblick auf Stickstoff und Phosphat, novellierten Düngeverordnung (DüV). Die Forderung, landwirtschaftliche Er-

zeugung 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 grundwasserschonenden Landbewirtschaftung.

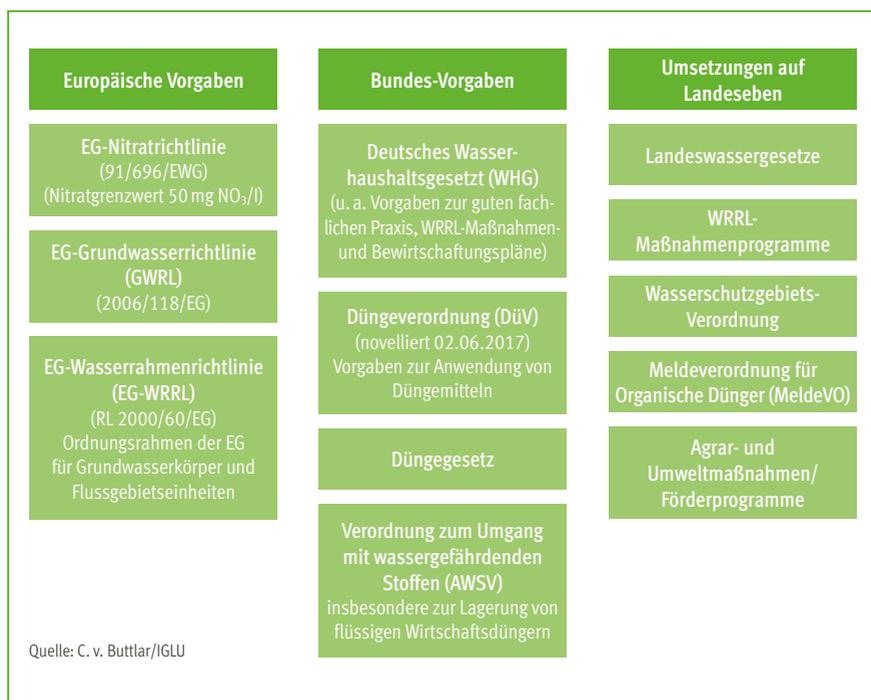


Abb. 1: Übersicht wichtiger gesetzlicher Grundlagen, Regelungen und Programme zur grundwasserschonenden Landbewirtschaftung

EG-Nitratrichtlinie

Die seit 1991 gültige Nitrat-Richtlinie (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 und der Oberflächengewässer (Flüsse, Bäche, Seen) und 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.

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).

Im Berichtszeitraum 2012 bis 2014 wiesen 28 % der Grundwasser-Messstellen des EU-Nitratmessnetzes Konzentrationen größer 50 mg/l auf, an knapp der Hälfte aller Messstellen wurden Nitratkonzentrationen kleiner 25 mg/l gemessen (Nitratbericht, 2016). 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.

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).

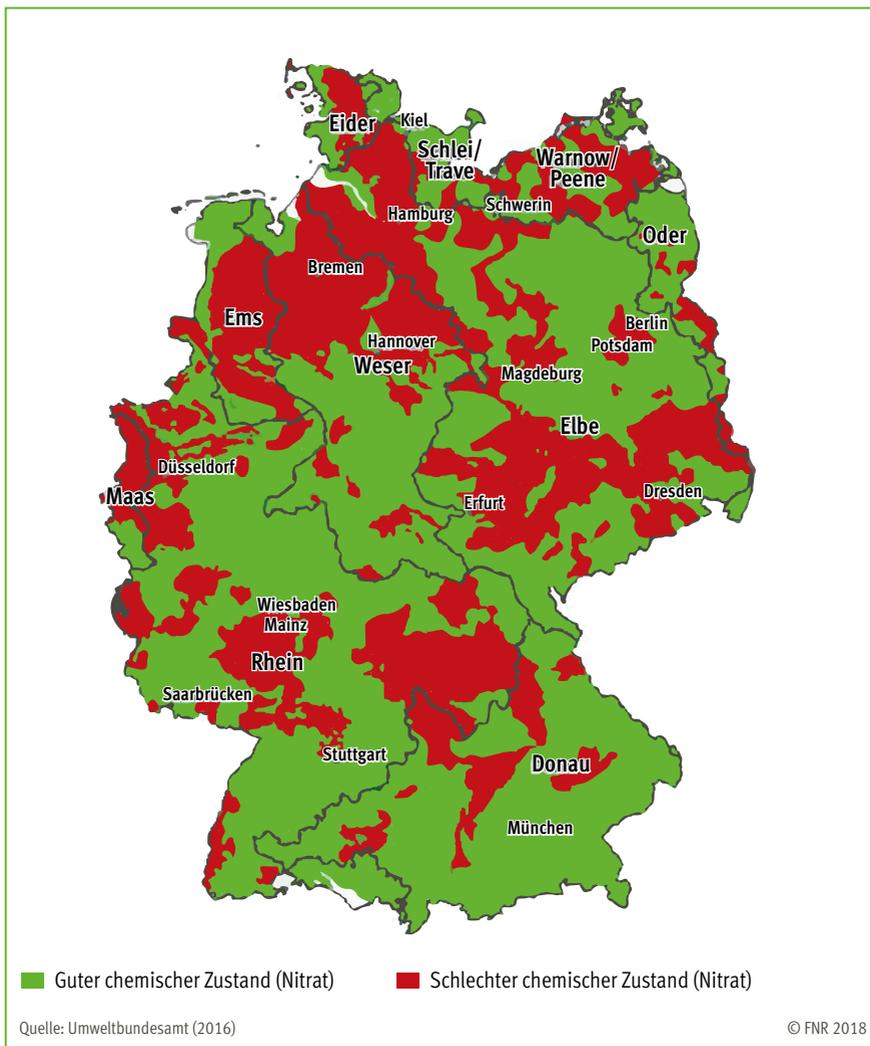


Abb. 2: Chemischer Zustand der Grundwasserkörper in Deutschland – Nitrat (UBA, 2016)

Die Zielerreichung muss gemäß EG-WRRL bis Ende 2015, 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.

2.1 Novellierte Düngeverordnung und Düngegesetz – neue Vorgaben zum Umgang mit Düngemitteln

Die novellierte Düngeverordnung stellt zusammen mit dem Düngegesetz das sogenannte „Dünge-Paket“ dar. Hierdurch kommen viele Änderungen auf die Landwirte zu, bei Redaktionsschluss fehlen auf Länderebene jedoch noch die entsprechenden Durchführungsverordnungen und Vollzugshinweise. Seit Herbst 2017 gelten für die Landwirte die ersten neuen Regelungen. Viele landwirtschaftliche Betriebe, verstärkt die viehhaltenden und auch Biogasbetriebe, müssen sich dem neuen „Dünge-Paket“ und seinen Anforderungen stellen.

Düngeverordnung (DüV)

Die Düngeverordnung (DüV) regelt, ergänzend zum Düngegesetz, die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenschutzmitteln. Die aktuelle DüV ist am 2. Juni 2017 in Kraft getreten und dient nun auch zur Umsetzung der EG-Nitratrichtlinie in Deutschland. Sie 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 Nährstoffbedarfs der Pflanzen an-



Vermeidung von Emissionen durch Einsatz von Injektionstechnik

dererseits auszurichten ist. Dabei sind Ausbringungsmengen und Zeitpunkte so zu bemessen, dass **Nährstoffeinträge in oberirdische Gewässer und das Grundwasser vermieden** 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.

Folgende wesentliche Vorgaben der DüV zum Einsatz von stickstoffhaltigen Düngern sind im Hinblick auf den gewässerschonen Dünger- und insbesondere Gärreinsteinsetzung zu beachten:

- **Aufzeichnungspflicht** zur Düngebedarfsermittlung für die jeweilige Kultur
- Erweiterte **Dokumentationspflichten**, u. a. den Nährstoffgehalt der Düngemittel vor der Aufbringung zu ermitteln und aufzuzeichnen (Gesamtstickstoff, verfügbarer Stickstoff oder Ammoniumstickstoff)
- **Verschärfte Regelungen zu den Sperrzeiten**
 - Aufbringungsverbot auf Ackerland ab Ernte der letzten Hauptfrucht bis zum 31.01.
 - Aufbringungsverbot auf Grünland, Dauergrünland und Ackerland mit mehrjährigem Feldfutter bei einer Aussaat bis zum 15.05. – in der Zeit vom 01.11. bis zum Ablauf des 31.01.
 - Aufbringungsverbot für Kompost und Festmist von Huf- und Klautentieren – vom 15.12. bis zum Ablauf des 15.01.
 - Ausnahmen: Düngung bis zum 01.10.
 - bei Wintertraps, Zwischenfrucht und Feldfutter (bei Aussaat bis zum 15.09.),
 - bei Wintergerste nach Getreide (bei Aussaat bis zum 01.10.).
 - Bislang galten Sperrzeiten nur für organische Dünger. Jetzt werden die Mineraldünger mit einbezogen.
 - Anpassung der Höchstmenge: Es dürfen noch maximal 30 kg Ammonium-N/ha bzw. 60 kg Gesamt-N/ha im Herbst ausgebracht werden.
- **Erweiterte Abstandsregelungen zu oberirdischen Gewässern**
 - Innerhalb 1 m ab Böschungsoberkante absolutes Aufbringungsverbot. Innerhalb von 1 bis 4 m nur eingeschränkte Ausbringung möglich, abhängig von Ausbringungstechnik und unter Ausschluss von Gewässereintrag. (§ 5 Abs. 2 DüV).

- Abstandsauflagen bei stark geneigten Flächen (durchschnittlich mindestens 10 % Gefälle innerhalb des Abstands von 20 m zur Böschungsoberkante):
 - Bis 5 m zur Böschungsoberkante absolutes Aufbringungsverbot.
 - Ab 5 m bis 20 m zur Böschungsoberkante: Auf unbestellten Ackerflächen sofortige Einarbeitung erforderlich. Auf bestellten Ackerflächen Aufbringung möglich:
 - auf Reihenkulturen (Reihenabstand mind. 45 cm) nur bei entwickelter Untersaat o. sofortiger Einarbeitung,
 - auf sonstigen Flächenkulturen nur bei hinreichender Bestandsentwicklung oder
 - nur nach Mulch- oder Direktsaat (§ 5 Abs. 3 DüV).
- **Regelungen zur Düngung auf gefrorenem Boden**
 - Aufbringungsverbot auf gefrorenem Boden, jedoch ist es erlaubt, bis zu 60 kg Gesamt-N/ha aufzubringen, wenn der Boden tagsüber aufnahmefähig wird, keine Abschwemmgefahr besteht, der Boden durch Einsaat einer Winterkultur oder von Zwischenfrüchten im Herbst eine Pflanzendecke trägt oder es sich um Grünland oder Dauergrünland handelt und anderenfalls die Gefahr einer Bodenverdichtung und von Strukturschäden durch das Befahren bestehen würde.
 - Verbot der Aufbringung auf wassergesättigtem und schneebedecktem Boden gilt weiterhin, jedoch bei Schnee
- nunmehr generell unabhängig von der Schneehöhe (§ 5 Abs. 1 DüV).
- **Erweiterte 170 kg-Obergrenze für organische und organisch-mineralische Düngemittel**
 - Die Obergrenze von 170kg Gesamt-N/ha und Jahr im Durchschnitt der genutzten Flächen gilt für alle aufgebrauchten organischen und organisch-mineralischen Düngemittel. Dies schließt auch pflanzliche Gärreste ein (§ 6 Abs. 8 DüV).
 - **Anrechnung von N-Verlusten**
 - Bei Schweinegülle sinken die in der Bilanz anrechenbaren Verluste um 10 auf 30 %. Das bedeutet, dass 10 % mehr Stickstoff im System bilanziert werden müssen als bisher.
 - Für Gärreste werden bei der Bilanzierung anrechenbare Verluste von 15 % vorgeschrieben.
 - **Lagerraum und Lagerdauer**
 - Das Fassungsvermögen muss größer sein als die Kapazität, die für den Zeitraum der einzuhaltenden Sperrzeiten erforderlich ist (§ 12 Abs. 1 DüV).
 - Bundeseinheitlich sind mindestens sechs Monate für flüssige Wirtschaftsdünger und Gärreste und mindestens ein Monat für Festmist und Kompost vorgeschrieben (§ 12 Abs. 2, § 6 Abs. 8 DüV).
 - Ab 2020 haben Betriebe ohne eigene Aufbringungsflächen oder mit mehr als 3 Großvieheinheiten (GV) 9 Monate vorzuhalten.

- **Einarbeitungszeiten**
 - Bei Ausbringung von organischen Düngern sind Vorgaben zur Einarbeitung einzuhalten, Wirtschaftsdünger mit wesentlichem Gehalt an verfügbarem Stickstoff (z. B. Gülle, Gärrückstände) sind unverzüglich, jedoch spätestens 4 Stunden nach Aufbringung einzuarbeiten.
 - Ab 01.02.2020 ist für organische Dünger mit wesentlichem Gehalt an verfügbarem Stickstoff auf bestelltem Ackerland nur noch die streifenförmige Aufbringung erlaubt (§ 6 Abs.1 DüV).
 - **Ermittlung des Düngebedarfs**
 - Zur Ermittlung des Düngebedarfs (Bedarfwerte) ist als standortbezogene Obergrenze unter Berücksichtigung des tatsächlichen Ertragsniveaus der letzten drei Jahre zu ermitteln.
 - Es sind Abschlüsse zu berücksichtigen:
 - N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat (Frühjahrs- N_{\min} in 0–90 cm Tiefe),
 - N-Nachlieferung aus organischer Düngung der Vorjahre,
 - für humose Standorte, Moorböden,
 - für Vorfürchte bzw. Vorkulturen.
 - **Betrieblicher Nährstoffvergleich**
 - Es ist ein betrieblicher Nährstoffvergleich für Stickstoff und Phosphat zu führen. Dieser muss bis 31.03. des Folgejahrs vorliegen.
 - Der Nährstoffvergleich umfasst die Zu- und Abfuhr für die genutzte Fläche insgesamt.
 - Bei Gärrückständen aus einer Biogasanlage hat der Betrieb den Nährstoffgehalt auf Basis von Tabellenwerten oder einer Analyse zugrunde zu legen.
 - Für Stickstoff ist der Kontrollwert von 60 kg N/ha und Jahr und ab 2018 von 50 kg N/ha und Jahr einzuhalten.
 - Für Phosphat ist der Kontrollwert von 20 kg P/ha und Jahr und ab 2018 von 10 kg P/ha und Jahr einzuhalten.
 - Auf hoch P-versorgten Flächen mit mehr als 20 mg P_2O_5 /100 g Boden (CAL) bzw. Gehaltsklasse D und E ist künftig kein Überhang mehr zulässig (§ 8 Abs. 1–5, § 10 Abs. 1, Anl. 5 und 6 DüV).
- **Erstellung einer Stoffstrombilanz**

Nach Düngegesetz (§ 11a) hat die landwirtschaftliche Erzeugung nach guter fachlicher Praxis zu erfolgen und insbesondere einen nachhaltigen, ressourceneffizienten Umgang mit Nährstoffen im Betrieb sicherzustellen. Für bestimmte Betriebe soll daher ab 01.01.2018 bzw. 01.01.2023 die Erstellung einer Stoffstrombilanz zur Pflicht werden. Die Stoffstrombilanz erfasst und bewertet die Zufuhr von Nährstoffen in den Betrieb und die Abgabe von Nährstoffen. Von dieser Verordnung betroffen sollen Betriebe sein, die

 - mehr als 50 Großvieheinheiten haben oder
 - mehr als 30 ha LN bei gleichzeitiger Viehdichte von 2,5 GV/ha oder
 - im jeweiligen Wirtschaftsjahr Wirtschaftsdünger aus anderen Betrieben aufgenommen haben.

