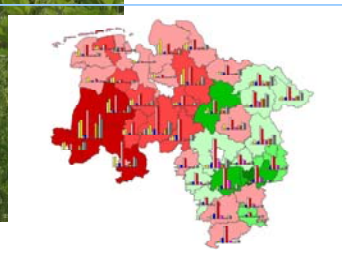
Grundwasser **Band 10**

NLWKN

Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz



Niedersächsisches Modell- und Pilotvorhaben

Energiepflanzenanbau, Betrieb von Biogasanlagen und Gärrestmanagement unter den Anforderungen des Gewässerschutzes

Niedersachsen

Grundwasser Band 10

Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

Niedersächsisches Modell- und Pilotvorhaben

Energiepflanzenanbau, Betrieb von Biogasanlagen und Gärrestmanagement unter den Anforderungen des Gewässerschutzes

Europäische Union
Europäischer Landwirtschaftsfonds
für die Entwicklung des
ländlichen Raumes (ELER):
Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete

Niedersachsen

unserem lieben Kollegen und Freund
Hinrich Speckmann
† November 2009

Herausgeber:
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,
Küsten- und Naturschutz
Am Sportplatz 23
26506 Norden

Der vorliegende Bericht wurde erstellt durch:

Ingenieurgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt
IGLU:
Dr. agr. Christine von Buttlar
Dipl. Ing. agr. Birgit Kräling
Dipl. Geogr. Andreas Rode
Dipl. Ing. agr. Henning Mund

NLWKN Betriebsstelle Aurich:
Dipl. Ing. Andreas Roskam

1. Auflage: Juni 2010, 1000 Stück

Bezug:
Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
Am Sportplatz 23
26506 Norden
www.nlwkn.de

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier

Inhaltsverzeichnis

Vorwort ... 12
1 Einleitung und Ziele ... 13
2 Rechtliche Rahmenbedingungen ... 16
2.1 Wasserrechtliche Vorgaben ... 16
2.2 Vorgaben zur landwirtschaftlichen Erzeugung ... 17
2.3 Das Erneuerbare-Energien-Gesetz ... 18
3 Niedersachsenübersicht ... 19
3.1 Biogasanlagenbestand in Niedersachsen ... 19
3.1.1 Betroffenheit niedersächsischer Wassergewinnungsgebiete durch Biogasanlagen ... 21
3.1.2 Beispiel: Betroffenheitsanalyse für drei Wassergewinnungsgebiete ... 23
3.2 Entwicklung der Flächennutzung in Niedersachsen ... 25
3.3 Entwicklung des Grünlandumbruchs und Folgen ... 26
3.3.1 Grünlandverlust im bundesdeutschen Vergleich ... 26
3.3.2 Grünlandverlust in Niedersachsen nach Landkreisen ... 28
3.3.3 Abschätzung der N-Mineralisation nach Umbruch in Niedersachsen ... 30
3.3.4 Ergebnisse des Grundwassermonitorings zum Grünlandumbruch im Fuhrberger Feld ... 31
3.4 Aufbau eines Grundwassermonitorings für Energiepflanzen ... 33
3.4.1 Methodik ... 33
3.4.2 Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf die Sickerwasserqualität ... 35
3.4.3 Optimierungsszenario ... 36
3.5 Einrichtung einer Datenbank- Biogasanlagen ... 38
4 Nährstoffströme im Biogasprozess ... 40
4.1 Nährstoffabbau in der Biogasanlage ... 40
4.2 Humuskreislauf im Energiepflanzenanbau ... 41
4.2.1 Humusbilanz als Steuerungsinstrument für eine ausgeglichene Fruchtfolge? ... 42
4.2.2 Änderung der betrieblichen Humusbilanz durch Biogaserzeugung ... 43
4.2.3 N-Kreislauf bei der Nutzung von Energiemais ... 45
5 Düngung mit Gärresten ... 47
5.1 Düngeplanung zur bedarfsgerechten Ausbringung von Gärresten ... 47
5.1.1 Nährstoffgehalte in Gärresten ... 47
5.1.2 Ermittlung des Düngewertes der Gärreste (Mineraldüngeräquivalent) ... 48
5.1.3 Düngeplanung mit Gärresten nach Sollwert- und Wasserschutzvorgaben ... 49
5.1.4 Ermittlung des erforderlichen Flächenbedarfs zur angepassten Gärrestausbringung ... 51
5.1.5 Ausbringungskalender für den Gärresteinsatz nach DüV und SchuVo ... 53
5.2 Lagerraum- und Gärrestmanagement ... 55
5.2.1 Einfluss einer wasserschutzorientierten Gärrestausbringung auf den Lageraumbedarf ... 55
5.2.2 Optimierte Gärrestlagerplanung ... 57
6 Ergebnisse der Feldversuche zum grundwasserschonenden Energiepflanzenanbau ... 60
6.1 Versuchstandorte und Methodik ... 60
6.2 Standortspezifische Ergebnisse auf schweren Böden ... 62
6.2.1 Versuchsstandort „WGG Sehlde-Wellopquelle“ im Landkreis Hildesheim ... 63
6.2.2 Standort „Leinetal“ im Landkreis Göttingen ... 67
6.2.3 Versuchsstandort im Landkreis Osnabrück „WSG Gattberg-Nettetal“ ... 69
6.3 Standortspezifische Ergebnisse auf sandigen Böden ... 71

6.3.1 Versuchsstandort im Landkreis Gifhorn „WGG Eischott / Westerbeck“ 71
6.3.2 Versuchsstandort im Landkreis Hannover „WSG Fuhrberger Feld“ 74
6.3.3 Versuchsstandort im Landkreis Wittmund „WSG Sandelermöns“ 78
6.4 Beziehungen von Düngung, Ertrag und N_{min} am Beispiel Mais 81
6.5 Spezifischer Methanertrag und ökonomische Bewertung 82
6.6 Standortbezogene Empfehlungen 83
6.6.1 Tiefgründige, gut wasserführende Standorte 83
6.6.2 Leichte Standorte mit geringem Wasserspeichervermögen 83
7 Bewertung von Energiepflanzen und möglichen Optimierungsmaßnahmen aus Sicht des Wasserschutzes 84
7.1 Methodik der Maßnahmenbewertung 84
7.2 Kulturenbezogene Bewertung der Wasserschutzleistungen und -risiken 88
7.2.1 Mais-Hauptfruchtnutzung 88
7.2.2 Gräseruntersaaten im Mais 91
7.2.3 Zwischenfrüchte vor Sommerungen (Grünroggen) 93
7.2.4 Sonnenblumen-Hauptfruchtnutzung 94
7.2.5 Mais-Sonnenblumen-Mischanbau 96
7.2.6 Sorghumarten Hauptfruchtnutzung 97
7.2.7 Anbau im Zweikultur-Nutzungssystem 99
7.2.8 Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS) 101
7.2.9 Grasuntersaaten im Wintergetreide 102
7.2.10 Ackergrasnutzung 103
7.2.11 Dauergrünlandnutzung 105
7.3 Ergebnisübersichten 107
7.4 Beispiele für eine Fruchtfolgeoptimierung nach Wasserschutzgesichtspunkten 109
7.4.1 Fruchtfolgeoptimierung für leichte Standorte 109
7.4.2 Fruchtfolgeoptimierung für gute Standorte 111
7.5 Möglichkeiten der Förderung grundwasserschonender Anbauverfahren 115
8 Zusammenfassung und Empfehlungen 116
9 Ausblick 121
10 Quellenverzeichnis 122

Tabellen

Tab. 1: Optimierungsbereiche zur Umsetzung eines grundwasserschonenden Betriebes von Biogasanlagen 15
Tab. 2: Regelungen zu verschiedenen Bereichen der Biogaserzeugung 16
Tab. 3: Vom NawaRo-Anbau betroffene Trinkwassergewinnungsgebiete in Niedersachsen 21
Tab. 4: Benötigte Ackerfläche zur Deckung des Energiemaisbedarfs bei dreigliedriger Fruchtfolge (Beispiel) 23
Tab. 5: Vom Energiepflanzenanbau rechnerisch betroffener Anteil an der Ackerfläche ausgewählter Wasserschutzgebiete 24
Tab. 6: Entwicklung der Anbaufläche für Mais insgesamt und Energiemais in Niedersachsen 2005 bis 2009 [ha] 26
Tab. 7:Jährliche N-Freisetzung aus den Grünland- und Bracheumbrüchen der Jahre 2003 bis 2007 in Niedersachsen 30
Tab. 8: Jährliche überschlägige N- Reduzierung in Trinkwasserkooperationen in Niedersachsen 30
Tab. 9: Entwicklung der Nutzung auf der landw. genutzten Fläche im Landkreis Cloppenburg und langj. mittlere Herbst-N_{min} -Werte, sowie die rechn. mittlere Sickerwasserqualität (Quelle: LSKN 1999 – 2007, eigene Erhebungen) 36
Tab. 10: Rechnerische Sickerwasserqualitäten unter Dauergrünland (DGL) im Vergleich zu zwei möglichen 5-jährigen Biogasfruchtfolgen nach Grünlandumbruch: FF1 Maismonokultur und FF2 Grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge 37
Tab. 11: Humusbilanz eines Leitbetriebes 2001 vor Inbetriebnahme der Biogasanlage (nur der Marktfruchtbereich) 44
Tab. 12: Humusbilanz eines Leitbetriebes 2006, nach Inbetriebnahme der Biogasanlage (Marktfrucht + Biogasbereich) 44
Tab. 13: Trockenmasse- und Nährstoffgehalte von Gärresten aus niedersächsischen Modellbetrieben 48
Tab. 14: Nährstofffrachten unterschiedlicher Gärreste bei einer typischen Ausbringungsmenge von 30 m³ 49
Tab. 15: Beispiel Wasserschutzorientierte Düngung zu Mais und Nährstoffzufuhr von 30m^3 Gärrest 50
Tab. 16: Beispiel Sollwertorientierte Düngung zu Mais und Nährstoffzufuhr mit 30m^3 Gärrest 50
Tab. 17: Musterbeispiel Substratbedarf und Nährstoffrückfuhr einer Biogasanlage (740 KWel) und eines Leitbetriebes 51
Tab. 18: Erforderliche Ausbringungsfläche bei unterschiedlicher Düngestrategie (im Verhältnis zur Anbaufläche des Substrates) 52
Tab. 19: Ausbringungskalender zum Gärrest- und Gülleeinsatz bei Marktfrüchten und Energiepflanzen 53
Tab. 20: Gärrestverteilplan (a) für eine 740 kWel. Biogasanlage, Lagerraumfüllstände bei wasserschonender (b) und betriebsüblicher (c) Gärrestverteilung 56
Tab. 21: Übersicht der Prüfvarianten 2007 bis 2009 60
Tab. 22: Angaben zur Versuchsumsetzung 61
Tab. 23: Übersicht der untersuchten Parameter 62
Tab. 24: Varianten des Nacherntemanagements nach Grünlandumbruch 77
Tab. 25: Klassifizierungsschema für Wasserschutzkriterien 85
Tab. 26: Kurzbewertung: Mais-Hauptfruchtanbau 89
Tab. 27: Übersicht: gewässerschonende Optimierungsmaßnahmen für den Maisanbau 90
Tab. 28: Kurzbewertung: Mais mit Gräser-Untersaaten 92
Tab. 29: Kurzbewertung: Zwischenfrüchte vor Sommerungen (Grünroggen) 93
Tab. 30: Kurzbewertung: Sonnenblumen 94
Tab. 31: Übersicht: gewässerschonende Optimierungsmaßnahmen für den Sonnenblumenanbau 95

Tab. 32: Kurzbewertung: Mais-Sonnenblumen-Mischanbau 96
Tab. 33: Kurzbewertung: Sudangras und Sorghum bicolor 97
Tab. 34: Übersicht: gewässerschonende Maßnahmen für den Sorghumanbau....98
Tab. 35: Kurzbewertung: Zweikultur-Nutzung 100
Tab. 36: Kurzbewertung: Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS) 101
Tab. 37: Kurzbewertung: Grasuntersaaten im Wintergetreide 102
Tab. 38: Kurzbewertung: Ackergrasnutzung 104
Tab. 39: Kurzbewertung: Dauergrünland 106
Tab. 40: Übersicht: Bewertung der Wasserschutzleistung von Energiepflanzen 107
Tab. 41: Übersicht: Optimierungsmaßnahmen und -potenziale für den Wasserschutz....108
Tab. 42: Berechnungsbeispiel zur Bewertung der Wasserschutzleistung für eine Energiepflanzenfruchtfolge auf leichten Standorten....109

Abbildungen

Abb. 1: Schema Vernetzung verschiedener Akteure und Zielgruppen im M&P-Vorhaben 13
Abb. 2: Übersichtskarte, Gebietskulisse und Lage der Versuchsstandorte sowie Bearbeitungsräume 14
Abb. 3: Entwicklung von Biogasanlagen, installierter elektrischer Leistung und Energiemaisanbau in Niedersachsen 19
Abb. 4: Anzahl der Biogasanlagen, eingesetzte Substrate und inst. elektrische Leistung in den Landkreisen Niedersachsens 20
Abb. 5: Wirtschaftsdüngeraufkommen aus der Viehhaltung [kg N/ha] (nach LSKN 2007) und Gärrestanfall [t N / Landkreis] in Niedersachsen (eigene Berechnungen) 20
Abb. 6: Vom NawaRo-Anbau betroffene Trinkwassergewinnungsgebiete in Niedersachsen. Grün: benötigte Anbaufläche in Abhängigkeit von der Anlagenleistung als Radius um jede NawaRo-Biogasanlage, bei 500 ha/MW el. Leistung und dreijähriger Fruchtfolge. Hellgrün: 6 km-Radius für Energiepflanzenanbau und Gärrestausbringung um die BGA 22
Abb. 7: Radien zur Deckung des Bedarfes an Maisanbaufläche bei dreigliedriger Fruchtfolge und Lage dreier Wassergewinnungsgebiete 24
Abb. 8: Zu und Abnahme der Nutzungen in Niedersachsen zwischen 1999 und 2007 25
Abb. 9: Entwicklung der landwirtschaftlichen Fläche (LF) sowie der Acker- und Grünlandflächen nach Bundesländern zwischen 2005 und 2008 (Quelle: OSTERBURG et. al., 2009) 27
Abb. 10: Veränderungen des Grünlandanteils 1999 bis 2007 in den Landkreisen Niedersachsens und Lage der Wassergewinnungsgebiete (blau) (Datenbasis: LSKN Ernteberichte 2008, eigene Darstellung) 28
Abb. 11: Veränderung der Grünlandfläche und der Silomaisfläche nach Landkreisen Niedersachsens zwischen 1997 und 2007 29
Abb. 12: Verlauf der Nitratgehalte im oberflächennahen Grundwasser sowie Grundwasserstände unter Grünlandumbruch mit Maisnachbau im Vergleich zu Dauergrünland 31
Abb. 13: Schematische Darstellung der Grundwasserneubildung und Erfassung in der Messstelle. 34
Abb. 14: Lage der Anstrombereiche und mittlere Fließdauer (ungesättigte Zone und Grundwasser) zu den untersuchten Meßstellen, exemplarisch 35
Abb. 15: Lage und el. Leistung der derzeit erfassten Biogasanlagen, sowie Summe der Anlagenleistung pro Landkreis (Quelle: 3N, eigene Erhebungen) 39
Abb. 16: Rückfuhrquoten von Inhaltsstoffen der Ausgangssubstrate mit dem Gärrest 40
Abb. 17: Humusbilanzierung für Fruchtfolgebeispiele mit unterschiedlichem Maisanteil und Gärrestrückfuhr 43
Abb. 18: Stickstoff-Kreislauf im Biogasprozess: Verluste, Anrechenbarkeit, Bilanzüberschuss (vereinfacht) 45
Abb. 19: Beispiel Lagerraumfüllstände mit und ohne Herbstausbringung 57
Abb. 20: Einflussfaktoren bei der Auslegung der Lagerraumkapazität für Biogasanlagen oder Güllebehälter 58
Abb. 21: N_{min}–Gehalte auf Maisflächen ohne und mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr zu unterschiedlichen Probenahmeterminen im WGG Sehlde-Wellopquelle, im Mittel der Jahre 2007 und 2008 63
Abb. 22: Trockenmasseerträge, Herbst-N_{min} und N-Bilanzen der Prüfvarianten Mais mit Düngesteuerung im Mittel der Jahre 2007-2009 sowie Mais mit Untersaat und ZKN mit Wi-Roggen-GPS+Sonnenblumen 2007 am Standort „WGG Sehlde-Wellopquelle“ ohne langjährige Wirtschaftsdüngerzufuhr 64
Abb. 23: Trockenmasseertrag, Herbst-N_{min} und N-Flächenbilanz der Prüfvarianten Grünroggen plus Mais 2009 sowie Mais Kontrolle, Mais-Sonnenblumen Mischanbau und Sonnenblumen Reinanbau im Mittel der Jahre 2007+2008 am Standort „WGG Sehlde-Wellopquelle“ mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr 65
Abb. 24: Trockenmasseerträge, Herbst-N_{min} und N-Flächenbilanzen aller Prüfvarianten im Mittel der Jahre 2007 und 2008 am Standort „Leinetal“ 67