Die genauen Regelungen werden in einer Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV) fixiert. Die betroffenen Betriebe werden von der Pflicht zur Erstellung eines Nährstoffvergleichs nach DüV befreit.

- **Vorgaben für Landesregelungen in gefährdeten Kulissen (§ 13)**
 - Die Landesregierungen können zusätzliche Auflagen zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat oder Phosphat für gefährdete Kulissen verordnen. Grundlage zur Einstufung ist § 7 der Grundwasserverordnung (2010). Infrage kommen diese weiterführenden Landesvorgaben z. B. für Grundwasserkörper mit Nitratgehalten größer 50 mg Nitrat/l in Teilgebieten oder bei Erreichung von $\frac{3}{4}$ des Schwellenwertes. Oberflächengewässer kommen bei erhöhten Gesamt-P Werten in Frage.
 - Dafür ist ein Vorschlagskatalog entworfen worden, aus dem mindestens drei Maßnahmen auszuwählen sind.

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 entsprechen 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 oder aufnehmen, müssen diese bei der Abgabe und Übernahme bzw. Aufnahme 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, 2017).

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 gehalten. Die Anforderungen der „guten fachlichen Praxis“ stellen dafür ein Grundgerüst dar.

Mögliche Stellschrauben zur Optimierung der Wasserschutzleistung im Ackerbau bestehen nach DWA (2010) 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 die 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 Nitratüberhänge 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 Austauschfähigkeit (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 verlagerten 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 grundwasser-schonende Flächennutzung sind somit gerade für Betriebe in den EG-WRRL-Zielkulissen besonders hoch.

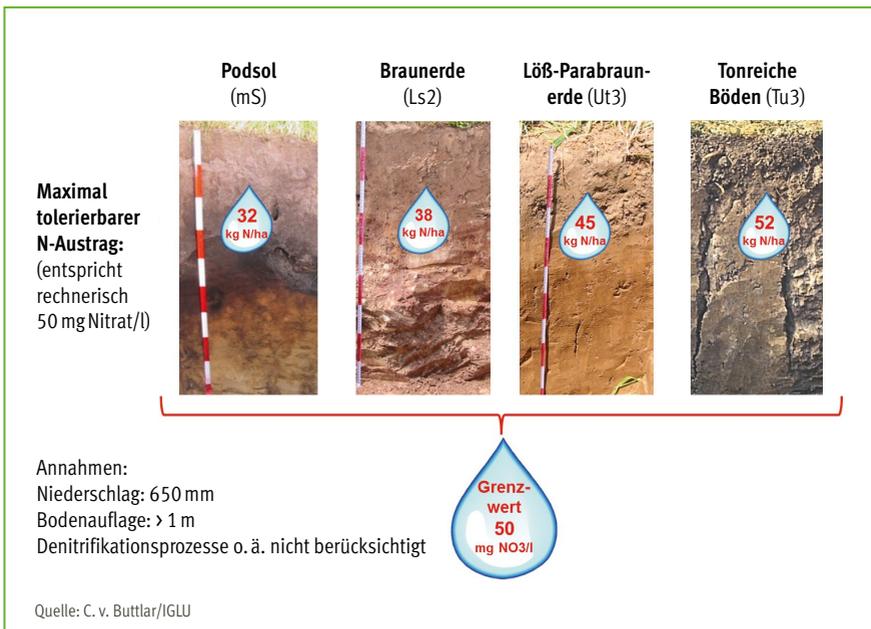


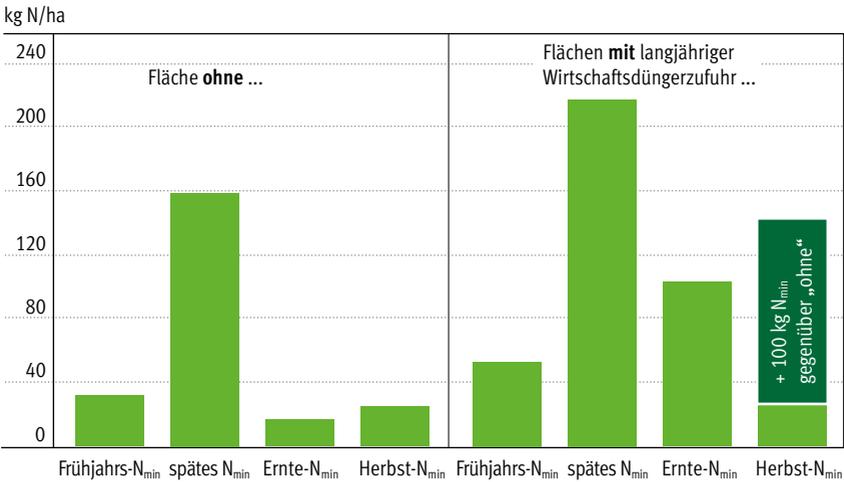
Abb. 3: Beispielhafte Berechnung für maximal tolerierbare N-Austräge zur Einhaltung des Nitratgrenzwertes von 50 mg NO₃/l für vier Böden (ohne Berücksichtigung weiterer Abbauprozesse unterhalb der Wurzelzone)

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 Düngelplanung 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 Düngelplanung 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

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.

Für differenzierte Aussagen zur Humusproduktionsleistung, 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 können unterschiedliche Instrumente herangezogen werden.

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 Nährstoffbilanz auf der Betriebsebene wird derzeit die sogenannte aggregierte Feld-Stallbilanz nach Düngeverordnung verwendet. In Wasserschutzgebieten wird zusätzlich die auf einer Bilanzierung der Nährstoffströme des Gesamtbetriebs basierende und daher besser abgesicherte Hoftorbilanzierung eingesetzt. Im Hinblick auf den Düngebedarf ist nach Düngeverordnung die Messung des mineralischen Stickstoffgehaltes im Boden

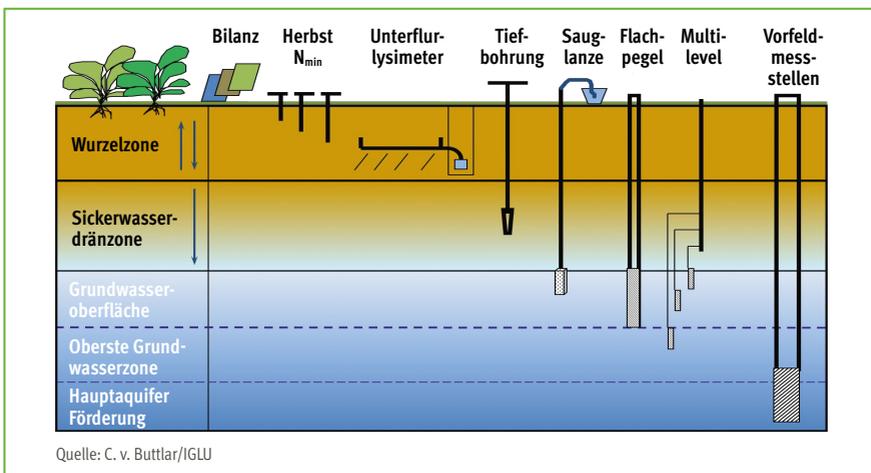


Abb. 5: Übersicht Methoden zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen

(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, der den potenziell verlagerbaren Stickstoff im Boden vor Beginn der Sickerwasserperiode erfasst. Die in den folgenden Kapiteln vorgestellten Ergebnisse zur Wasserschutzleistung von Energiepflanzen in unterschiedlichen Anbauverfahren basieren maßgeblich auf der Wiedergabe von Ertragsdaten, Bilanzergebnissen und N_{\min} -Werten.

Weitere, insbesondere analytische Methoden zur Bewertung der Sickerwasserdränzone und des oberflächennahen Grundwassers sind bekannt. Hierzu gehören z. B. die Entnahme von Nitrat-Tiefenprofilen sowie die oberflächennahe Grundwasserbeprobung mit Lysimetern, Saugglanzen, Saugkerzen oder Gütemessstellen. Diese Methoden eignen sich eher für schlag- oder raumbezogene Auswertungen und wurden daher im Rahmen der EVA-Parzellenversuche (Ergebnisse in Kap. 4) nicht eingesetzt.

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 Bodenzahlen und dem entsprechend geringer Schutzwirkung vor Nährstoffeinträgen. Dies hat zur Folge, dass die Flächennutzung der gefährdeten Grundwasserkörper nach EG-WRRL weitgehend durch Viehhaltung, Futterbau, insbesondere Mais und nun auch Biogaserzeugung und Energiepflanzenanbau geprägt sind. Vor allem die Bundesländer Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Bayern und Nordrhein-Westfalen sind hier betroffen. Der regionale Anfall an Wirtschaftsdünger überschreitet die Obergrenze von $170 \text{ kg } N_{\text{org}}/\text{ha}$ (gem. EG-Nitratrichtlinie). Daher müssen bereits jetzt Wirtschaftsdünger aus diesen Regionen exportiert werden. Der Anstieg der Anbaukonzentration von Mais zu Futterbau- und energetischen Zwecken, in einigen Landkreisen auf über 70 % der Nutzfläche, gehen mit einer Abnahme der gesellschaftlichen Akzeptanz für regenerative Energien 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.



den, 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 auch Umweltaanforderungen 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 und für maximalen Nährstoffentzug vor Winter. Der Düngebedarf muss auf Basis realer Ertrags-erwartungen berechnet werden, Inhaltsstoffe der Gärreste sollten bekannt sein und ihre Anrechnung angemessen erfolgen. Weiterhin sind emissionsarme Ausbringetechniken 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 Wasser-
sicht sollte daher regelmäßig geprüft werden, ob durch eine Effizienzsteigerung vom Wirtschaftsdüngereinsatz der Mineral-
düngerzukauf gesenkt werden kann. Reicht die erforderliche Ausbringungsfäche für den
vorhandenen Wirtschaftsdüngeranfall nicht aus, so muss der Export der Gärreste 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 Verbringungs-
gesellschaften (Gülle-
börse), die Steigerung der Exportwürdigkeit durch Entwässerung der Gärreste
(Separation) und die Vermeidung weiterer zusätzlicher Nährstoffe.

Die folgenden Versuchsergebnisse beziehen sich auf die Handlungsebene Flächen-
nutzung (Schlagebene). Hierzu wurden umfangreiche Feldversuche im Rahmen des
EVA-Verbundvorhabens durchgeführt, die eine Reihe von vielversprechenden Hand-
lungsoptionen für einen gewässerschonen Energiepflanzenanbau aufzeigen.

 <p>Gebietsebene</p>	 <p>Betriebsebene</p>	 <p>Schlagebene</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berücksichtigung von Schutzkulissen (WRRL, WSG...) ▪ Dokumentation verbessern (Nährstoffberichte) <p>In Nährstoff-überschussgebieten:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbringungs-gesellschaften aufbauen ▪ Exportwürdigkeit steigern (Separierung) ▪ Zusätzliche Nährstoffimporte vermeiden ▪ Stellschraube: Reduktion Mineraldüngereinfuhr 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rechtl. Vorgaben: DüV ▪ Ausreichend Lagerraum ▪ Flächenverfügbarkeit für Gärrestausbringung ▪ Angepasstes Nährstoffmanagement ▪ Fruchtfolgen auch im Hinblick auf Ausbringungsfenster ▪ Bei Nährstoffüberschuss externe Abnehmer einbinden <p>Gilt prinzipiell für alle Wirtschaftsdünger!</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nährstoffgehalte zeitnah analysieren ▪ Sperrfristen berücksichtigen ▪ Ausbringung zu Zeiten pflanzlichen Bedarfs ▪ N- und P-Grenzen beachten ▪ Emissionsarme Techniken einsetzen ▪ Witterung beachten ▪ Minerale Düngerequivalent richtig bewerten ▪ Angepasste Düngegaben wählen ▪ Anbauoptionen nutzen (Untersaaten, Zwischenfrüchte etc.)

Quelle: C. v. Buttlar/IGLU

Abb. 6: Handlungsebenen zur Optimierung von Gärsubstrateinsatz und Energiepflanzenanbau

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

Im Rahmen der EVA-Versuche erfolgten u. a. Anbauversuche zu folgenden Themen:

1. Untersuchung der Ertragsleistungen und Anbaukosten einer breiten Palette von Energiepflanzen, eingebunden in unterschiedliche Fruchtfolgesysteme. Es wurden sowohl N-reduzierte Fruchtfolgen als auch Anbausysteme mit Untersaaten und Zwischenfrüchten im Hinblick auf ihre Ertragsleistung einerseits und ihre Gewässerschutzleistung andererseits bewertet.
2. Weiter erfolgten gezielte Versuche zur Gärrestdüngung in Energiepflanzenfruchtfolgen im Hinblick auf die Düngewirksamkeit der Gärreste, die Ertragsleistung und auch die Entwicklung der Herbst- N_{\min} -Werte im Boden.
3. Parallel zu Exaktversuchen konnten weitere Erkenntnisse bei der Durchführung von Feldversuchen auf Praxisbetrieben mit Biogasanlagen gewonnen werden. Der Aspekt der N-Dynamik bei langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr und der N-Nachlieferung aus dem Boden konnte hier vertiefend untersucht werden.
4. Versuche zum Feldgrasanbau auf verschiedenen Standorten Deutschlands ergänzten die Versuchspalette um eine in Futterbauregionen interessante Anbaualternative zum Mais. Auch hier wurden Erträge erfasst und u. a. anhand von N-Werten die Gewässerschutzleistung beurteilt.

5. Untersuchungen zur Humusbilanz der getesteten Fruchtfolgen ermöglichen Aussagen zur Nachhaltigkeit der Anbausysteme.
6. Durch die Modellierung der N-Dynamik ausgewählter Standorte und Anbausysteme konnten zudem Aussagen zur N-Verlagerungsdynamik getroffen werden. Die Ergebnisse können u. a. Hilfestellung bei der Optimierung von Ausbringungszeiträumen für Gärrestdünger bieten.
7. Ergänzt wird die Ergebnisübersicht durch kurze Einblicke in weitere Forschungsvorhaben zum Anbau von Dauerkulturen für die Vergärung. Ergebnisse der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) Dornburg zur Durchwachsenden Silphie und der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Haus Düsse zum Riesenweizengras werden vorgestellt. Beide Dauerkulturen fielen in der Vergangenheit durch tendenziell geringe Anbauansprüche auf und werden im Hinblick auf Ertragsleistung und Gewässerschutzleistung bewertet.