Abb. 25: Trockenmasseertrag, Herbst-N_{min} und N-Flächenbilanz der Prüfvarianten im „WSG Gattberg-Nettetal“ im Mittel der Jahre 2007 bis 2008 69

Abb. 26: Trockenmasseertrag, Herbst-N_{min} und N-Flächenbilanz der Prüfvarianten Mais–Düngesteuerung im Mittel der Jahre 2007 bis 2008 und 2009, Mais–Sonnenblumen-Mischanbau, Sonnenblumen Reinanbau sowie Untersaat Wiesenschwingel im Winterroggen im zweijährigen Mittel im „WGG Eischott / Westerbeck 71

Abb. 27: Vergleich von Ertrag und N_{min} von Mais, Mais- Sonnenblumengemenge und Sonnenblumen in Hauptfruchtstellung 72

Abb. 28: Trockenmasseertrag, Herbst N_{min} und Flächenbilanz der Prüfvarianten im „WSG Fuhrberger Feld“ im Mittel der Jahre 2007 bis 2009 74

Abb. 29: Herbst 2008- und Frühjahr 2009 N_{min}-Werte verschiedener Nacherntemanagements nach Mais auf einer zweijährigen Ackergras- Umbruchfläche im „WSG Fuhrberger Feld“ 77

Abb. 30: Trockenmasseerträge, Herbst-N_{min} und N-Flächenbilanzen aller Prüfvarianten im Mittel der Jahre 2007 bis 2009 am Standort „WSG Sandelermöns“ 78

Abb. 31: Herbst- und Frühjahr-N_{min}-Werte nach Mais mit und ohne Untersaat am Standort „WSG Sandelermöns“ 79

Abb. 32: Ernte-N_{min} in Abhängigkeit von der N-Düngehöhe für Silomais. Daten von 6 Standorten im Zeitraum 2007-09 81

Abb. 33: Trockenmasseertrag in Abhängigkeit von der N- Düngehöhe bei Silomais. Daten von 6 Standorten im Zeitraum 2007-09. 81

Abb. 34: Ernte-N_{min} in Abhängigkeit vom Trockenmasseertrag von Silomais. Daten von 6 Standorten im Zeitraum 2007-09. 81

Abb. 35: Spezifischer und Hektarbezogener Methanertrag sowie Deckungsbeitrag verschiedener Prüfvarianten im Mittel der Standorte im Jahr 2008 82

Abb. 36: Fruchtfolgebeispiel mit Energiepflanzen für leichte Standorte (Fruchtfolge für fünf Anbaujahre, Bewertung als Mittel der fünf Anbaujahre) 110

Abb. 37: Fruchtfolgebeispiele mit Energiepflanzen für gute Standorte (Fruchtfolge für fünf Anbaujahre, Bewertung als Mittel der fünf Anbaujahre) 112

Bilder

Bild 1: Projektbegleitende Feldtage, Infoveranstaltungen und Workshops sorgten für Praxisnähe und einen zeitnahen fachlichen Austausch 14
Bild 2: Grünlandumbruch Schritt 1: Alte Grünlandnarbe wird abgespritzt 32
Bild 3: Grünlandumbruch Schritt 2: Alte Grünlandnarbe wird anschließend gegrubbert und gepflügt. 32
Bild 4: Schleppschlauchtechnik mindert gasförmige N-Verluste 54
Bild 5: Vorne: Biogasanlage, Rechts u. Hinten: Nachgärbehälter, Gärrestlager. Gärrestlager sollten ausreichend Volumen für die bedarfsgerechte Ausbringung bieten und eine gasdichte Abdeckung haben. 55
Bild 6: LK Hildesheim, Mais ohne und mit Untersaat, 9/2007 66
Bild 7: LK Hildesheim, Maisuntersaat Rotschwingel als Zwischenfrucht, 4/2008 66
Bild 8: LK Hildesheim, Mais-Sonnenblumen Mischanbau, 9/2007 66
Bild 9: LK Göttingen, Sudangras Ende 8/2007 bildet an diesem Standort ertragsstarke Bestände 68
Bild 10: LK Göttingen, Sudangras 9/2007 (Sorte Susu) 68
Bild 11: LK Osnabrück, Wiesenschwingel-Untersaat im Mais, 9/2007 70
Bild 12: LK Osnabrück, Rotschwingel-Untersaat im Mais, 9/2007 70
Bild 13: Grasuntersaat mit Bodenanhang am Wurzelballen 70
Bild 14: LK Gifhorn, Sonnenblumen Reinanbau, 9/2008 73
Bild 15: LK Gifhorn, Wiesenschwingel-Untersaat in Wi.-Roggen, 3/2008 73
Bild 16: LK Gifhorn, Wiesenschwingel-Untersaat nach Marktfruchtgetreideernte, 9/2008 73
Bild 17: LK Hannover, Silomais ohne (links) und mit (rechts) Beregnung, 28.8.2009 75
Bild 18: LK Hannover, Zweitfrucht Sonnenblumen und Sorghum nach Frühkartoffeln ohne Beregnung, 28.8.2009 75
Bild 19: LK Hannover, Zweitfrucht Sonnenblumen und Sorghum nach Frühkartoffeln mit Beregnung, 28.8.2009 75
Bild 20: LK Hannover, Sonnenblumen-Silomais-Mischanbau ohne Beregnung am 13.6.2007 76
Bild 21: LK Hannover, Sonnenblumen- Silomais-Mischanbau zur Ernte am 17.9 2007 76
Bild 22: LK Wittmund, Striegel mit pneumatischem Säschar u.a. für Untersaaten im Mais 80
Bild 23: LK Wittmund, Feldgras für die Biogasanlage 9/2008 80

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
3N	Kompetenzzentrum Nachwachsende Rohstoffe
AbfKlärV	Klärschlammverordnung
AUM	Agrar- und Umweltmaßnahme
BauGB	Baugesetzbuch
BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundesbodenschutzverordnung
BetrSichV	Betriebssicherungsverordnung
BGA	Biogasanlage
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BioAbfV	Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
C	Kohlenstoff
Ca	Calcium
CC	Cross Compliance
CH_4	Methan
CO_2	Kohlendioxid
DAP	Diammoniumphosphat
DMK	Deutsches Maiskomitee e.V.
DüG	Düngegesetz
DüMV	Düngemittelverordnung
DüV	Düngeverordnung
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
EEG	Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien
EG	Europäische Gemeinschaft
FF	Fruchtfolge
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
GAÄ	Gewerbeaufsichtsämter
Gem. RdErl.	Gemeinsamer Runderlass
GL	Grünland
GLerhVO	Dauergrünlanderhaltungsverordnung
GPS	Ganzpflanzensilage
GW	Grundwasser
Hf	Hauptfrucht
HTK	Hühnertrockenkot
inst.	installiert
InVeKos	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
JGS-Anlagen	Anlagen zur Lagerung von Jauche, Gülle und Sickersäften
K	Kalium
K_2O	Kaliumoxid
KA5	Bodenkundliche Kartieranleitung
kWel.	elektrische Leistung
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

LF	Landwirtschaftliche Fläche
LK	Landkreis
LSKN	Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen
MDÄ	Mineraldüngeräquivalent
Mg	Magnesium
ML	Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung
MUK	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz
MW	Megawatt
N	Stickstoff
NABU	Naturschutzbund Deutschland
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
NH_3	Ammoniak
NH_4	Ammonium
NIBIS	Niedersächsisches Bodeninformationssystem
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
N_{min}	Mineralisierter Stickstoff
NO_3/l	Nitratgehalt pro Liter
N_{org}	organischer Stickstoff
NOx	Stickoxid
NWG	Niedersächsisches Wassergesetz
OOWV	Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband
P	Phosphor
PSM	Pflanzenschutzmittel
QFN	Qualifizierter Flächennachweis
S	Schwefel
SchuVO	Verordnung über Schutzbestimmungen in Wasserschutzgebieten
TierNebG	Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
UBA	Umweltbundesamt
VaWS	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
VO	Verordnung
VTI	Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
WG	Wintergerste
WGG	Wassergewinnungsgebiet
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WR	Winterroggen
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WSG	Wasserschutzgebiet
WSG-VO	Wasserschutzgebietsverordnung

Vorwort

Die Errichtung einer großen Zahl von Biogasanlagen im ländlichen Raum führt gegenwärtig durch den damit verbundenen zunehmenden Anbau nachwachsender Rohstoffe zu einer großflächigen Änderung der Flächennutzung, und es kommen durch den Betrieb von Biogasanlagen zusätzliche organische Wirtschaftsdünger aus pflanzlichen Rohstoffen in den Nährstoffkreislauf. Erste Probleme werden in den Ballungsräumen von Viehhaltung und Biogasproduktion sichtbar, wo die vorhandenen Überschüsse an organischen Nährstoffen nun durch weitere organische Düngergaben erhöht werden. Andererseits werden Nutzungskonzepte für Energiepflanzen, die positive Auswirkungen auf das Grundwasser erwarten lassen, z. B. durch den Anbau neuer Kulturarten oder die energetische Verwertung von Grünlandaufwuchs,von einer fachkundigen Öffentlichkeit sowie von Teilen der Politik immer stärker eingefordert.

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht stellt sich die Frage, welche Auswirkungen auf das Grund- und Oberflächenwasser resultieren können und welche steuernden Maßnahmen zu ergreifen sind, damit die Ziele des Klimaschutzes und des Grundwasserschutzes auch langfristig miteinander vereinbar bleiben.

Das Land Niedersachsen hat zur Untersuchung dieser Frage im Jahr 2007 ein dreijähriges Modell- und Pilotvorhaben (M&P-Vorhaben) zur „Untersuchung und Optimierung des Biomasseanbaus sowie des Betriebes von Biogasanlagen unter den Anforderungen des Gewässerschutzes zur Sicherung einer nachhaltigen Nutzung von Bioenergie“ gestartet, das nunmehr abgeschlossen wurde.

In diesem M&P-Vorhaben wurden mögliche aus dem Energiepflanzenanbau resultierende Chancen und Risiken für den Gewässerschutz untersucht. Es wurden Problemfelder aufgezeigt und Lösungsansätze für einen mit den Anforderungen des Gewässerschutzes in Einklang stehenden Energiepflanzenanbau und Betrieb von Biogasanlagen erarbeitet.

Die Finanzierung des Vorhabens wurde aus Mitteln der Wasserentnahmegebühr des Landes Niedersachsen, kofinanziert durch die „EUROPÄISCHE UNION - Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER)“ ermöglicht. Die Beauftragung des Vorhabens erfolgte durch die Stadtwerke Emden an die Ingenieurgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt (IGLU). Die Koordination und Betreuung erfolgte durch die Betriebsstelle Aurich des NLWKN sowie das Niedersächsische Ministerium für Umwelt- und Klimaschutz.

Mit der vorliegenden Publikation möchte der NLWKN die wichtigsten Erfahrungen und Ergebnisse des M&P-Vorhabens einem breiten Interessentenkreis zugänglich machen, wobei insbesondere Wasserversorger, landwirtschaftliche Berater, Betriebsleiter und Vertreter der Wasserbehörden angesprochen werden. Sie soll insbesondere auch den Wassersorgungsunternehmen eine Hilfestellung geben, Fruchtfolgen von Energiepflanzen zu bewerten und deren Optimierung aus Gewässerschutzsicht zu initiieren.

Für die Unterstützung des Vorhabens in den letzten drei Jahren danken wir ganz besonders den Stadtwerken Emden, den Betriebsleitern der eingebundenen Modell- und Versuchsbetriebe sowie den Mitgliedern der begleitenden Arbeitskreise der Wasserwirtschaft und der Wasserschutzberatung.

Siegfried Popp

Direktor des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

1 Einleitung und Ziele

Durch die Novellierung des Gesetzes für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) im Jahr 2004 entwickelt sich der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) zur energetischen Nutzung gegenwärtig zu einem wichtigen Standbein der landwirtschaftlichen Produktion, die damit zur Erreichung der Klimaziele einen bedeutenden Beitrag leistet.

Der Betrieb von Biogasanlagen bringt neue Anbauverhältnisse und Stoffströme in der Landwirtschaft mit sich. Diese sind insbesondere geprägt durch einen verstärkten Energiemaisanbau sowie durch eine Zunahme an Wirtschaftsdüngern (Gärresten) aus pflanzlichen Substraten. Diese gegenwärtig zu beobachtenden Änderungen in der Landnutzung gehen nicht selten mit einer Intensivierung einher. Sie werden daher vor dem Hintergrund der Wasserrahmenrichtlinie sowie den besonderen Nutzungsauflagen in Wassergewinnungsgebieten seitens der Wasserwirtschaft kritisch gesehen.

Ziel: Wesentliches Ziel des Modell- und Pilotvorhabens war die Erfassung und Beschreibung der gegenwärtigen mit der Verfahrenstechnik in Zusammenhang stehenden Problemlage und die Entwicklung von Lösungsvorschlägen für den Energiepflanzenanbau sowie den Gärresteinsatz unter den Anforderungen des Gewässerschutzes. Ferner wurde der Anlagenbetrieb sowie die Substrat- und Gärrestlagerung im Hinblick auf wasserwirtschaftliche Anforderungen und Handlungsempfehlungen überprüft.

Arbeitsschwerpunkte: Es wurden folgende Schwerpunkte gesetzt:

- Dokumentation der Bioenergieentwicklung in Niedersachsen. Beschreibung der rechtlichen Rahmenbedingungen sowie der Auswirkungen des Biomasseanbaus auf die Flächennutzung. Fokussierung der Gründe und Folgen verstärkten Grünlandumbruchs.
- Aufbau eines Monitoringsystems zur Überprüfung anbaubedingter Änderungen der Flächennutzung auf das Grundwasser am Beispiel des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV).
- Exemplarische Beschreibung der Nährstoffströme im Biogasprozess im Hinblick auf die Besonderheiten für den Humus- und Stickstoffhaushalt.
- Benennung der Anforderungen an die Gärrestlagerung und Entwicklung eines digitalen Programms zum optimierten Lagerraum- und Gärrestmanagement von Biogasanlagen.
- Benennung der Anforderungen an die Gärrestverwertung aus Sicht des Gewässerschutzes und Ableitung von Empfehlungen zur Düngung mit Gärresten.
- Durchführung von Feldversuchen zum grundwasserschonenden Anbau von Energiepflanzen an sechs Standorten. Bewertung der Anbauerfahrungen unter Praxisbedingungen.
- Bewertung der untersuchten Energiepflanzen aus Sicht des Gewässerschutzes, Ableitung von Entscheidungshilfen und grundwasserschonenden Optimierungsmaßnahmen für deren Anbau.
- Entwicklung von Musterfruchtfolgen mit Energiepflanzen und Bewertung der Wasserschutzleistungen sowie ihrer Kosten.