Nachfolgend werden ausgewählte Versuchsergebnisse vorgestellt. Weitere Details können den EVA III-Endberichten, bzw. Projektberichten der Autoren entnommen werden.

4.1 Zwischenfrüchte – eine tragende Säule für den Gewässerschutz

Überblick: 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.

Potenzial zur N-Bindung durch Zwischenfrüchte – Ergebnisse aus Praxisversuchen

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

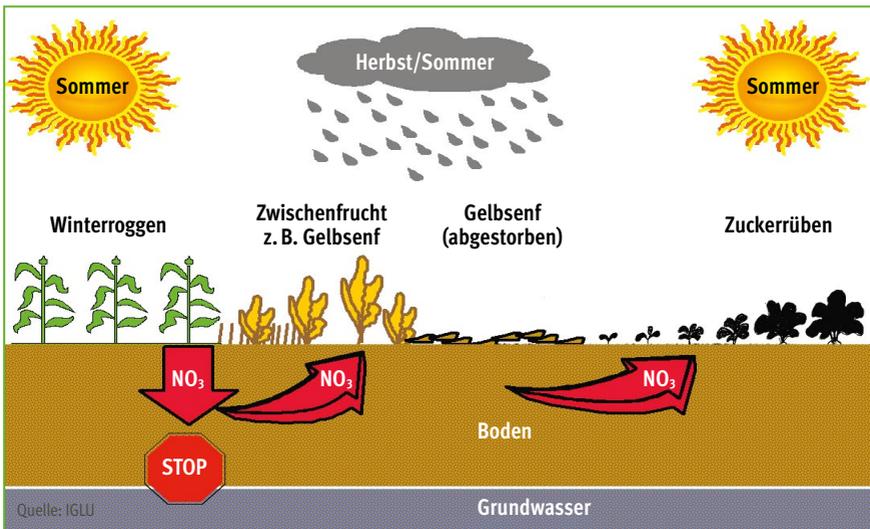


Abb. 7: Reduzierung der Nitratauswaschung durch Winterzwischenfrüchte



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

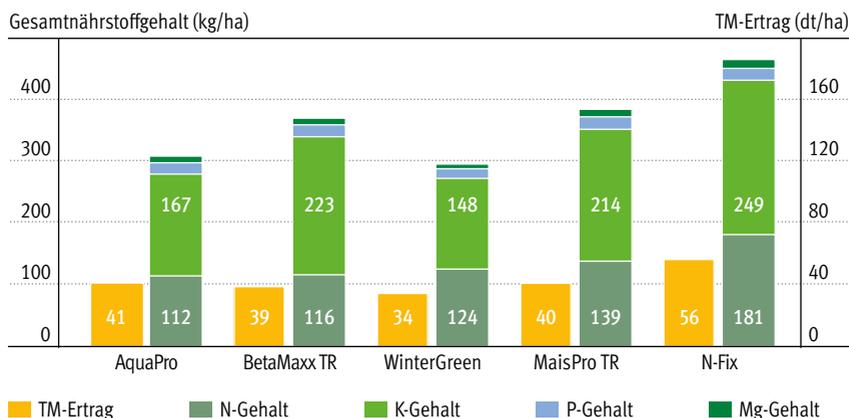


Leguminosenfreie Zwischenfruchtmischung mit Rauhafer, Sonnenblume, Ramtillkraut, Öllein, Phacelia u. a.

Methodik: 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 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 wurde in hohen Mengen in der Pflanzenmasse gebunden.

NÄHRSTOFFGEHALTE IM AUFWUCHS VERSCHIEDENER ZWISCHENFRÜCHTE



Quelle: IGLU

© FNR 2018

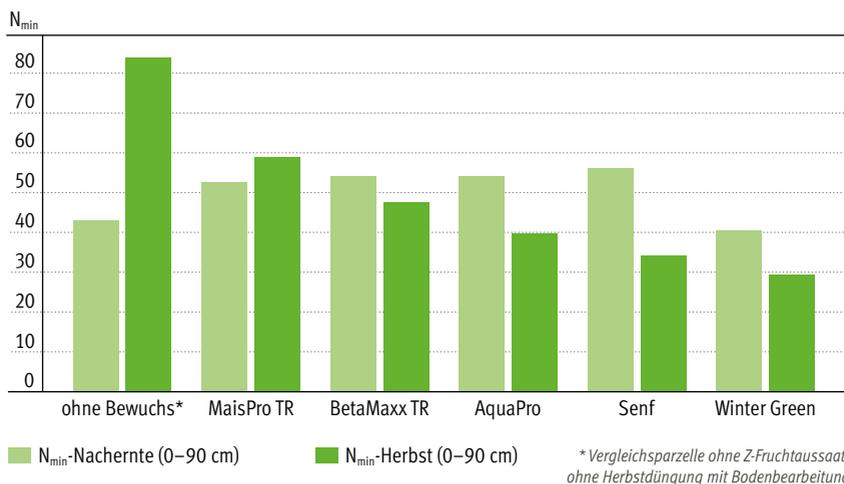
Abb. 8: TM-Ertrag, Nährstoffgehalte im Aufwuchs verschiedener Zwischenfrüchte auf einem Niedersächsischen Praxisbetrieb, Herbst 2014

Hinsichtlich der N_{\min} -Werte nach der Ernte und im Herbst zeigt sich ein hohes Grundwasserschutzpotenzial der Zwischenfrüchte (Abb. 9). Die getesteten Zwischenfruchtmischungen nahmen zwischen 100–200 kg N/ha an Stickstoff in der Pflanzenmasse auf und 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.

Hinweise: Der Zwischenfruchtanbau sollte frühzeitig in die Fruchtfolge eingeplant werden. Dabei ist zu berücksichtigen, 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 nicht 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 daher bis zum 01.10. gesät sein, dürfen nicht mineralisch gedüngt werden und keinen Pflanzenschutz bekommen. Eine organische Düngung ist nach den Vorgaben der Düngeverordnung erlaubt. Die neue

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

Düngeverordnung regelt den Zwischenfruchtanbau im Interesse des Gewässerschutzes künftig strenger, in dem sie 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 NH₄/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 wurden auf 01.10. bis 31.01. verlängert (DüV vom 01.06.2017). 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 und tragen als zusätzliche Nahrungsquelle zur Steigerung der Biodiversität bei. Jahresbedingte Witterungseinflüsse können die Aufwuchsleistung von Zwischenfrüchten allerdings stark beeinflussen. Standortliche Grenzen sind bei knapper Wasserverfügbarkeit zu erwarten. Nach Mais kommen Zwischenfrüchte meist nur dann in Frage, wenn der Mais früh geerntet wird.

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

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

POTENZIAL ZUR N-BINDUNG DURCH GRÄSERUNTERSAATEN – ERGEBNISSE AUS PRAXISVERSUCHEN

Fragestellung: 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-WRR-L-Beratungsgebiet und ist daher an maximalem Gewässerschutz im Maisanbau interessiert.

Methodik: Für die Aussaat der Untersaaten hat der Versuchsbetrieb eine Hackmaschine mit einer Aussaatvorrichtung für Weidelgrasuntersaaten umgerüstet. Die Weidelgras-

aussaat erfolgte Mitte Juni zum 6-Blattstadium des Maises.

Ergebnisse: Durch den Anbau von Rot-schwengel 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



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



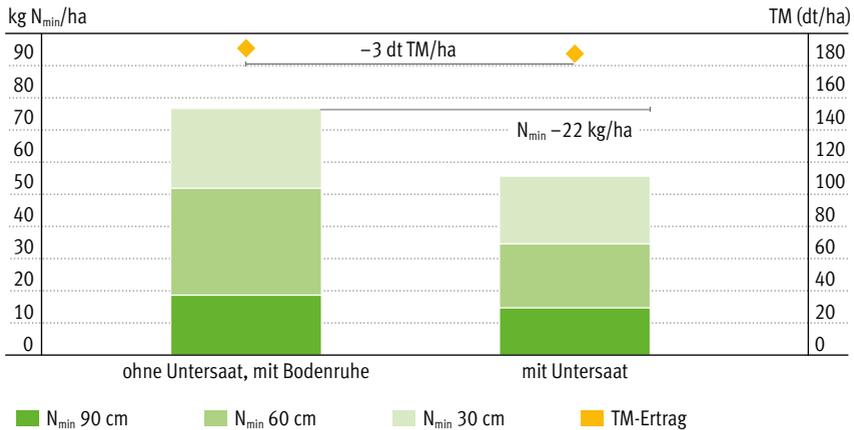
Untersaat nach der Maisernte: Massenbildung noch vor Winter bindet N in ober- und unterirdischer Pflanzenmasse und bietet Erosionsschutz

werden. In diesem Fall 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.

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 Ernte 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 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.

HERBST- N_{min} NACH MAIS



Quelle: IGLU

© FNR 2018

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

Fazit: Untersaaten im Mais reduzieren das N-Auswaschungsrisiko im Mittel um 22 kg N/ha, in Einzeljahren auch doppelt so hoch. 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.

4.3 Düngung mit Gärresten – grundwasserschonend umgesetzt

Gärrestdüngung zu Mais, Sorghum und Triticale: 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 verwendete Aufbereitungstechnik besitzt jeder Gärrest eine spezifische Inhaltsstoffzusammensetzung. Weiterhin haben Gärreste einen geringen Trockenmassegehalt und einen hohen Anteil an flüchtigen Stickstoffverbindungen. In den Versuchen des EVA-Verbundvorhabens

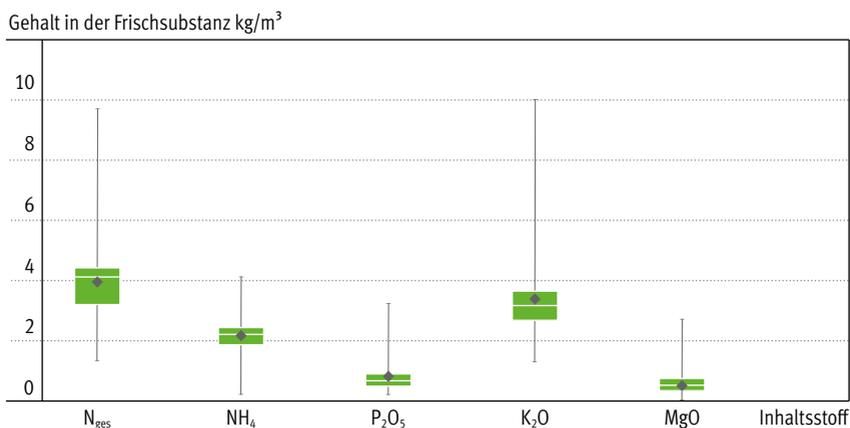
wurden die Nährstoffgehalte von 160 Gärresten vor der Ausbringung im Labor erfasst und analysiert (Abb. 11). Während die Nährstoffgehalte im Mittel vergleichbar mit Rindergülle sind, ist die tatsächliche Schwankungsbreite der Gehalte sehr groß (Lfl, 2018). Insbesondere der stark schwankende Stickstoffgehalt (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 Standorten die Düngung mit Gärresten im Vergleich zu mineralischer Düngung und kombinierten Düngevarianten untersucht.

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 wei-

SCHWANKUNGSBREITE DER INHALTSSTOFFGEHALTE IM EVA-PROJEKT



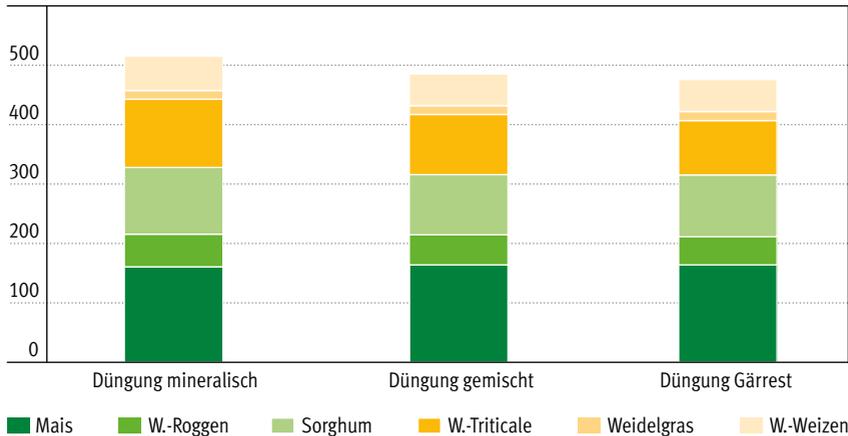
Quelle: TFZ

© FNR 2018

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

TROCKENMASSEERTRAG DER FRUCHTFOLGE BEI UNTERSCHIEDLICHER DÜNGUNG

Kumulierter Trockenmasseertrag (dt/ha)



Quelle: TFZ

© FNR 2018

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

terer Zu- und Abschläge die zu düngende Nährstoffmenge. Für die Gärückstände wurde ein Mineraldüngeräquivalent von 70 % angenommen, sodass 1 kg Gärrest-N 0,7 kg Mineraldünger-N entspricht. Im Fruchtfolgeversuch wurden jeweils die Düngevarianten 100 % N mineralisch, 100 % Gärückstand und je 50 % mineralisch + 50 % Gärückstand 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).

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.

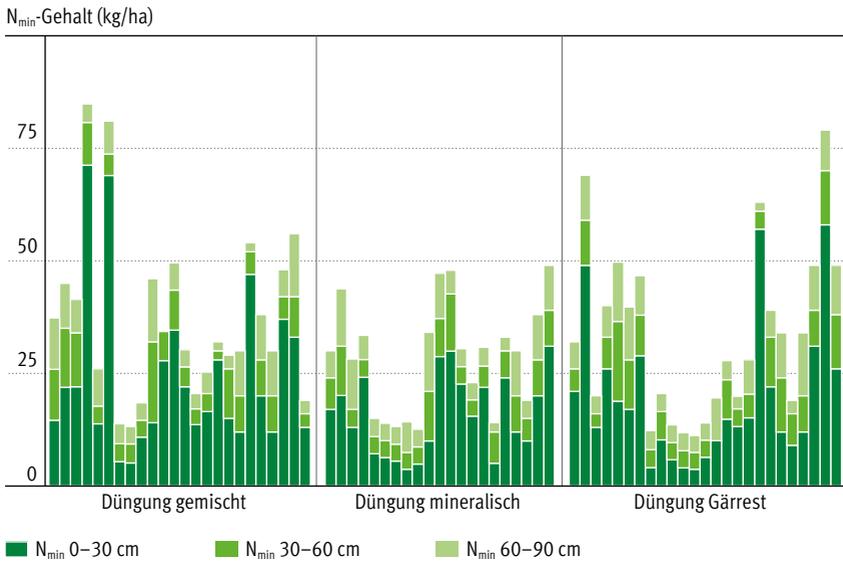
Wintertriticale und Winterroggen: Die in der Fruchtfolge festgestellten Ertragsunterschiede ergaben sich hauptsächlich aufgrund des angebauten Getreides. Während die anderen Kulturen die Gärrestdüngung gut umsetzten, waren Wintertriticale und Winterroggen bei mineralischer Düngung etwas ertragsreicher. Bei Verzicht auf eine 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 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, Wintererbsen 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).

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 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, 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.