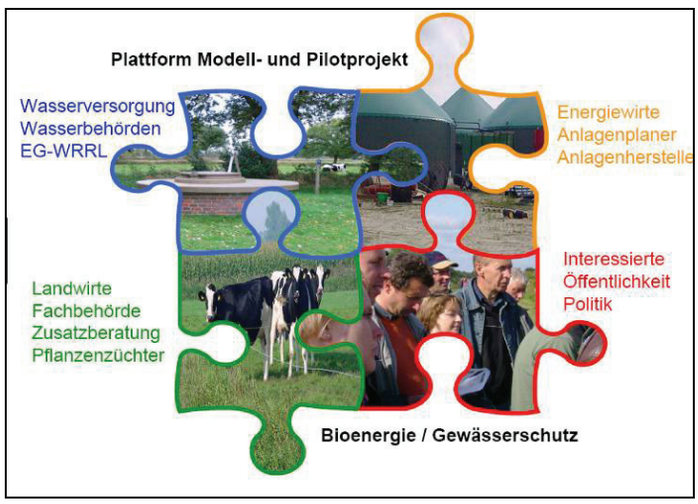


Abb. 1: Schema Vernetzung verschiedener Akteure und Zielgruppen im M&P-Vorhaben

Praxisnähe: In den niedersächsischen Wasserschutzgebieten ist das Thema Biogas zunehmend präsent und geht mit einem wachsenden Beratungsbedarf der landwirtschaftlichen Betriebe einher. Diese sind entweder selber Biogasanlagenbetreiber, oder aber Substratlieferanten bzw. Gärrestverwerter. Bei der Durchführung des Vorhabens wurde daher großer Wert auf die Praxisnähe gelegt. Projektbegleitend wurde ein Arbeitskreis von Grundwasserschutzberatern und ein Arbeitskreis niedersächsischer Wasserversorger und Wasserverbände eingerichtet, um die Projekterfahrungen weiterzuleiten und eine Rückkopplung zur landwirtschaftlichen sowie wasserwirtschaftlichen Praxis sicherzustellen.
Zentraler Punkt war zudem die Auswahl von sechs niedersächsischen Regionen, in denen jeweils einer oder

mehrere Leitbetriebe gemeinsam mit der Ingenieurgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt (IGLU) die Planung und Durchführung der Feldversuche übernommen haben. Diese wurden großflächig und unter Praxisbedingungen als Streifenversuche angelegt und die Versuchsfragen jeweils standort- und betriebsbezogen ausgerichtet.

Transfer: Durch Feldtage an den verschiedenen Versuchsstandorten, Rundbriefe, Veranstaltungen und Beraterworkshops sowie die Ergebnispräsentation auf Tagungen und in der Presse wurde projektbegleitend und zeitnah der Informationstransfer in die Praxis gefördert.

Versuchsstandorte: Die folgende Abb. 2 stellt eine Übersicht der im M&P-Vorhaben gewählten Bearbeitungskulissen und Versuchsstandorte dar.

Bild 1: Projektbegleitende Feldtage, Infoveranstaltungen und Workshops sorgten für Praxisnähe und einen zeitnahen fachlichen Austausch

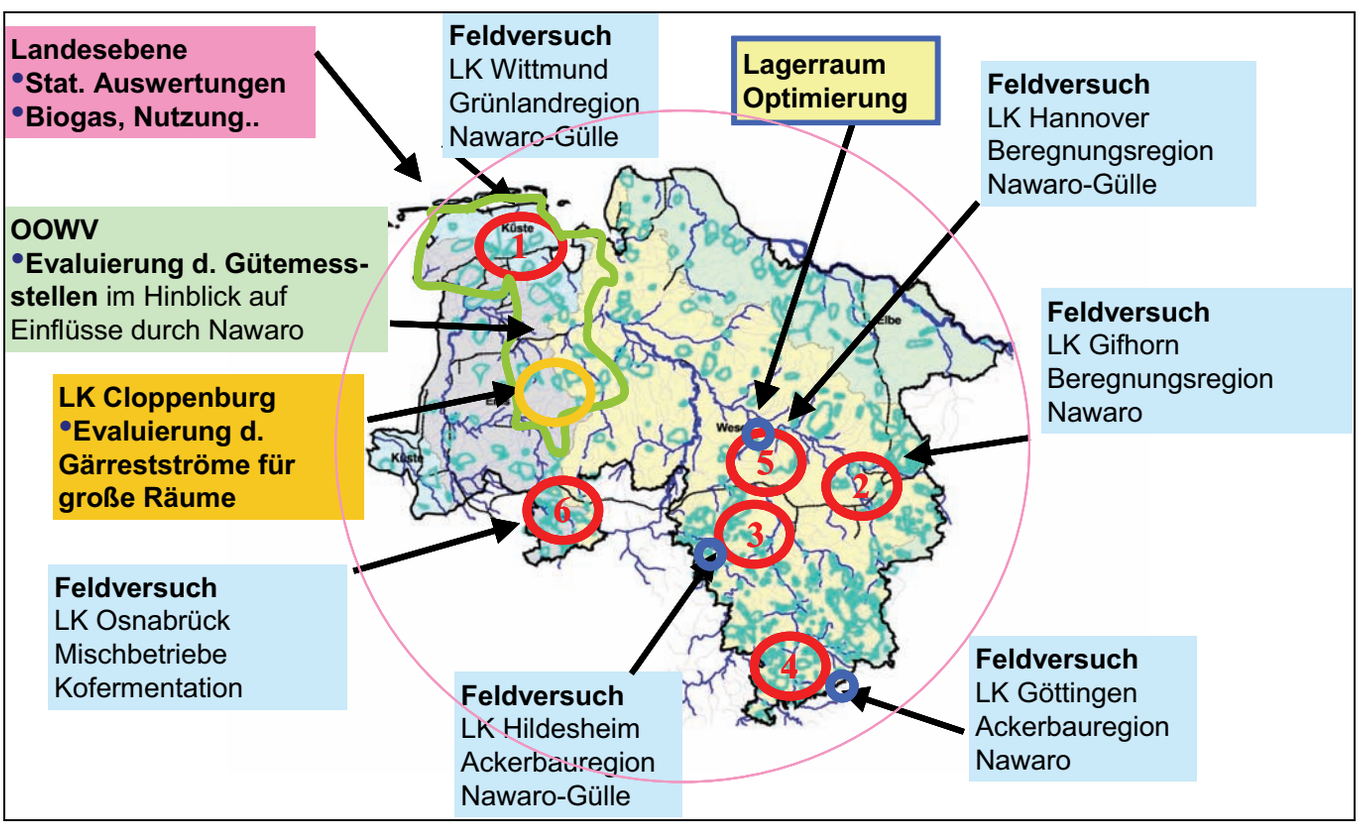


Abb. 2: Übersichtskarte, Gebietskulisse und Lage der Versuchsstandorte sowie Bearbeitungsräume

Optimierungsebenen: Soll der Energiepflanzenanbau und der Betrieb von Biogasanlagen im Hinblick auf die Auswirkungen für den Grundwasserschutz untersucht und optimiert werden, so ist grundsätzlich zwischen verschiedenen Bearbeitungsebenen zu unterscheiden (Tab. 1).