N_{min}-GEHALT NACH ERNTE BEI UNTERSCHIEDLICHER DÜNGUNG



Quelle: TFZ

© FNR 2018

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

Fazit: Vergleichende Düngerversuche 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

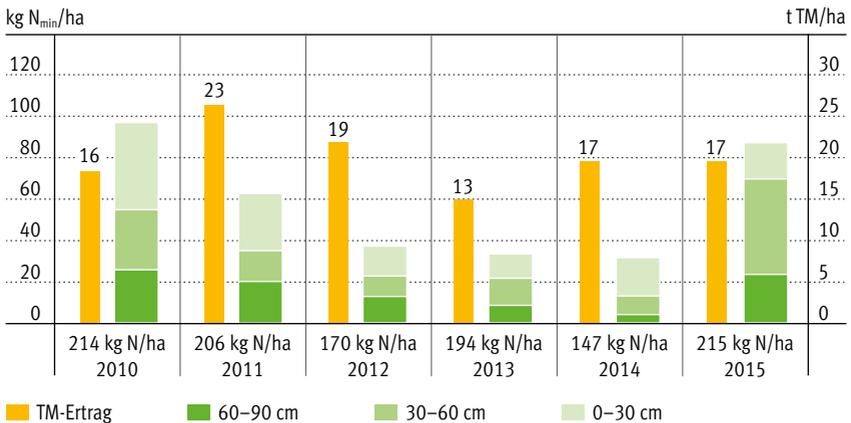
Versuchen im Untersuchungszeitraum keine Unterschiede zwischen mineralischer und organischer Düngung. Herbst-N_{min}-Werte bis zu 50 kg N/ha sind aus Wasser-schutzsicht erstrebenswert. Einzelne überhöhte Werte wurden dann festgestellt, wenn negative Witterungseinflüsse deutliche Ertragseinbußen bedingt hatten. Die Frage nach einer langjährigen Entwicklung der N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat bei Gärrestdüngung konnte mit diesem Versuch noch nicht geklärt werden.

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

Fragestellung: Im Rahmen eines Arbeitspaketes im EVA-Verbund wurden gewässer-schonende 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 mineralisationsstarken Standorten 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. Wenn weiterer N-Bedarf durch eine späte N_{min}-Be-probung nachgewiesen wurde, erfolgte im Einzelfall eine mineralische Nachdüngung. Die N-Düngung wurden in einer Variante praxisüblich ausgerichtet und in den weiteren Varianten bis auf 150 kg N/ha abgestuft. (inkl. N_{min} bei 70 % Mineraldünger-äquivalent).

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})

Ergebnisse: Zu Beginn der Untersuchungen im Jahr 2010 zeigten die betriebsüblichen Düngegaben (~200 kg N/ha) einen **Trockenmasseertrag** von 16 tTM/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-Anreicherungspotenzial 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 gär-

restbetonten 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.

4.5 Mehrschnittiges Ackergras in Fruchtfolgen mit Energiepflanzen – eine gute Alternative

Fragestellung: Der Anbau von Ackergräsern, Ackergrasgemisungen und Leguminosengrasgemisungen 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 Energiepflanzenfruchtfolgen 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, Luzerneinsaaten und

Grasmischungen. Im Rahmen der vorhergegangenen Projektphasen stellte sich heraus, dass in Ostdeutschland und Bayern Rotklee-grasgemenge und auf trockenen Standorten vornehmlich Luzerne bzw. Luzernegrasgemenge sichere Leistungen erzielen. Rotklee-grasmischungen 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 Ackerfuttersaatvarianten 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.

Erfahrungen bei der 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.

Erfahrungen bei der Etablierung 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 Gräseransaat im Spätsommer etablieren kann. Allerdings sind die Möglichkeiten des Pflanzenschutzes im Ansaatjahr gegen Unkräuter sehr eingeschränkt. Die Frühjahrsansaat 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 Klee-Grasmischungen 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 Ausaatvarianten durchsetzen.

In der Frühjahrsblanksaat konnten im Anlagejahr (2013 und 2014) im Mittel mit dem Klee-Grasgemenge (A 3 + Rotklee) über 100 dtTM/ha erzielt werden, im zweiten Hauptnutzungsjahr sogar ca. 150 dt TM/ha.

Am Besten etablierte sich die reine Gräsermischung aus Welschem Weidelgras (We-Weid) mit Bastardweidelgras (WB). Diese überzeugte in der Summe über 2 Jahre mit über 280 dtTM-Gesamtertrag. Das Luzernegras und die Luzernereinsaat blieben unter diesem Niveau.



Gras-Untersaat im Mais

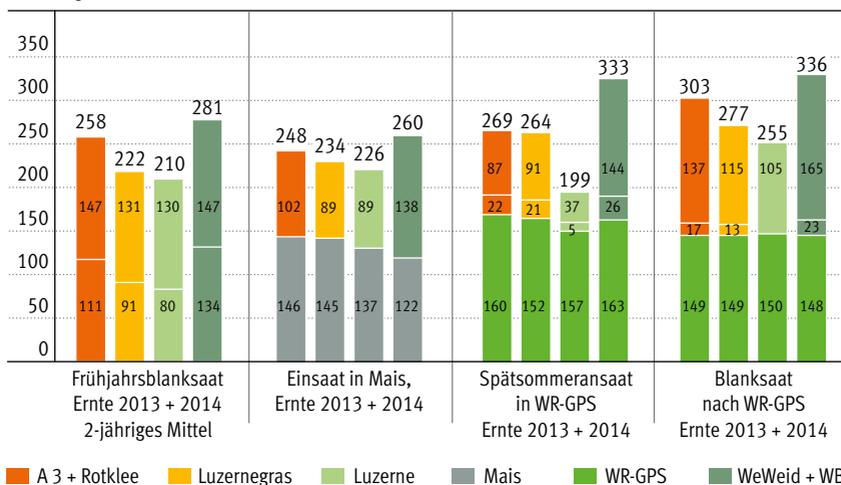
Die Ergebnisse der Versuchsanlage von Mais mit der Einbringung einer Untersaat zeigen auf, dass die Etablierung möglich ist, aber ein erntewürdiger Aufwuchs erst im Folgejahr nach der Maisernte realisiert wird. Im Vergleich der Maiserträge mit Einsaaten zur Referenz ohne Einsaaten sind leichte Einbußen beim Maisertrag zu erkennen. Zu begründen ist dies mit den sich üppig entwickelten Grasbeständen zwischen den Maisreihen. Ansonsten ist keine

negative Beeinflussung des Mais 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 über 165 dt TM/ha. Generell ist die Etablierung der Einsaaten im Spätsommer parallel zur Getreideaussaat als vielversprechender einzustufen. Insbesondere dann, wenn sich das Getreide im Herbst bereits sehr gut etabliert hat. Die Einsaaten von Ackerfuttermischungen in die Winterroggenbestände im

BIOMASSEERTRÄGE VON ACKERGRASVARIANTEN (FRÜHJAHRSBLANKSAAT) IM VERGLEICH ZU VERSCHIEDENEN GRÄSEREINSAATEN

TM-Ertrag (dt/ha)



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

Quelle: LWK Niedersachsen

© FNR 2018

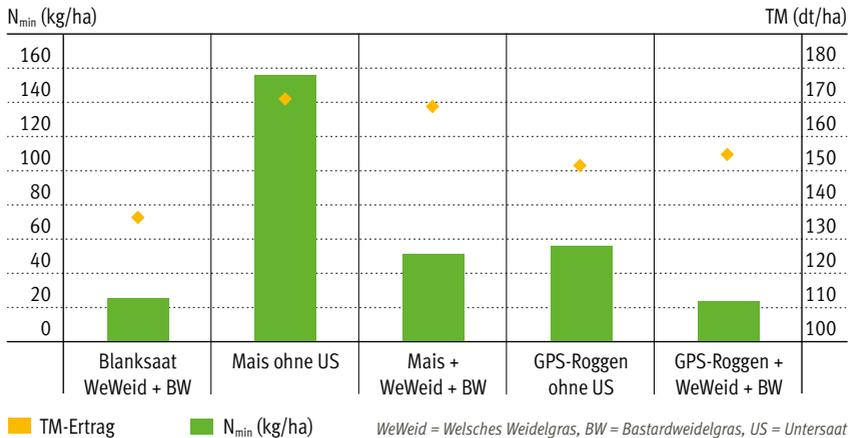
Abb. 15: Biomasseerträge von Ackergrasvarianten (Frühjahrsblanksaat) im Vergleich zu verschiedenen Gräserinsaaten in Mais und Winterroggen-GPS. Versuchsstandort Otterham, Niedersachsen, Mittel der Erntejahre 2013 und 2014

Frühjahr zum Vegetationsbeginn konnten nicht überzeugen. Ursache waren die aufgrund milder Winter schon im zeitigen Frühjahr sehr dichten Getreidebestände.

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

Stickstoffdynamik im Boden: Zur Beurteilung des Anbaus der beschriebenen Ackerfüttermischungen in verschiedenen Anbauverfahren aus Wasserschutzaspekten 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 mehrschichtigen 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-WRRRL gefährdeten Grundwasserkörpern bieten die Gräserensaatens (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 Gülle-Verwertung 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 Zwischen-

fruchtmischungen 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.

4.6 Humuserhalt in Energiepflanzenfruchtfolgen – Basis für nachhaltige Ackernutzung

Fragestellung: 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. In Anbausystemen mit Energiepflanzen wird in der Regel die gesamte oberirdische Biomasse geerntet. Aus Sicht des Erhalts der Bodenfruchtbarkeit am Standort stellt sich daher die Frage, ob genügend organische Substanz auf die Anbauflächen zurück gebracht wird.

Methoden: Da die landwirtschaftliche Anbauplanung entsprechend der aktuellen Verwertungsmöglichkeiten häufig kurzfristig geschieht, werden hier zweijährige Teilfruchtfolgen (Tff) im Hinblick auf Lösungs-

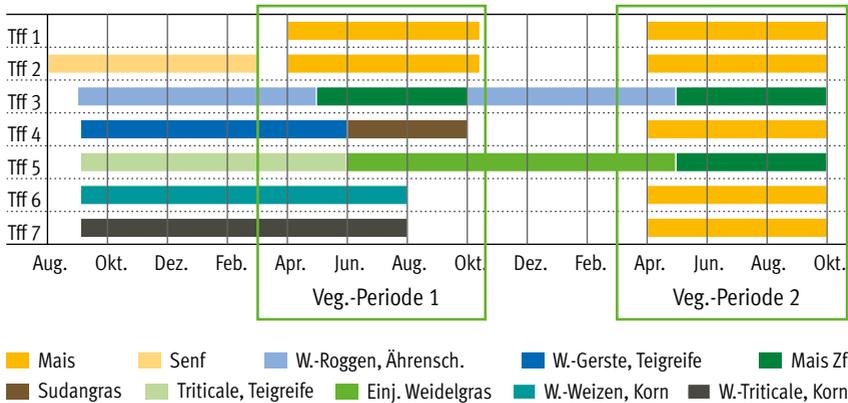
ansätze zur Sicherung der Humusbilanz bei gleichzeitiger Erzeugung hoher Methan-Hektarerträge untersucht. Die Versorgung des Bodens mit organischer Substanz erfolgte über Gärreste, Einarbeiten von Stroh und Gründüngung sowie den Anbau von Gräsern. Es werden exemplarisch Ergebnisse von Standorten in Thüringen 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 gliedern sich nach:

1. Verwertungsmöglichkeit: nur Energiepflanzen oder Energiepflanzen gemischt mit Marktfrüchten
2. Fruchtfolgesystem: Hauptfruchtnutzung oder Zweikultursystem

3. Bodenbedeckung über Winter: nein, 1 Jahr, alle Jahre
4. Zufuhr organischer Substanz: Anfall und Menge von Gründüngung oder Stroh zur Humusreproduktion (Tab. 1)
5. Versuchsstandorte sind:
 - a. Dornburg, Thüringen, 580 mm Jahresniederschlag, Parabraunerde (Lehm),
 - b. Werlte, Niedersachsen, 770 mm Jahresniederschlag, humoser Sand.

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

UNTERSUCHTE TEILFRUCHTfolgen, ANBAUZEITEN UND ZWISCHENBRACHEN



Quelle: M. Willms, ZALF

© FNR 2018

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

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

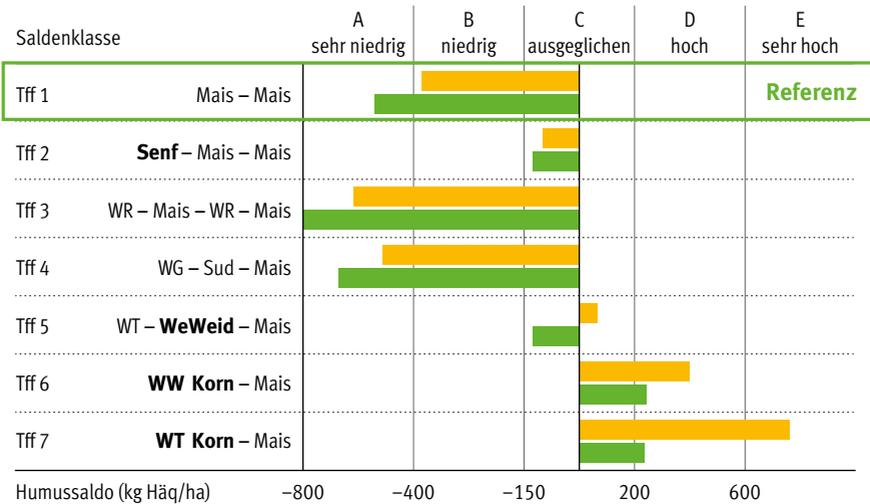
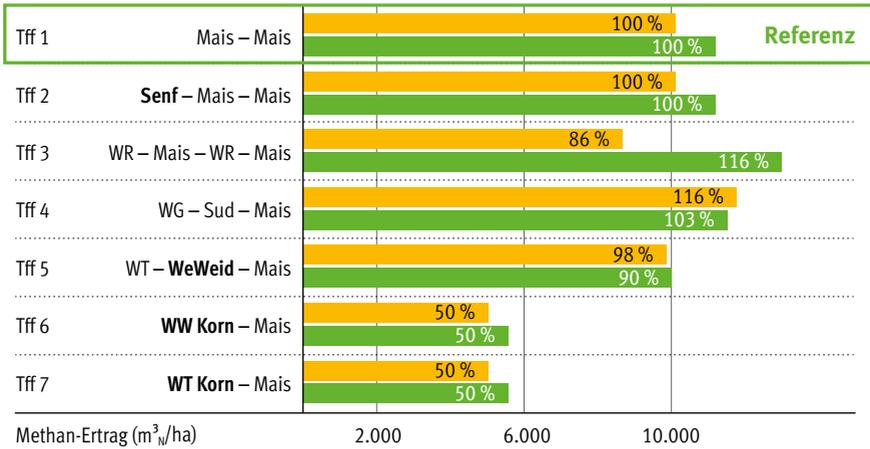
Standort	N_{Gesamt} (kg/m ³)	Trocken- masse (%)	Humuswirkung (kg H ₂ O je 10 kg N_{Gesamt} aus Gärrest)
Dornburg	3,2	5,0	22,0
Werlte	4,6	5,9	17,3

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: Am Standort Werlte (Niedersachsen) wurden insgesamt höhere mittlere Methan-Hektarerträge erzielt als in Dornburg (Thüringen). Die Zweikultursysteme Roggen-Mais-Roggen-Mais (Tff 3), Wintergerste-Sudangras-Mais (Tff 4) und Triticale-Welsches Weidelgras-Mais (Tff 5) zeigten dabei 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). Dieses Zweikultursystem hatte den Fruchtartenwechsel erst Ende Juni. In Werlte zeigte dagegen die Folge Roggen-Mais-Roggen-Mais (Tff 3) als Zweikultursystem die höchsten Methan-Hektarerträge (**120 %** von Mais in Selbstfolge). Der Fruchtartenwechsel erfolgte hier bereits im Mai.