Auf der gebietlichen Ebene ist die derzeit recht unterschiedliche regionale Bedeutung der Biogasentwicklung darzustellen, und im Kontext mit weiteren Nutzungsansprüchen (z. B. durch Wasserförderung) zu bewerten. Auch der Umbruch von Grünland ist im Hinblick auf die verursachenden Einflussfaktoren sowie die Folgen für die Grundwasserqualität einer gebietlichen Betrachtung zu unterziehen.

Auf der Biogas-Anlagenebene kommt dem Aufzeigen von anlagenbezogenen Nährstoffstoffströmen und der Frage nach der Nährstoffrückfuhr eine zentrale Bedeutung zu. Ferner sind Aspekte der baulichen Sicherheit im Bereich der Silage- und Gärrestlagerung zu berücksichtigen.

Auf der Einzelbetriebsebene schließlich stehen Fragen der Fruchtfolgegestaltung, der Anbauoptimierung und der Düngesteuerung im Energiepflanzenanbau im Vordergrund der möglichen Maßnahmen.

Abschließend ist zu prüfen, welche vorhandenen Steuerungsinstrumente zur Unterstützung einer den Anforderungen des Wasserschutzes konformen Biogaserzeugung beitragen und wie sie gegebenenfalls optimiert werden können. Hier kommt neben dem Ordnungsrecht insbesondere dem im Gewässerschutz seit langem erfolgreich praktizierten Beratungsansatz eine große Bedeutung zu.

Der vorliegende Bericht greift die genannten Optimierungsebenen auf und zeigt an konkreten Beispielen Problembereiche sowie Lösungen und Handlungsmöglichkeiten auf.

Tab. 1: Optimierungsbereiche zur Umsetzung eines grundwasserschonenden Betriebes von Biogasanlagen

Optimierungsbereiche zur Umsetzung eines grundwassserschonenden Betriebes von Biogasanlagen und Energiepflanzenanbaus			Steuerungs-instrumente:
Betriebsebene:	Anlagenebene:	Gebietsebene:	
▪ Fruchtfolgegestaltung ▪ Sorten/Artenwahl ▪ Düngesteuerung ▪ Gärrestmanagement ▪ Ausbringtechnik ▪ Bodenschonende Anbauverfahren	▪ Rückverfolgbarkeit der Biomasse- und Gärrestströme ▪ Regelmäßige Überprüfung der Genehmigungsvorgaben ▪ Optimierung der Silagelagerung ▪ Verlängerte Lagerzeiträume für Gärreste	▪ Erhaltung extensiver Nutzungsformen auf sensiblen Standorten ▪ Begrenzung des Anteils auswaschungsgefährdeter Kulturen ▪ Erhalt des Grünlandanteils ▪ Steuerung der Nährstofffrachten durch Monitoring	▪ Ordnungsrecht, ▪ Richtlinien, ▪ Merkblätter, Empfehlungen ▪ Beratung ▪ Zertifizierung/ Audit ▪ Einbezug in die Raumplanung

2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Bei der Erzeugung von Biogas sind vielfältige Rechtsvorgaben zu berücksichtigen. Diese betreffen die Genehmigung und den Betrieb der Biogasanlagen, die landwirtschaftliche Produktion und somit auch den Anbau von Energiepflanzen und die Gärrestverwertung sowie diverse Vorgaben zum Schutz des Wassers, des Bodens und der Natur. Eine Übersicht der wesentlichen Regelungen ist in Tab. 2 zusammengestellt. Auf die wasserwirtschaftlich relevanten Vorgaben sowie die den Anbau und die Gärrestverwertung betreffenden Vorgaben soll nachfolgend in Anlehnung an DWA-M 907 (DWA u. DVGW, 2010) und LAWA-Studie (BUTTLAR von, et. al., 2008) eingegangen werden.

2.1 Wasserrechtliche Vorgaben

Die **Wasserrahmenrichtlinie** (EG-WRRL) bildet den Ordnungsrahmen zum Schutz der Gewässer in der europäischen Union. Sie zielt u. a. darauf ab, den stofflichen und mengenmäßigen Zustand der Oberflächengewässer und des Grundwassers flächendeckend zu erhalten bzw. schrittweise zu verbessern. Spezielle Regelungen werden in der Grundwasserrichtlinie als Tochterrichtlinie zur EG Wasserrahmenrichtlinie geregelt. Zur Beurteilung des guten chemischen Zustandes gelten nach dieser Richtlinie europaweit nachfolgende Qualitätsnormen: für Wirkstoffe in Pestiziden 0,1 µg/l für Einzelstoffe und 0,5 µg/l als Summenwert über alle nachgewiesenen Pestizide und deren Abbauprodukte.

Weiter legt die Richtlinie für Nitrat eine Qualitätsnorm von 50 mg NO_3/l fest. Bei Überschreiten des Nitratgrenzwertes von 50 mg NO_3/l bzw. beim Erreichen von 75% des Grenzwertes sind Maßnahmen zur Trendumkehr erforderlich. Der Grenzwert von 50 mg NO_3/l Grundwasser ist auch in der Nitratrichtlinie festgelegt.

Gemäß **Wasserhaushaltsgesetz** sind schädliche bzw. nachteilige Änderungen von Gewässern zu vermeiden. In den jeweiligen Landeswassergesetzen sind die Rechtsbestimmungen konkretisiert wobei die rechtlichen Vorgaben zur Lagerung von Wirtschaftsdüngern und somit auch Gärresten in den Bundesländern unterschiedlich geregelt sind.

Wasserschutzgebietsverordnungen sorgen in Wasserschutzgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen für weitergehende Regelungen, u. a. für die Nutzung der Flächen in den einzelnen Schutzzonen. Sie werden nach Niedersächsischem Wassergesetz (NWG) ausgewiesen und überwacht.

Tab. 2: Regelungen zu verschiedenen Bereichen der Biogaserzeugung

Pflanzenbau
▪ Cross Compliance über Direktzahlungsverpflichtungsverordnung (DirektZahlVerpflV) ▪ Düngegesetz (DüG) ▪ Düngeverordnung (DüV) ▪ Düngemittelverordnung (DüMV) ▪ Agrar- und Umweltmaßnahmen (AuM)
Landnutzung
▪ Cross Compliance über DirektZahlVerpflV ▪ EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ▪ EG-Grundwasserrichtlinie ▪ EG-Nitrat-Richtlinie ▪ Erneuerbare Energiengesetz (EEG) ▪ Wasserhaushaltsgesetz (WHG) ▪ Landeswassergesetze ▪ Wasserschutzgebietsverordnungen (WSG-VO) ▪ Naturschutzgebietsverordnung ▪ Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) ▪ Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) ▪ Landesbodenschutzverordnungen
Anlagenbetrieb
▪ Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ▪ Baugesetzbuch (BauGB) ▪ Betriebssicherungsverordnung (BetrSichV) ▪ Tierische Nebenprodukte Beseitigungsgesetz (TierNebG) ▪ Hygieneverordnung - VO (EG) 1774/2002 ▪ Bioabfallverordnung (BioAbfV) ▪ Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ▪ Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS)
Substratlagerung
▪ Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (VAwS)
Gärrestlagerung und -ausbringung
▪ Regelungen für JGS-Anlagen (Anlagen zur Lagerung von Jauche, Gülle und Sickersäften) (VAwS) 4.2 ▪ Düngeverordnung (DüV) ▪ Düngemittelverordnung (DüMV) ▪ Bioabfallverordnung (BioAbfV) ▪ Tierische Nebenprodukte Beseitigungsgesetz (TierNebG) ▪ Hygieneverordnung-VO (EG) 1774/2002 ▪ Klärschlammverordnung (AbfKlärV)

Im Rahmen der Novellierung der **Verordnung über Schutzbestimmungen in Wasserschutzgebieten (SchuVO)** sind Konkretisierungen im Hinblick auf den Einsatz von Gärresten und den Grünlanderhalt aufgenommen worden. So wurde z.B. die Zufuhr organischer Stickstoffdünger auf Dünger pflanzlicher Herkunft ausgeweitet und auf 170 kg N/ha*Jahr begrenzt. Die Ausbringung von Gärresten wurde der von Gülle gleichgestellt und in der Schutzzone II verboten. Zudem gilt ein Grünlandumbruchverbot in der Zone II und in der Zone III wird der Umbruch von absolutem Grünland verboten während für fakultatives Grünland eine Genehmigung erforderlich ist. Brachen dürfen nur mit gezielter Begrünung umgebrochen werden (Niedersächsisches Gesetz und Verordnungsblatt 5321 vom Nov. 2009).

Der **niedersächsische „Feldmietenerlass“** (Anforderungen an die Lagerung von Silage in Feldmieten wurde im Jahr 2008 verabschiedet. (Gem. RdErl. des MU und des ML vom 14.10.2008). Dem Feldmietenerlass kommt durch die zunehmende Silagelagerhaltung für Biogasanlagen Bedeutung zu. Der Erlass regelt die Auslegung des Begriffs „Feldmiete“ und die Anforderungen an die Zwischenlagerung. Damit soll eine landesweit einheitliche Umsetzung insbesondere der wasserrechtlichen Vorschriften bei der Silagelagerung außerhalb von festen Anlagen sichergestellt werden. (u. a. jährlich wechselnder feldnaher Standort, TS-Gehalt der Silage >28%, ansonsten Verpflichtung zu Basisabdichtung und Auffangvorrichtung; max. Stapelhöhe von 3,0 m; großflächige Abdeckung mit Silofolie, Abstand zum Gewässer mind. 2m; keine Anlage an Hanglagen und in Überschwemmungsbereichen).

2.2 Vorgaben zur landwirtschaftlichen Erzeugung

Grundsätzlich gelten für die Erzeugung von Energiepflanzen die gleichen gesetzlichen Vorgaben wie zur Erzeugung von Nahrungs- oder Futtermitteln. Das Düngegesetz und die daraus folgende Düngeverordnung und Düngemittelverordnung regelt die Anforderungen an die Produktqualität und die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Pflanzenhilfsmitteln und Kultursubstraten. Ziel ist die Sicherstellung der Ernährung der Kulturpflanze bei gleichzeitiger Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, Gesundheit von Mensch, Tier und Naturhaushalt.

Die **Düngemittelverordnung** regelt grundsätzlich in einer Liste die für eine Anwendung in der Landwirtschaft zulässigen Ausgangsstoffe. Die in Biogasanlagen üblicherweise eingesetzten Ausgangsstoffe wie Gülle und nachwachsende Rohstoffe sind Beispiele für zulässige Ausgangsstoffe.

In Bezug auf das Inverkehrbringen von Gärresten aus Wirtschaftsdüngern, betriebseigenem Pflanzenabfall oder nachwachsenden Rohstoffen ist die Düngemittelverordnung zu berücksichtigen. Sie fordert bei einer überbetrieblichen Abgabe grundsätzlich eine Kennzeichnung nach DüMV.

Die **Düngeverordnung** regelt die gute fachliche Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln. Hinsichtlich des Einsatzes von Gärresten ist die **170 kg- N-Obergrenze** für organische Dünger tierischer Herkunft zu berücksichtigen. Diese umfasst jedoch nicht den pflanzlichen, also aus nachwachsenden Rohstoffen resultierenden Anteil des Gärrestes. Für die pflanzlichen organischen Reststoffe gilt daher derzeit lediglich die mengenmäßige Ausrichtung am pflanzlichen Bedarf (außer in Wasserschutzgebieten …siehe SchuVO).

Hinsichtlich der Düngebedarfsermittlung gilt bei Gärresten der allgemeine Grundsatz, dass sie zeitlich und mengenmäßig so auszubringen sind, dass verfügbare oder verfügbar werdende Nährstoffe von den Pflanzen weitestgehend aufgenommen werden können.

Im erforderlichen Nährstoffvergleich sind alle Düngemittel des landwirtschaftlichen Betriebes zu berücksichtigen. Bei Gärresten aus einer Biogasanlage können die Nährstoffgehalte entweder durch Untersuchung repräsentativer Proben ermittelt werden oder durch Berechnung über die Inputstoffe der Biogasanlage, wenn diese Gehalte bekannt sind.

Ferner wird geregelt, dass die maximalen **P- und N-Salden** im Betriebsdurchschnitt eingehalten werden (P_2O_5 max. 20 kg/ha, N ab 2009 max. 60 kg N/ha). Die Bilanzen sind als aggregierte Flächenbilanzen (flächengewichtetes Mittel der Kulturen und Flächenanteile für N über 3 und für P_2O_5 über 6 Jahre) zu erstellen. Diese Vorgaben sind bei der Anwendung organischer Düngemittel und somit Gärresten zu berücksichtigen.

Im Biogasprozess kommen weitere gesetzliche Vorgaben hinzu, wenn Ausgangsstoffe tierischen Ursprungs vergoren werden (EG **Hygieneverordnung**, Tierische Nebenprodukte Beseitigungsgesetz und -verordnung). Bei Vergärung pflanzlicher Abfallstoffe greift die **Bioabfallverordnung**.

Die Einhaltung der **Cross Compliance** Regelungen (CC) sind Grundlage für den Erhalt von Direktzahlungen gemäß VO (EG) Nr. 1782/2003. Sie sollen den Erhalt des „guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustandes

der Flächen“ absichern. Die Vorschriften gelten allgemein, die folgenden Aspekte sind aber bei der Bewertung des Energiepflanzenanbaus besonders zu berücksichtigen:

Um den Anforderungen an den **Schutz des Bodens** gerecht zu werden müssen mind. 40% der Ackerflächen eines Betriebes vom 1.12 bis 15.2. mit Pflanzen bedeckt sein. Weiter muss der Betriebsinhaber die Erhaltung der organischen Substanz im Boden und der Bodenstruktur gewährleisten. Es sind mindestens drei Ackerkulturen in der Fruchtfolge mit mindestens 15% Flächenteil nachzuweisen oder es ist jährlich eine Humusbilanz zu erstellen oder der Bodenhumusgehalt mit Hilfe von Bodenproben zu untersuchen (QUELLE: Land Brandenburg, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz, 2007).

Im Rahmen von Cross Compliance sind Betriebsinhaber verpflichtet, **Dauergrünland** nachhaltig zu erhalten. Die Umsetzung wird durch die Bundesländer geregelt (siehe auch Kap.3.3).

2.3 Das Erneuerbare-Energien-Gesetz

Die Bundesregierung hat auf dem Gipfel von L’Aquila zur Begegnung des Klimawandels das „2-Grad-Ziel“ beschlossen das besagt, dass die globale Erderwärmung 2 Grad Celsius nicht überschreiten darf. Zur Zielerreichung sieht sie eine Senkung der Treibhausgasemissionen um 21% bis 2012 und um 50% bis 2050, jeweils bezogen auf die Ausgangswerte im Jahr 1990, vor (BMU 7.09).

Um dies zu erreichen sollen in Deutschland bis zum Jahr 2020 u.a. mindestens 30 Prozent des Stromverbrauchs aus erneuerbaren Energien gedeckt werden, sowie die Energieeffektivität der erneuerbaren Energien weiter verbessert werden. Zur Unterstützung dieser Ziele wurde im Jahr 2004 das Erneuerbare-Energien Gesetz (EEG) verabschiedet, das seit 2009 in der novellierten Fassung gültig ist. Es regelt neben Fragen der Energieeinspeisung ins Netz (Anschluss, Abnahme, technische und betriebliche Vorgaben etc.) das Einspeisemanagement sowie die Vergütungsansprüche.
Der **NawaRo-Bonus** fördert zielgerichtet die Erzeugung nachwachsender Rohstoffe zur energetischen Nutzung. Hierzu zählen Pflanzenbestandteile, die in landwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben oder im Rahmen der Landschaftspflege (Biomasse aus Landschaftspflege, keine Grünabfälle) anfallen. Der Bonus wird für die Gestehungskosten einer zielgerichteten Maßnahme zur Gewinnung der pflanzlichen Rohstoffe gezahlt (also für den Anbau, nicht aber für Abfallstoffe).