Humusversorgung des Bodens: In den Fruchtfolgen Senf-Mais-Mais (Tff 2) und Triticale-Weidelgras-Mais (Tff 5) wurde an beiden Standorten ein ausgeglichener Humussaldo (Saldenklasse „C“) erzielt. 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

ERGEBNISSE DER STANDORTE DORNBURG UND WERLTE



■ Dornburg

■ Werlte

WR = Winterroggen, WT = Wintertriticale, WW = Winterweizen, WG = Wintergerste, Sud = Sudangras, WeWeid = Welsches Weidelgras, Häq = Humusäquivalente

Quelle: M. Willms, 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.

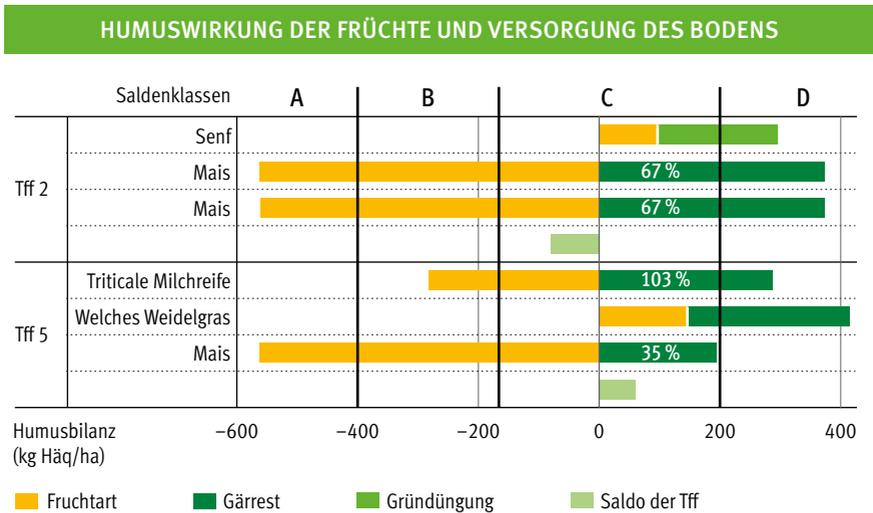
(Tff 4) zeigten negative Humussalden. Diese sind mit der weiteren Fruchtfolgegestaltung auszugleichen.

Durch den Anbau von Getreide mit Körnerernte gefolgt von Mais (Tff 6 und 7) mit dem Verbleib des Stroh 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 wasserschutzorientierte 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 375 kg Häq/ha, 67 % des Humus-



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)

bedarfs. Die humusmehrende Wirkung der Gründüngung mit Senf betrug 53 % des Humusbedarfs von einem Jahr Maisanbau und konnte die Humusbilanz der Fruchtfolge 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 Bodenumusvorrates 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:

1. 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.
2. Der Anbau von Mais in Selbstfolge mit der Düngung von Gärresten führt dagegen zu Humusabbau und negativen Humussalden.
3. 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.

4.7 Wasserschutzfruchtfolgen mit Energiepflanzen – Potenziale und Wirtschaftlichkeit

Fragestellung: 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 des Standortes 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 **Gewässerschutzfruchtfolge** und einer **Klima- und Wasserschutzfruchtfolge** mit reduzierter Stickstoff (N)-Düngung (-25 % N bezogen auf Stickstoffbedarfsanalyse nach Länderempfehlung sowie die zugehörige Sollwert-Variante) einer **Referenzfruchtfolge** von Mais in Selbstfolge (3 Jahre Mais, bzw. Mais und Sorghum mit Sollwertdüngung) gegenübergestellt. Die Versuchsvarianten „N-Sollwert“ und „N -25 %“ unterscheiden sich nur in der Höhe der Düngermenge.

Arbeitsgangabfolge, der Einsatz von Saatgut sowie Pflanzenschutzmitteln unterscheiden sich lediglich zwischen den Standorten, innerhalb der Standorte bei gleichen Kulturen jedoch nicht.

An beiden Standorten wurde der Biomasseertrag erfasst und rechnerisch der Methan-Hektarertrag abgeleitet. Als Wasser-schutzparameter 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 Düngenniveau orientierte sich jeweils an den Düngempfehlungen 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 Versucherträgen 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 (weiterführende Informationen zur ökonomischen Bewertung: Auerbacher, 2016).

Ergebnisse am Standort Ascha: In der **Klima- und Wasserschutzfruchtfolge** (Tab. 2) wurde im ersten Jahr Mais als Hauptfrucht gefolgt von Grünroggen als Winterzwischenfrucht angebaut. Im zweiten Jahr folgte nach der Ernte des Grünroggens die Zweitfrucht Sudangras. Im Herbst kam dann Triticale zum Anbau und wurde im dritten Jahr als Hauptfrucht geerntet. Im dreijährigen Mittel erbrachte die Sollwertvariante mit 84 dt TM/ha gegenüber der N-reduzierten Variante lediglich einen Mehrertrag von 5 %. Die N-reduzierte Variante zeigte mittlere Herbst-N_{min}-Werte von 61 kg N/ha pro Jahr.

Gegenüber der Sollwertdüngung konnte der Herbst-N_{min} damit um 39 % deutlich gesenkt werden, wengleich der gewünschte Zielwert von 50 kg N/ha überschritten wurde. Der in allen Varianten witterungsbedingt unterdurchschnittliche Maisertrag im Anbaujahr 2013 hat in dem Jahr aufgrund geringerer Nährstoffentzüge den Herbst-N_{min} negativ beeinflusst. Die N-Salden waren in beiden Varianten nahezu ausgeglichen. Die Berechnung des DAKfL zeigt, dass die N-Einsparung in der reduzierten Variante auch wirtschaftlich leicht von Vorteil war.

TAB. 2: STANDORT ASCHA: ERGEBNISSE DER KLIMA- UND WASSERSCHUTZFRUCHT-FOLGE IN 2 DÜNGENIVEAUS (REFERENZ –25 % N), DATEN 2013–2015

Klima + Wasserschutzfruchtfolge	Jahr	1 (2013)	2 (2014)	2 (2014)	3 (2015)	Fruchtfolge-mittel
	Fruchtart	Mais	W. Roggen	Sudangras	W. Triticale	
	FF-Stellung ¹	Hf ²	WZwF ³	Zf ⁴	Hf ²	
N –25 %	Ertrag [dt TM/ha]	44	59	101	118	80
	Methan-Ertrag [m ³ /ha]	1.145	1.617	2.517	3.254	2.133
	Herbst-N _{min} [kg/ha]	70		51		61
	N-Saldo [kg/ha]	54	-44	-24	-47	-15
	DAKfL [€/ha]	-484	105	115	455	48
Referenz N-Sollwert	Ertrag [dt TM/ha]	40	67	100	130	84
	Methan-Ertrag [m ³ /ha]	1.072	1.766	2.499	3.609	2.237
	Herbst-N _{min} [kg/ha]	150	-	49	-	100
	N-Saldo [kg/ha]	88	-46	-4	-23	4
	DAKfL [€/ha]	-553	103	78	536	41

¹ FF = Fruchtfolge
² Hf = Hauptfrucht

³ WZwF = Winterzwischenfrucht
⁴ Zf = Zweitfrucht

In der **Wasserschutzfruchtfolge** (Tab. 3) wurde im ersten Jahr Mais mit Untersaat Weidelgras angebaut. Das Weidelgras wurde dann im zweiten Jahr als Hauptfrucht genutzt, im dritten Jahr noch einmal geerntet und danach Sudangras als Sommer angebaut. Im Mittel der Fruchtfolge wurden 77 dt TM/ha und Jahr geerntet. Der Herbst-N_{min}-Wert lag im Mittel der Jahre mit 55 kg N/ha und Jahr nur halb so hoch wie in der Referenzfruchtfolge (Tab. 4). Auch der N-Bilanzsaldo fiel mit durchschnittlich 21 kg N/ha und Jahr niedrig aus. Ein aus Gewässerschutzsicht weiterer Vorteil dieser Fruchtfolge ist die durchgehende Bodenbedeckung, die sich durch die Etablierung des Weidelgrases ergibt. Gerade erosionsanfällige Standorte in Hanglagen und an Fließgewässern können hiervon profitieren. Mit einem mittleren DAKfL von 93 €/ha und Jahr stellte sich die Wasserschutzfruchtfolge deutlich wirtschaftlicher dar als die Klima- und Wasserschutzfruchtfolge.

Der Anbau der **Referenzfruchtfolge** (Maisfruchtfolge) erfolgte mit dem Ziel, eine hohe Ertragsleistung am Standort Ascha zu erzielen. Es kamen 2013 und 2014 Mais und im Jahr 2015 Sudangras zum Anbau (Tab. 4). Diese Fruchtfolge erzielte mit 99 dt TM/ha und Jahr erwartungsgemäß höhere Biomasseerträge als die Wasserschutzfruchtfolgen. Die Herbst-N_{min}-Werte lagen jedoch trotz ortsüblichem Sollwert-Düngeneiveau und rein mineralischer Düngegabe im Mittel bei über 100 kg N/ha. Der hohe Reststickstoffgehalt im Boden vor Winter ist ein klarer Hinweis darauf, dass der gedüngte Stickstoff trotz hoher Biomasseerträge nur teilweise durch die Pflanzen entzogen werden konnte. Das N-Auswaschungsrisiko dieser Maisfolge ist somit hoch, ebenso wie in der Referenz-Sollwertvariante der Klima- und Wasserschutzfruchtfolge. Wirtschaftlich betrachtet stellte sich die Maisfruchtfolge aufgrund von Mindererträgen in 2013

TAB. 3: STANDORT ASCHA, WASSERSCHUTZFRUCHTFOLOGE, SCHWERPUNKT GANZJÄHRIGE BODENDECKUNG DURCH GRÄSER, DATEN 2013–2015

Wasser- schutz	Jahr	1 (2013)	1 (2013)	2 (2014)	3 (2015)	3 (2015)	Frucht- folge- mittel
	Fruchtart	Mais	Weidel- gras ¹	Weidel- gras ¹	Weidel- gras ¹	Sudan- gras	
	FF-Stellung ²	Hf ³	Us ⁴	Hf ³	Hf ³	StS ⁵	
	Ertrag [dt TM/ha]	39		111	59	99	77
	Methan-Ertrag [m ³ /ha]	1.045		2.964	1.655	2.600	2.066
	Herbst-N _{min} [kg/ha]	136	35	35	35	35	55
	N-Saldo [kg/ha]	65	14	14	6	6	21
	DAKfL [€/ha]	-481	-161	834	204	69	93

¹ Mischung aus Deutschem und Welschem Weidelgras

² FF = Fruchtfolge
³ Hf = Hauptfrucht

⁴ Us = Untersaat
⁵ StS = Stoppelaussaat

schlechter als die Wasserschutzfruchtfolge, aber etwas günstiger als die Klima- und Wasserschutzfruchtfolge dar.

Einen direkten Vergleich der Fruchtfolge-mittel der untersuchten vier Fruchtfolgen zeigt Abb. 20.

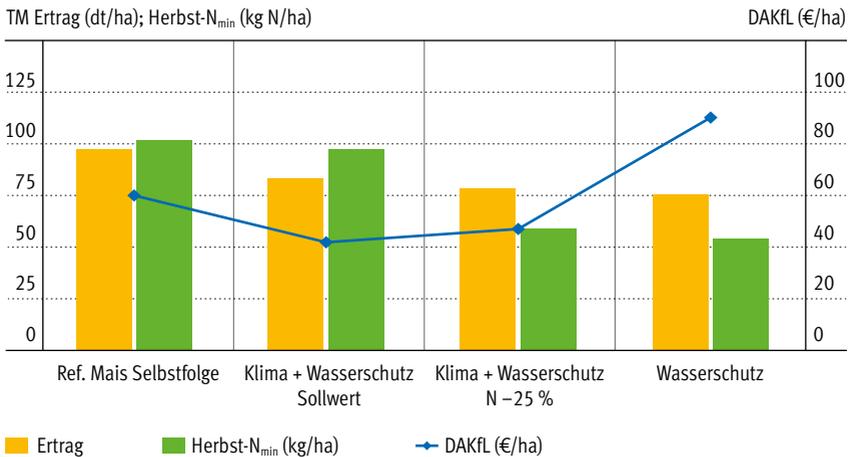
TAB. 4: STANDORT ASCHA: ERGEBNISSE DER ERTRAGSORIENTIERTEN REFERENZ-FRUCHT-FOLGE MIT MAIS/SUDANGRAS IN SELBSTFOLGE, DATEN 2013–2015

Mais/ Sudangras Selbstfolge	Jahr	1 (2013)	2 (2014)	3 (2015)	Frucht- folge- mittel
	Fruchtart	Mais	Mais	Sudangras	
	FF-Stellung ¹	Hf ²	Hf ²	Hf ²	
	Ertrag [dt TM/ha]	37	145	115	99
	Methan-Ertrag [m ³ /ha]	974	4.172	3.014	2.720
	Herbst-N _{min} [kg/ha]	167	94	49	103
	N-Saldo [kg/ha]	97	-32	-4	20
	DAKfL [€/ha]	-602	556	271	75

¹ FF = Fruchtfolge

² Hf = Hauptfrucht

STANDORT ASCHA: ÜBERSICHT DER FRUCHT-FOLGEMITTEL VON BIOMASSEERTRAG



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

© FNR 2018

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

Es wird deutlich, dass bei den an Umweltzielen ausgerichteten Fruchtfolgen N –25 % und Wasserschutz mit etwas geringeren Biomasserträgen 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. 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 Wasserschutz-Fruchtfolge** wurde wie auch am Standort Ascha im ersten Jahr Mais gefolgt von Winterzwischenfrucht Grünroggen angebaut. Im Jahr zwei folgte dann als Zweitfrucht Futterhirse und im Herbst die Ansaat von Triticale. Im Jahr drei wurde sowohl die Triticale als auch das als Stoppelansaat gesäte Weidelgras als Zweitfrucht geerntet (Tab. 5). Der Biomassertrag lag in der N-reduzierten Variante im Mittel der Jahre bei 134 dt TM/ha und Jahr und damit 9 % unterhalb der Sollwertvariante. Der Herbst-N_{min}-Wert konnte durch die Düngereduktion leicht gesenkt werden. Der N-Saldo lag bei beiden Varianten im negativen Bereich.

TAB. 5: STANDORT HAUS DÜSSE, ERGEBNISSE DER KLIMA- UND WASSERSCHUTZ-FRUCHTFOLOGE IN ZWEI DÜNGENIVEAUS (REFERENZ –25 % N), DATEN 2013–2015

Klima + Wasserschutz Fruchtfolge	Jahr	1 (2013)	2 (2014)	2 (2014)	3 (2015)	3 (2015)	Frucht- folge- mittel
	Fruchtart	Mais	W.- Roggen	Futter- hirse	W.- Triticale	Einj. Weidelgras	
	FF-Stellung ¹	Hf ²	WZwF ³	Zf ⁴	Hf ²	StS ⁵	
N –25 %	Ertrag [dt TM/ha]	190	91	170	175	45	134
	Methan-Ertrag [m ³ /ha]	5.554	2.313	4.216	4.805	1.103	3.598
	Herbst-N _{min} [kg/ha]	55		33		34	41
	N-Saldo [kg/ha]	-141	-62	-29	-32	3	-52
	DAKfL [€/ha]	1.374	398	802	776	-360	598
N-Sollwert	Ertrag [dt TM/ha]	206	98	184	197	57	148
	Methan-Ertrag [m ³ /ha]	5.926	2.428	4.587	5.393	1.395	3.946
	Herbst-N _{min} [kg/ha]	49		36	70	42	49
	N-Saldo [kg/ha]	-140	-54	-27	-25	8	-48
	DAKfL [€/ha]	1459	502	937	939	-280	712

¹ FF = Fruchtfolge

² Hf = Hauptfrucht

³ WZwF = Winterzwischenfrucht

⁴ Zf = Zweitfrucht

⁵ StS = Stoppelaussaat

Die Direkt- und Arbeiterledigungskosten-freien Leistungen liegen auf recht hohem Niveau. Abgesehen vom Weidelgras wiesen alle Fruchtfolgeglieder positive DAKfL auf. Die Hauptertragsbildner der Fruchtfolgen sind Mais gefolgt von Futterhirse und Triticale. Diese Kulturen zeichneten sich auch durch die höchste Wirtschaftlichkeit aus. Die Variante mit Düngempfehlung auf Sollwertbasis stellte sich ökonomisch vorzüglicher dar als die N-reduzierte Variante.

Die **Wasserschutzfruchtfolge** startete im Jahr eins mit einem Roggen-Triticale-Gemenge mit Weidelgrasuntersaat. Im Jahr zwei kam das Weidelgras zur Ernte, gefolgt von Mais in Zweitfruchtstellung. Nach der Ernte folgte dann Weidelgras als Winterzwischenfrucht und nachfolgendem Zweitfruchtmais (Tab. 6). Die Fruchtfolge zeigte Biomasserträge in Höhe von 123 dt TM/ha und Jahr und somit ein etwas niedrigeres Niveau als die N –25 %-Fruchtfolge. Der Herbst-N_{min}-Wert lag mit im Mittel 43 kg N/ha und Jahr in einem niedrigen Bereich. Der N-Saldo fiel

TAB. 6: STANDORT HAUS DÜSSE, GRÄSERBETONTE WASSERSCHUTZFRUCHTFOLOGE MIT SCHWERPUNKT GANZJÄHRIGE BODENDECKUNG, DATEN 2013–2015

Wasserschutz Fruchtfolge	Jahr	1 (2013)	1 (2013)	2 (2014)	2 (2014)	3 (2015)	3 (2015)	Frucht- folge- mittel
	Fruchtart	W.-Roggen, W.-Triticale	Welsches Weidel- gras	Welsches Weidel- gras	Mais	Welsches Weidel- gras	Mais	
	FF-Stellung ¹	Hf ²	Us ³	WZwF ⁴	Zf ⁵	WZwF ⁴	Zf ⁵	
	Ertrag [dt TM/ha]	187	16	55	221	67	191	123
	Methan-Ertrag [m ³ /ha]	4.797	477	1.611	6.628	1.973	5.754	3.540
	Herbst-N _{min} [kg/ha]	–	21	–	64	–	44	43
	N-Saldo [kg/ha]	–218	33	5	–65	–18	–73	–56
	DAKfL [€/ha]	1.059	–292	192	1.454	31	892	556

¹ FF = Fruchtfolge
² Hf = Hauptfrucht

³ Us = Untersaat
⁴ WZwF = Winterzwischenfrucht

⁵ Zf = Zweitfrucht

mit -56 kg N/ha und Jahr im Mittel der Jahre leicht negativ aus. Die Wasserschutzfruchtfolge erzielte im Mittel der Jahre eine DAKfL von 556 €/ha . Sie schneidet damit ökonomisch gesehen etwas schlechter ab als die stickstoffreduzierte Fruchtfolge. Die wirtschaftlichsten Kulturen der Fruchtfolge waren der Mais und das Wintergetreide. Die Gräser in Untersaat oder Zwischenfruchtstellung konnten hier erwartungsgemäß nicht konkurrieren, haben aber durch Sicherung einer ganzjährigen Bodendeckung wesentlich zur Erosionsminderung sowie zur Vermeidung von P- und N-Austrägen beigetragen. Und auch die niedrigen Herbst- N_{\min} -Werte sind auf diese Fruchtfolgeelemente zurückzuführen.

Als ertragsstarke Referenz wurde Mais in Selbstfolge angebaut (Tab. 7). Erwartungsgemäß erzielte die Mais-Selbstfolge mit im Mittel der Jahre 215 dt TM/ha und Jahr den höchsten Biomasseertrag. Die Herbst- N_{\min} -Werte lagen trotz ortsüblicher Sollwert-Düngung und rein mineralischer Düngegabe

im Mittel bei 62 kg N/ha und damit rund 20 kg N/ha über den Werten der Wasserschutz- und N-reduzierten Varianten. Die N-Salden fielen deutlich negativ aus, was für Mais typisch ist. Insgesamt wird für diesen Gunststandort deutlich, dass Mais sehr hohe Biomasseerträge erzielt, die durch Gräser oder Ganzpflanzengetreide kaum zu erreichen sind. Dementsprechend konnte für Mais in Selbstfolge mit 1.292 €/ha und Jahr auch die höchste Wirtschaftsleistung ermittelt werden. Zu beachten ist jedoch, dass nach guter fachlicher Praxis nicht mehr als 50% Mais in der Fruchtfolge anzustreben sind und 70% generell nicht überschritten werden sollten. Zudem geht bei einem Maisanbau in Selbstfolge langfristig ein Humusabbau einher und das Risiko phytosanitärer Probleme steigt.

Einen direkten Vergleich der drei untersuchten Fruchtfolgen auf Basis der Dreijahresmittelwerte zeigt Abbildung 21.

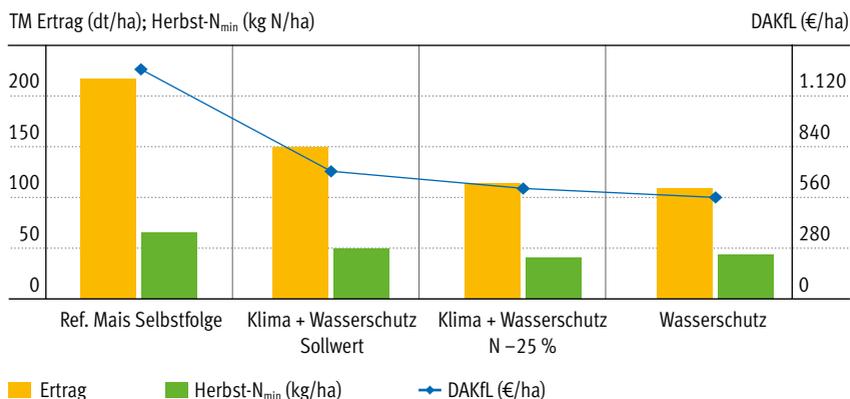
TAB. 7: STANDORT HAUS DÜSSE, ERGEBNISSE DER ERTRAGSORIENTIERTEN REFERENZFRUCHTFOLOGE MIT MAIS IN SELBSTFOLGE, DATEN 2013–2015

Mais Selbstfolge	Jahr	1 (2013)	2 (2014)	3 (2015)	Fruchtfolge-mittel
	Fruchtart	Mais	Mais	Mais	
	FF-Stellung ¹	Hf ²	Hf ²	Hf ²	
	Ertrag [dt TM/ha]	173	255	218	215
	Methan-Ertrag [m ³ /ha]	4.977	7.456	6.258	6.230
	Herbst- N_{\min} [kg/ha]	97	56	32	62
	N-Saldo [kg/ha]	-103	-211	-92	-135
	DAKfL [€/ha]	989	1.804	1.084	1.292

¹ FF = Fruchtfolge

² Hf = Hauptfrucht

HAUS DÜSSE: ÜBERSICHT DER FRUCHTFOLGEMITTEL VON BIOMASSEERTRAG



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

© FNR 2018

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

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 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 diesem Standort somit zwar rund 20 kg N/ha niedrigere Herbst-N_{min}-Werte sowie ausgeglichene Humusbilanzen und geringere Erosionsanfälligkeit 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. mittels Zwischenfruchtanbau möglich. Diese weiteren Überlegungen sollten in Anbauentscheidungen mit einbezogen werden.

Fazit: Durch den Anbau gewässerschonen-der 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 dtTM/ha und Jahr, können alternative Kulturen wie Sudangras, Ganzpflanzenroggen oder Weidelgräser vergleichbare Erträge liefern. Auch die N-Reduktion zeigte an diesem Standort positive Grundwasserschutzeffekte. Die Wasserschutzfruchtfolge mit der ganzjährigen Bodenbedeckung durch Gräser in Kombination mit Mais als Zweitfrucht bot zudem die größte Wirtschaftlichkeit.

Für den Standort **Haus Düsse** mit deutlich höherem Ertragsniveau zeigte die um 25 % N-reduzierte Fruchtfolge sowohl aus Gewässerschutzsicht als auch ökonomisch eine Vorzüglichkeit gegenüber der Wasserschutzvariante. Mit der Abnahme des Maisanteils in der Fruchtfolge zugunsten von Getreide und Gräsern geht an diesem Standort eine deutlich abnehmende ökonomische Vorzüglichkeit einher, sodass wasserschutzorientierte Fruchtfolgen weniger ökonomisch sein können.

4.8 Modellierung – neue Wege zur Abschätzung des Nitrataustrags

Überblick: Neben klassischen Stickstoff (N)-Bilanzierungsmethoden (z. B. Herbst- N_{\min} -Methode) werden heutzutage verstärkt Simulationsmodelle eingesetzt, um das N-Austragspotenzial oder die N-Wassergüte an einem Standort zu berechnen. Dabei

spielen prozessorientierte, dynamische Agrarökosystemmodelle eine besondere Rolle, da sie die biochemischen Prozesse und Rückkopplungseffekte im dynamischen Atmosphäre-Boden-Pflanze-System berücksichtigen und zusätzlich eine Vielzahl an Variablen (z. B. Ertrag, Verdunstung) berechnen. Ein weiterer Vorteil dieser Modelle liegt darin, dass nicht nur ein Potenzial zum Nitrataustrag ermittelt wird, sondern eine genaue Menge und Konzentration. Prozessorientierte Modelle erlauben eine detaillierte Untersuchung zum N-Kreislauf z. B. wann, warum und wie viel N ins Grundwasser ausgetragen wird. Dies bietet die Möglichkeit, die Ursachen zu identifizieren, entgegenzuwirken und die Bewirtschaftung anzupassen, um Nitratausträge zu verringern.

Fragestellung: Innerhalb des EVA-Projekts wurde das Modell MONICA (Model for Nitrogen and Carbon Dynamics in Agroecosystems) (Nendel et al., 2011) für Energiepflanzenfruchtfolgen und Gärrestdünger weiterentwickelt und angepasst, um Handlungsoptionen zur Reduzierung des N-Austrags abzuleiten. Im Rahmen des Versuchs „Kleiner Gärrest“ wurden die N-Austräge in drei verschiedenen Düngevarianten modelliert, um zu prüfen, inwieweit eine Gärrestdüngung den N-Austrag senken oder erhöhen kann.

Methodik: Innerhalb des Versuchs „Kleiner Gärrest“ wurden die Düngevarianten „N aus 100 % mineralischer Düngung“, „N aus 50 % mineralischer und 50 % Gärrestdüngung“ und „N aus 100 % Gärrestdüngung“ untersucht. Die N-Düngung wurde stets standort-

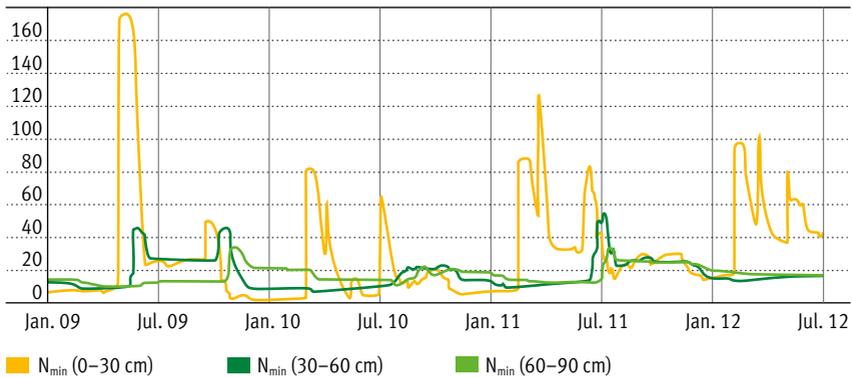
und fruchtartspezifisch anhand der N-Sollwertmethode berechnet. Die Gärrestdüngung wurde mithilfe eines Mineraldüngeräquivalents von 70 % daran angepasst, sodass alle drei Düngewarianten das gleiche Düngeneiveau erhalten haben. Während des Feldversuchs wurden verschiedene Boden-, Wetter- und Bewirtschaftungsdaten gesammelt, die als Eingangsgrößen für das Modell MONICA dienten. Damit wurden für fünf EVA-Standorte und jeweils zwei Anlagen (2009–2012 und 2010–2013) die täglichen N-Austräge modelliert und aufsummiert.

Ergebnisse: Durch die hohe zeitliche Auflösung (Tagesschritte) wurden verschiedene zugrundeliegende Prozesse sichtbar. Abbildung 22 zeigt die N_{min} -Gehalte in ver-

schiedenen Bodenschichten und verdeutlicht damit die mineralische N-Verlagerung in die Tiefe. N_{min} -Düngegaben im Frühjahr werden nur vereinzelt und stark abgeschwächt in tiefere Bodenschichten verlagert, da sie weitgehend von den Pflanzen aufgenommen werden. Nacherte-N $_{min}$ -Gehalte im Boden und Stickstoff aus der weiteren Mineralisierung im Herbst werden dagegen über den Winter direkt in die nächsten Bodenschichten weiterverlagert. Inwieweit frisch ausgesäte Winterfrüchte diesen Stickstoff noch aufnehmen können, hängt demzufolge stark von dem Aussaatdatum und der Wurzelentwicklung ab. Hier kann die Modellierung nicht nur helfen, Verlagerungsprozesse zu verdeutlichen, sondern ermöglicht auch die Konkretisierung von optimalen Aussaatzeitpunkten für

N_{min}-GEHALT JE BODENSCHICHT AM EVA-STANDORT GÜLZOW

Täglicher N_{min}-Gehalt je Bodenschicht (kgN ha⁻¹ 30 cm⁻¹)



Quelle: A. Prescher, ZALF

© FNR 2018

Abb. 22: N_{min} -Gehalt je Bodenschicht (0–30 cm, 30–60 cm, 60–90 cm) am EVA-Standort Gülzow für die EVA-Fruchtfolge 03 (Mais-Winterroggen-Futterhirse-Wintertriticale-Weidelgras-Winterweizen) in der Anlage 2009–2012. Tageswerte modelliert mit dem Modell MONICA.

Winterungen und Zwischenfrüchte sowie die Ableitung von Sperrzeiten, um die N-Austräge so gering wie möglich zu halten.

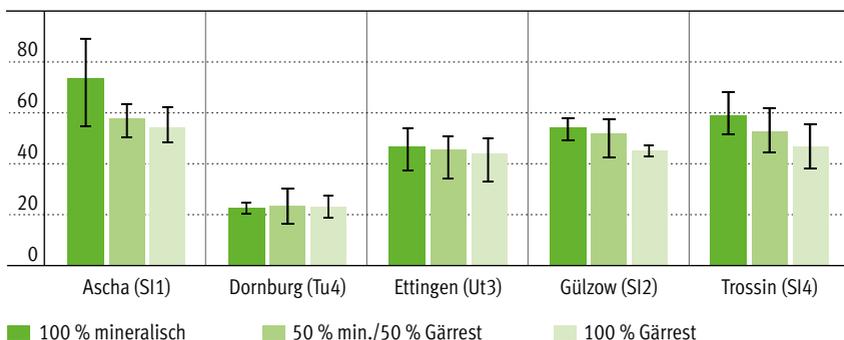
Mithilfe der modellierten Tageswerte des N-Austrags kann der N-Austrag der gesamten Fruchtfolge oder auch einzelner Jahre berechnet werden. Abb. 23 zeigt die modellierten N-Austräge für drei Düngewarianten je Standort. Der N-Austrag variiert aufgrund der unterschiedlichen standortspezifischen Boden-, Wetter- und Bewirtschaftungsdaten. Mithilfe der Modellierung kann nun der Einfluss der Düngewariante auf den N-Austrag beurteilt werden. Hier zeigte sich, dass trotz der unterschiedlichen Standorteigenschaften die Gärrestdüngung an fast allen Standorten zu einer Verringerung der N-Austräge führt oder keine Änderung zu verzeichnen ist. Dies ist auf die

Eigenschaft der Gärreste, nur langsam zu mineralisieren, zurückzuführen. Dadurch steht der Stickstoff den Pflanzen über einen längeren Zeitraum zur Aufnahme zur Verfügung und die N-Tiefenverlagerung wird gebremst. Die Modellierung bietet auch die Möglichkeit in einer Szenarienrechnung z. B. die Gärrestanteile zu variieren, um somit die optimale Düngewariante für den Standort zu ermitteln.

Hinweis: Nur gut kalibrierte Modelle sollten verwendet werden, die ausdrücklich dafür geeignet sind, den Stickstoffhaushalt in Agrarökosystemen zu betrachten. Besonders bei der Berechnung des Nitrataustrags ist es wichtig, dass Bodenumsatzprozesse wie z. B. Nitrifikation und Denitrifikation sowie pflanzenphysiologische Prozesse der N-Aufnahme im Modell berücksichtigt werden.

MODELLIERTER STICKSTOFFAUSTRAG AN FÜNF STANDORTEN DES EVA-VERBUNDES

Modellierter N-Austrag (kg N/ha⁻¹ a⁻¹)



Quelle: A. Prescher, ZALF

© FNR 2018

Abb. 23: Modellierter Stickstoffaustrag an fünf Standorten des EVA-Verbundes. Dargestellt sind der Mittelwert und die Standardabweichung über zwei Anlagen. In Klammern: vorherrschende Bodenart der Standorte

Fazit: Prozessorientierte Agrarökosystemmodelle sind hilfreiche Instrumente, um schwer messbare Größen wie den Nitrataustrag standortspezifisch zu berechnen. Sie ermöglichen einen detaillierteren Blick auf die ablaufenden Prozesse und eine Identifikation der Schlüsseltreiber. Dadurch können geeignete Handlungsoptionen (z. B. Wahl der Fruchtart, Aussaatzeitpunkte) abgeleitet werden, um den Nitrataustrag an einem bestimmten Standort zu senken.

4.9 Durchwachsene Silphie – Perspektiven für den Gewässerschutz

Es werden Ergebnisse des Verbundprojektvorhabens „Silphie: Anbauoptimierung, Sätechnik und Züchtung“, Laufzeit 2015–2017, gefördert vom BMEL, vorgestellt.

Fragestellung: Welchen Einfluss haben unterschiedliche Varianten mineralischer, organischer sowie organisch-mineralischer Düngung auf den Biomassertrag, den

N-Gehalt und die Rest-N_{min}-Werte vor Winter beim Anbau der Dauerkultur Durchwachsene Silphie?

Methoden: Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf einen Versuch der Versuchstation Dornburg der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Tab. 8). Die Parzellengrößen betragen 40,5 m² und kommen in vierfacher Wiederholung zur Anlage. Die Größe der Ernteparzelle beläuft sich auf 13,5 m².

Der Versuch wurde 2009/10 als Aussaatzeitenversuch angelegt und wird seit 2013 in nachfolgenden Varianten gedüngt:

PG 1: Mineralisch (Kalkammonsalpeter) auf N-Sollwert 150 kg/ha

PG 2: Mineralisch-stabilisiert (Entec 26) auf N-Sollwert 150 kg/ha

PG 3: Organisch-mineralisch, 50 m³ Gärrest + mineralisch auf N-Sollwert 150 kg/ha

PG 4: Organisch, 50 m³ Gärrest

PG 5: Organisch, 50 m³ Gärrest stabilisiert

PG 6: Organisch, 2 x 25 m³ Gärrest.

(PG = Prüfglied)

TAB. 8: CHARAKTERISIERUNG DER VERSUCHSSTATION DORNBURG

Geologie	Bodentyp	Bodenart	Ackerzahl	Höhenlage (m)	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)
Mittlerer Muschelkalk mit Lößauflage	Löss-Parabraunerde	Stark toniger Schluff	46–80	260	8,9	605

Die Düngung erfolgte bei den Prüfgliedern 1–5 zu Vegetationsbeginn in einer Gabe. Lediglich bei Prüfglied 6 wurde die zweite Gabe ca. 4 Wochen später zu Schossbeginn verabreicht. Der Stickstoff aus den organischen Düngemitteln wurde mit einem Mineraldüngeräquivalent von 70 % für das jeweilige Jahr angerechnet. Weitere Maßnahmen zur Bestandsführung waren in der Regel nicht erforderlich. Geerntet wurde Ende August bei Trockensubstanzgehalten von ca. 25 % mit einem Maishäcksler. Jährlich zu Vegetationsbeginn erfolgte eine Bodenuntersuchung zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs. In der angegebenen N-Zufuhr ist jeweils das Frühjahrs- N_{\min} voll enthalten. Nach der Ernte wurde der Rest- N_{\min} im Boden (N_{\min} 0–60 cm) gemessen. Durch die Analyse der N-Gehalte des Erntegutes konnten die N-Entzüge berechnet werden.

Ergebnisse: Die **Biomasseerträge** erreichten im Mittel der Jahre und Prüfglieder 193 dt/ha Trockenmasse. Die Erträge der organisch gedüngten Varianten lagen auf relativ gleichem, hohem Niveau wie die mineralisch gedüngten Varianten. Lediglich zwischen der mineralisch mit stabilisiertem Dünger gedüngten und der frühen Gärrestdüngung waren im ersten Versuchsjahr (2013) signifikante Unterschiede feststellbar, wobei das organisch gedüngte Prüfglied dem mineralisch gedüngten überlegen war. In den Folgejahren traten kaum noch signifikante Unterschiede auf. Interessant war, dass die mit Gärresten gedüngten Varianten mit geringerer Gesamt-N-Menge meist auf dem gleichen Ertragsniveau

lagen wie die auf einen N-Sollwert von 150 kg/ha gedüngten Varianten. Über die Jahre gesehen ist hier mit einer Mineralisierung des organisch gebundenen Stickstoffs zu rechnen, was die relativ hohen und konstanten Erträge der organisch gedüngten Varianten erklären könnte (Abb. 24).

Die **N-Gehalte im Erntegut** variierten zwischen 0,55 und 1,23 % TM (Mittel 0,84 % TM), wobei keine klaren Tendenzen zwischen den Düngungsvarianten erkennbar waren. Die Unterschiede scheinen eher jahresbedingte Ursachen zu haben und könnten Folge unterschiedlich pflanzenverfügbaren N-Mengen im Boden aufgrund der Jahreswitterung und der Düngung sein.

N_{\min} -Werte: Generell schöpfte die Silphie den pflanzenverfügbaren **Stickstoff** während ihrer Standzeit nahezu vollständig aus, wie die N_{\min} -Gehalte des Bodens nach der Ernte belegen. Auch im Frühjahr zu Vegetationsbeginn waren in den Jahren 2013–2015 nur sehr geringe Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden vorhanden. Lediglich im Frühjahr 2016 lagen die Werte auf ungewöhnlich hohem Niveau. Eine Ursache ist in der milden Winterwitterung zu sehen, die zu einer höheren Mineralisierung im Boden geführt hat. Das hohe Frühjahrs- N_{\min} wurde in der Düngplanung angerechnet, und das Gesamtdüngerniveau somit gleichgehalten. Die milde Witterung hatte zudem einen sehr frühen Austrieb der Silphie zu Folge. Der Rest- N_{\min} nach der Ernte fiel somit, wie in den anderen Versuchsjahren auch, sehr niedrig aus (Abb. 23). Durch die stetig vorhandene,

intensive Bewurzelung der Dauerkultur Silphie sind **Nitratauswaschungen** durch unkontrollierte Mineralisierung oder geringen N-Entzug nahezu auszuschließen.

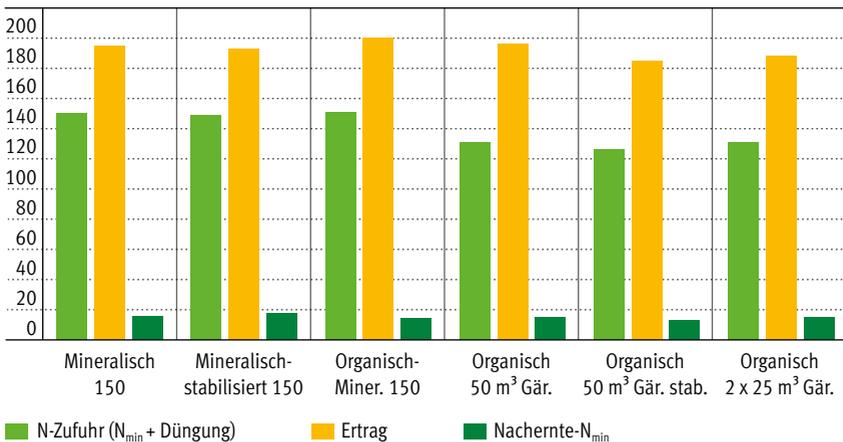
N-Salden: Im Mittel des Versuchs entzog die Silphie ca. 160 kg N/ha und Jahr, was über dem veranschlagten N-Sollwert lag. Die aus der Differenz von ausgebrachter N-Düngung und dem Entzug berechneten N-Salden als vereinfachte N-Bilanzierung lagen nahezu durchgehend im negativen Bereich (Abb. 25). Auch die N-Salden unterstreichen die hohe Wasserschutzleistung der Durchwachsenen Silphie in diesem Versuch.



Durchwachsene Silphie

N-ZUFUHR, TM-ERTRAG UND NACHERNTE-N_{min}-WERT VON DURCHWACHSENER SILPHIE

Ertrag (dt TM/ha) und N-Düngung (kg N/ha)



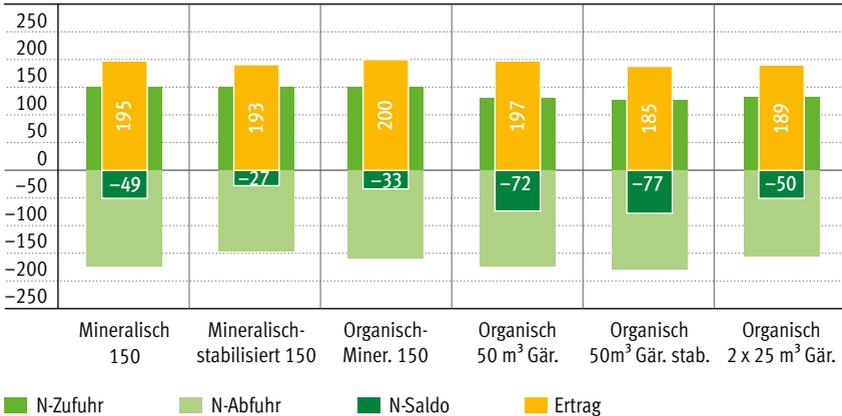
Quelle: TLL

© FNR 2018

Abb. 24: N-Zufuhr (N_{min} + Düngung), TM-Ertrag und Nachernte-N_{min}-Wert von Durchwachsener Silphie bei unterschiedlicher Düngung. Dornburg, Mittelwerte 2013–2016

N-ZUFUHR, N-ENTZUG UND N-SALDO VON DURCHWACHSENER SILPHIE

N (kg/ha) und Ertrag (dt TM/ha)



Quelle: TLL

© FNR 2018

Abb. 25: N-Zufuhr, N-Entzug und N-Saldo von Durchwachsener Silphie bei unterschiedlicher Düngung. Dornburg, Mittelwerte 2013–2016

Fazit: Im Ergebnis des Versuches ist einzuschätzen, dass die Durchwachsene Silphie bei angemessener N-Düngung nach der Ernte nur sehr geringe N-Mengen im Boden hinterlässt. Eine Ertragsminderung war auch bei Düngung unterhalb des N-Sollwerts nicht zu verzeichnen. Daraus lässt sich ableiten, dass etablierte Bestände durch ihr stark ausgeprägtes Feinwurzelsystem bei reduzierter N-Düngung den im Boden vorhandenen Stickstoff sehr gut erschließen können. Gleichzeitig belegen 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. Durch den mehrjährigen Anbau bietet die Silphie ein hohes Maß an Bodendeckung, Durchwurzelung und Bodenruhe. Sie bietet somit auch interessante Potenziale im Hinblick auf die Vermeidung von Oberflächenabfluss und P-Abtrag durch Erosion.

4.10 Riesenweizengras – Lösung für trockene Standorte?

Riesenweizengras ist ein mehrjähriges Ackergras, das als trocken tolerant gilt und daher unter anderem in australischen Trockengebieten, der nordamerikanischen Prärie und in der argentinischen Pampa zur Futter- und Weidenutzung angebaut wird. Die scheinbare Trockentoleranz kann im Hinblick auf die Anpassung der heimischen Landwirtschaft an den Klimawandel mit zunehmenden periodischen Trockenphasen von großem Nutzen sein. 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.

Fragestellung: Am Standort NRW (Haus Düsse) wurde die Dauerkultur Riesenweizengras ab dem Jahr 2012 in Exaktversuchen getestet. Dabei konnten unter anderem durch Vergleiche mit dem FNR-Projekt EVA III erste Hinweise zum Gewässerschutzpotenzial erlangt werden. Aufgrund der positiven Voruntersuchungen sollen nun vertiefend in einem durch das BMEL geförderten Projekt die Erträge von Riesenweizengras mit der Referenzkultur Silomais verglichen und Aussagen über die Wirtschaftlichkeit erzielt werden (Bewertung von Riesenweizengras im Vergleich mit praxisüblichen Anbausubstraten unter Aspekten des Pflanzenbaus, der Wirtschaftlichkeit und des Umweltschutzes [BRAWU]; FKZ: 22025715, 22015216).



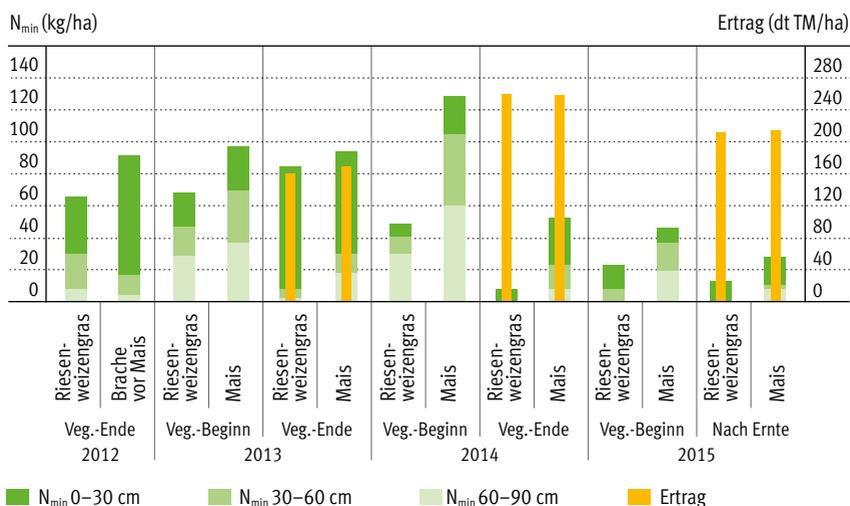
Szarvasi I, auch Riesenweizengras, wird als alternative Energiepflanze zu Mais getestet

Methoden: Das Riesenweizen gras wurde nach der Etablierung ab dem ersten vollständigen Standjahr mit einem N-Sollwert von 240 kg N ha⁻¹ auf eine Ertrags erwar tung von 20 t ha⁻¹ unter Anwendung der N-Sollwertmethode gedüngt. Als Referenz diente eine Mais-Selbstfolge ohne Winter zwischenfrucht, für die ein N-Sollwert von 190 kg N ha⁻¹ angestrebt wurde. Die Vor frucht mehrjähriges Acker gras mit langjähriger organischer Düngung wurde im August 2012 untergepflügt. Anschließend wurde

das Riesenweizen gras am 10.09.2012 ge sät, wohingegen die Mais-Parzellen als Bra che bis zur Maissaat überwinterten.

Ergebnisse: Riesenweizen gras hat eine ver gleichsweise langsame Jugendentwicklung, sodass die N-Nachlieferung aus dem Acker grasumbbruch bis zum Vegetationsbeginn 2013 kaum in Biomasse umgesetzt werden konnte. Im folgenden Etablierungsjahr bildet Riesenweizen gras sein tiefreichendes Wur zelsystem aus, welches in den Folgejahren

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



Quelle: ZNR – Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

© FNR 2018

Abb. 26: Entwicklung der N_{min}-Werte und des Biomasseertrags von Riesenweizen gras und Mais in Selbstfolge in einem Fruchtfolgeversuch von Vegetationsbeginn (Veg.-Beginn) und Vegetationsende (Veg.-Ende) bzw. eines Erntejahres. Beginnend mit der Aussaat von Riesenweizen gras in 2012, dem folgenden Etablierungsjahr und abschließend mit der Ernte in 2015. N_{min}-Werte unterhalb der Nachweisgrenze von 1 kg N ha⁻¹ sind nicht aufgeführt.

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 Bodennitrostoffgehalten zum Vegetationsende 2013. Für beide Kulturen lagen die Biomasseerträge in 2013 (Mais: 17 t TM ha^{-1} ; Riesenweizengras: 16 t TM ha^{-1}) 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 Riesenweizengraspraxis Schlag 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} ($4\text{--}18 \text{ kg N ha}^{-1}$).

Fazit: Die ersten Tests zeigen das Potenzial von Riesenweizengras, aufgrund der durchgängigen Bodenbedeckung und später Erntetermine Stickstoffverlagerungen und somit N-Auswaschung 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 Erosionen (und somit Eintrag in Gewässer) entgegen. Insgesamt ist das Riesenweizengras nach den derzeitigen Erkenntnissen eine Kultur mit hohem Gewässerschutzpotenzial. Zur ökonomischen und ökologischen Bewertung sind weitere Untersuchungen erforderlich.

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 wie Mais 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 Bodenbedeckung über Winter 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. Forschungsbedarf ist hier noch gegeben,

insbesondere hinsichtlich einer differenzierter Bewertung unterschiedlicher Zwischenfruchtmischungen im Hinblick auf die N-Freisetzung im Folgejahr. Neue Dauerkulturen, u. a. Riesengräser oder die Durchwachsene Silphie, bieten aufgrund ihrer Mehrjährigkeit bei niedrigem Düngenniveau ebenfalls interessante Potenziale für den Gewässerschutz. Zur Quantifizierung der Gewässerschutzleistung dieser neuen Dauerkulturen sind weitere Untersuchungen sinnvoll.

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 Ertragserswartung. Ziel ist es, optimale Ertragsleistung mit gezielter Düngung (ohne Sicherheitszuschläge) zu erreichen. Gärreste fallen im Biogasprozess an und sind daher ebenso wie Wirtschaftsdünger wesentliche Bestandteile der Düngung in Biogasbetrieben. Ein effizienter Einsatz ist nicht nur aus Kostengründen sondern auch zur Erfüllung der schärferen Vorgaben der novellierten Düngeverordnung und im Hinblick auf die Vermeidung von Nährstoffausträgen zunehmend von Bedeutung. Die sich durch den Einsatz von Wirtschaftsdüngern ergebenden Potenziale zur Einsparung von Mineraldüngern müssen konsequent genutzt werden. Offensichtlich baut sich bei langjähriger organischer Düngung das N-Nachlieferungspotenzial der Böden auf, was in der Düngeplanung künftig



noch stärker Berücksichtigung finden sollte. Instrumente einer vegetationsbegleitenden Düngung sollten daher künftig stärker zum Einsatz kommen (Boden- und Pflanzenanalysen im Hinblick auf den N-Versorgungszustand). 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 Gärresteneinsatz.

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 Bo-

denbearbeitung. Der Einsatz von Mulchsaatverfahren und Engsaattechnik ist beispielsweise bei Reihenkulturen wie Mais schon weit verbreitet. Die Etablierung einer ganzjährigen Gründেকে durch Untersaaten und Zwischenfrüchte ist auch als Maßnahme zur Erosionsvermeidung geeignet. Ergänzend können Grünstreifen an Fließgewässern zielführend sein.

Entlastung von Überschussregionen: Zur Entlastung von Nährstoffüberschussregionen wird ein großes Entwicklungspotenzial in der Aufbereitung von Wirtschaftsdüngern und Gärresten zu höherwertigen Düngern mit besserer Transportwürdigkeit erwartet. Niedrige regionale Nährstoffbilanzen sind eine wesentliche Voraussetzung zur Vermeidung von Nährstoffeinträgen in die Gewässer. Eine bessere Einbindung der Marktfruchtregionen bei der Verteilung organischer Nährstoffträger sowie die Entwicklung neuer Düngeprodukte und Absatzmärkte können hierzu einen wichtigen Beitrag leisten.

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 Anbaubedingungen zusätzlich mit ab. Auch hier muss es aus Sicht des Wasserschutzes 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 bis hin zum Einbau von oberflächennahen Grundwassermessstellen sinnvolle Methoden sein.

Weitere Herausforderung Klimawandel:

Ergänzend zum Gewässerschutz ist künftig auch den Folgen des Klimawandels und seiner Auswirkungen auf den Pflanzenbau Rechnung zu tragen. Stärkere regionale Klimaschwankungen mit Vorsommertrockenheit einerseits und Starkregenereignissen andererseits unterstreichen die Anforderungen an einen Ackerbau ohne Nährstoffausträge zusätzlich. Ein effizienter und verlustarmer Nährstoffeinsatz unter Verwendung wirtschaftseigener Dünger ist daher nicht nur wichtige Stellschraube für den Gewässerschutz, sondern auch zur Minderung von Treibhausgasemissionen.

6 ANHANG

6.1 Autorenverzeichnis

Kapitel	Name	Institution
1, 2, 3, 5	Christine von Buttlar	Ingenieurgesellschaft für Landwirtschaft und Umwelt GbR (IGLU) Göttingen
4.1, 4.2, 4.4	Christine von Buttlar, Birgit Kräling	Ingenieurgesellschaft für Landwirtschaft und Umwelt GbR (IGLU) Göttingen
4.5	Tobias Glauert	Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK NS)
4.3	Jonas Haag, Maendy Fritz	Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)
4.6	Matthias Willms	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.
4.7	Janine Müller, Peter Kornatz, Christine von Buttlar, Katharina Winter	Justus-Liebig-Universität Gießen, Ingenieurgesellschaft für Landwirtschaft und Umwelt GbR (IGLU) Göttingen, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
4.8	Anne-Katrin Prescher	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
4.9	Johannes Köhler, Andrea Biertümpfel	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)
4.10	Michael Dickeduisberg	Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (LWK NRW)

6.2 Literaturverzeichnis

Aurbacher, J.; Kornatz, P. und Müller, J. (2014): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands – Phase II, Teilvorhaben 3: Ökonomische Bewertung des Anbaus und der Nutzung von Energiepflanzen (Ökonomische Begleitforschung) – Abschlussbericht, Gießen

Aurbacher, J.; Kornatz, P. und Müller, J. (in Vorbereitung): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands – Phase III, Teilvorhaben 3: Ökonomische Bewertung des Anbaus und der Nutzung von Energiepflanzen (Ökonomische Begleitforschung) – Abschlussbericht EVA III, Gießen.

Aurbacher J.; Kornatz, P. und Müller, J. (2016): Abschlussberichte EVA III, Teilprojekt 3 „Ökonomische Begleitforschung“ der Universität Gießen (Aurbacher et al.); Teilprojekt 1 „Standortangepasste Fruchtfolge-systeme für Energiepflanzen“ (Gesamtkoordination [TLL])

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2012): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Stand: November 2012. LfL-Information; Gelbes Heft. 10., unveränd. Aufl., mit aktual. Anhang. Freising-Weihenstephan, 97 Seiten

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

Buttlar von, C. und Kräling, B. (2016): Untersuchung und Praxiseinführung eines grundwasserschutzorientierten Biomasseanbaus vor dem Hintergrund der Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie im Zeitraum 2010–2015. Endbericht. Förderkennzeichen 22006112 durch BMEL

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

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 (2010): 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. Bad Hennef, April 2010

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (2015): Pflanzenbauliche Verwertung von Gärrückständen aus Biogasanlagen. Tagungsunterlagen. 2. Fachtagung, Berlin, 10.–11. März 2015. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 37 Seiten

Honecker, H. (2015): Die neue Düngeverordnung unter besonderer Berücksichtigung organischer Düngemittel. Stand: 01. März 2015. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.): Pflanzenbauliche Verwertung von Gärrückständen aus Biogasanlagen. Tagungsunterlagen. 2. Fachtagung. Berlin, 10.–11. März. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), S. 1–17

Haag, J. und Fritz, M. (2015): Satellitenversuch „Kleiner und Großer Gärest“ – Endbericht. Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.). Jena, 42 Seiten

Nendel, C.; Berg, M.; Kersebaum, K. C.; Mirschel, W.; Specka, X.; Wegehenkel, M.; Wenkel, K. O. und Wieland, R. (2011): „The MONICA Model: Testing Predictability for Crop Growth, Soil Moisture and Nitrogen Dynamics.“ Ecological Modelling 222 (9). Elsevier B.V.: 1614–25. doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.02.018

Nitratbericht (2016): Nitratbericht 2016 – Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft. Hrsg. BMUB Ref. 13

LfL (2012): Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland: Stand: November 2012, 10th ed. Freising-Weihenstephan. **Aktualisierte Auflage (2018)** unter: www.lfl.bayern.de/publikationen/informationen/040117/index.php

LWK-Niedersachsen (2017):
Abruf am 16.10.2017:
www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/74/nav/1587/article/21554.html

SRU (2005): Sachverständigenrat für Umweltfragen, Sondergutachten Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem (Kurzfassung) 09.01.2015. Abruf am 11.09.2017:
www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2012_2016/2015_01_SG_Stickstoff_KF.pdf?__blob=publicationFile

UBA (2010): Die Wasserrahmenrichtlinie – Auf dem Weg zu guten Gewässern – Ergebnisse der Bewirtschaftungsplanung 2009 in Deutschland. Hrsg. Umweltbundesamt Dessau, 15.05.2010

UBA 2016: Abruf am 16.10.2017:
www.umweltbundesamt.de/faqs-zu-nitrat-im-grund-trinkwasser#textpart-5

VD Lufa (2014): Standpunkt Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Speyer, dem 07.03.2014

WRRL-MV (2017): Abruf am 13.10.2017:
www.wrrl-mv.de/pages/co_allgm_umsetzungsfristen.htm

6.3 Beteiligte Institutionen

Ingenieurgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt (IGLU)

Bühlstraße 10
37073 Göttingen
Tel.: 0551/54885-21
www.iglu-goettingen.de

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschafts- forschung Müncheberg e. V. (ZALF), Institut für Landnutzungssysteme

Eberswalder Straße 84
15374 Müncheberg
Tel.: 033432/82-264
www.zalf.de

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK Nds)

Johanssenstraße 10
30159 Hannover
Tel.: 0511/3665-4257
www.lwk-niedersachsen.de

Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Wachsende Rohstoffe (TFZ)

Schulgasse 18
94315 Straubing
Tel.: 09421/300-012
www.tfz.bayern.de

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/cms/fbz/fb09

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)

Ref. 430 – Feldversuchswesen und
Nachwachsende Rohstoffe
Naumburger Straße 98
07743 Jena
Tel.: 0361/574041-241
www.thueringen.de/th9/tll/

Zentrum für nachwachsende Rohstoffe (ZNR) der Landwirtschaftskammer

Nordrhein-Westfalen
Haus Düsse
59505 Bad Sassendorf
Tel.: 02945/989-144
www.duesse.de

Fachagentur Nachhaltende 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 2018