Weiterhin werden unter bestimmten Voraussetzungen Boni für den Einsatz von Gülle und für den Einsatz von Landschaftspflegmaterial gezahlt. (**„Güllebonus“, „Landschaftspflegebonus“).** Außerdem wird seit 2009 für die Direkteinspeisung von aufbereitetem Biogas ins Erdgasnetz der „**Technologiebonus“** gewährt.

Fazit gesetzliche Regelungen:

- Die bestehenden Regelungen gelten auch für den Energiepflanzenanbau, die Substratlagerung und die Gärrestverwertung
- Regelungslücken bestehen u.a. im Bereich der DüV, die bei der 170 kg /ha Grenze nur den tierischen, aber nicht den pflanzlichen organischen Anteil berücksichtigt.
- In der Praxis wird eine zunehmende Anzahl an Feldmieten beobachtet. Niedersachsen hat im Jahr 2008 auf Fehlentwicklungen mit dem Feldmietenerlass reagiert.
- Die bestehenden CC-Vorgaben verhindern derzeit nicht die Entwicklung des Maisanbaus bis hin zur Monokultur.
- Durch die Novellierung des EEG zum 1.1.2009 hat der Bau von Biogasanlagen nach zwischenzeitlicher Stagnation wieder deutlich zugenommen, wobei NawaRo Anlagen überwiegen.
- Es kommt verstärkt Gülle zum Einsatz, jedoch in der Regel ebenfalls in Kombination mit NawaRos.
- Durch die Möglichkeit der Gaseinspeisung werden zunehmend größere Anlagen gebaut. Die Auswirkungen auf die Stoffkreisläufe im Anlagenumfeld sind kritisch zu prüfen.

3 Niedersachsenübersicht

3.1 Biogasanlagenbestand in Niedersachsen

In 2009 bestanden in Niedersachsen ca. 800 Biogasanlagen mit einer elektrischen Leistung von ca. 420 MW. Für 2010 wird ein weiterer Anstieg auf bis zu 1000 Anlagen erwartet (Abb. 3). In der Entwicklung fallen zwei Sprünge auf, die durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen bedingt sind:

- Im Jahr 2004 setze mit der ersten Novellierung des Erneuerbare-Energien Gesetzes (EEG) ein erster deutlicher Entwicklungsschub beim Bau von Biogasanlagen ein, u.a. weil der neu aufgenommene NawaRo-Bonus nun eine Förderung für die Vergärung von Energiepflanzen (NawaRo) ermöglichte.
- Seit dem Jahr 2009 erfolgt mit der zweiten Novellierung des EEGs wiederum ein stärkerer Anstieg der Genehmigungsanträge, u. a. durch die Aufstockung des NawaRo-Bonus, die Einführung des Güllebonus und die Einführung einer Einspeisevergütung für Biogas.

Insgesamt ist ein Trend zu zunehmend größeren Anlagen zu beobachten. So ist die durchschnittliche elektrische Leistung pro Anlage von 250 kW im Jahr 2001 auf 550 kW im Jahr 2008 gestiegen. Für die nach 2008 gebauten Anlagen ist bedingt durch den Güllebonus neben dem Bau von Großanlagen mit Gaseinspeisung auch wieder mit kleineren Hofanlagen zu rechnen.

Auch die Art des eingesetzten Substrates änderte sich mit den wechselnden Rahmenbedingungen. Bis 2004 wurden überwiegend Gülle und Co-Substrate zur Biogasgewinnung eingesetzt. Die zwischen 2004 und 2008 gebauten Anlagen wurden überwiegend auf der Basis von NawaRo betrieben. Im Jahr 2009 wurden ~142.000 ha Silomais zur Vergärung in Biogasanlagen angebaut. Seit 2009 ist druch den Güllebonus wieder mit einem verstärkten Einsatz von Gülle zu rechnen, allerdings einhergehend mit einer weiteren Ausdehnung des NawaRo-Anbaus.

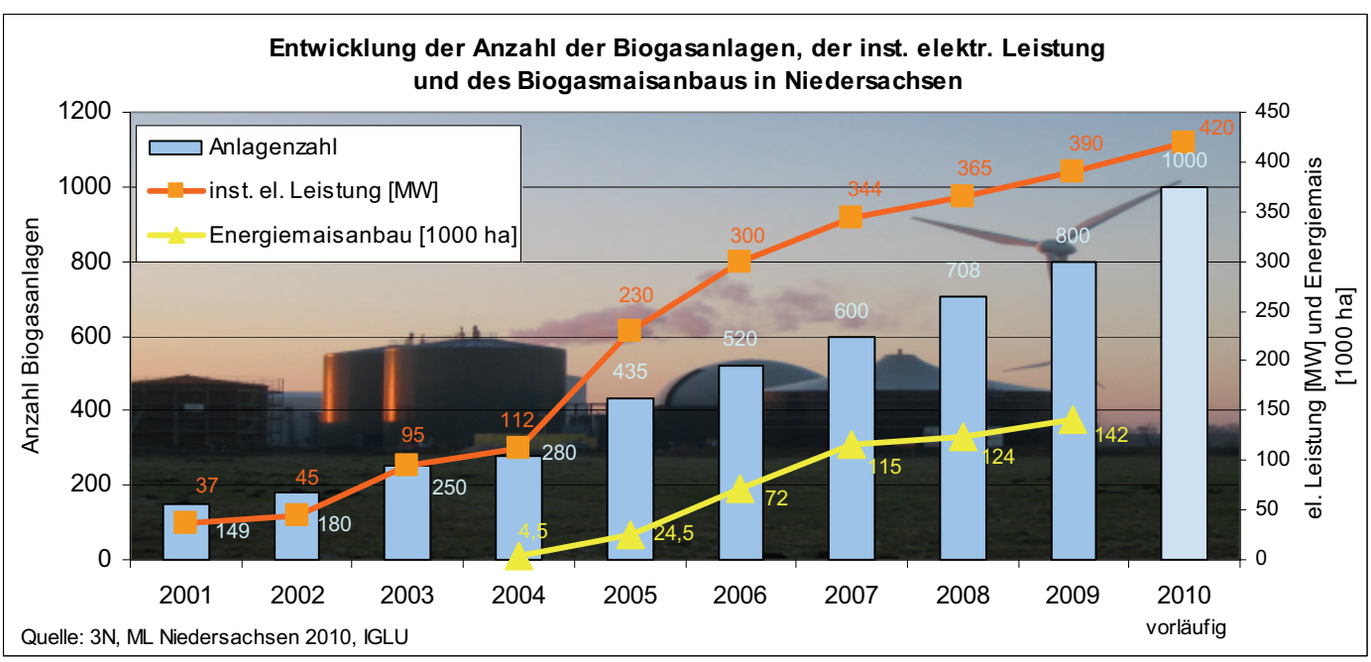


Abb. 3: Entwicklung von Biogasanlagen, installierter elektrischer Leistung und Energiemaisanbau in Niedersachsen

Die niedersächsischen Biogasanlagen sind nicht gleichmäßig über das Land verteilt, sondern haben einen deutlichen Schwerpunkt in den nördlichen Landkreisen, in denen auch die Viehhaltung einen hohen Stellenwert einnimmt. Die meisten Anlagen werden gegenwärtig in den Landkreisen Cloppenburg, Rotenburg (Wümme) und Emsland betrieben. Die Abb. 4 zeigt den Anlagenbestand und die elektrischen Leistung in den Landkreisen Niedersachsens (Stand 2008/2009). Die Anteile der eingesetzten Substrate wurden wie folgt ermittelt:

- Der Maisanteil wurde aus der Anbaufläche von Biogasmais pro Landkreis berechnet.
- Der Anteil Abfallstoffe wurde aus der Leistung der Abfallanlagen ermittelt.
- Der Anteil der eingesetzten Gülle und anderer Stoffe wurde als Differenz zur gesamten elektrischen Leistung ermittelt.

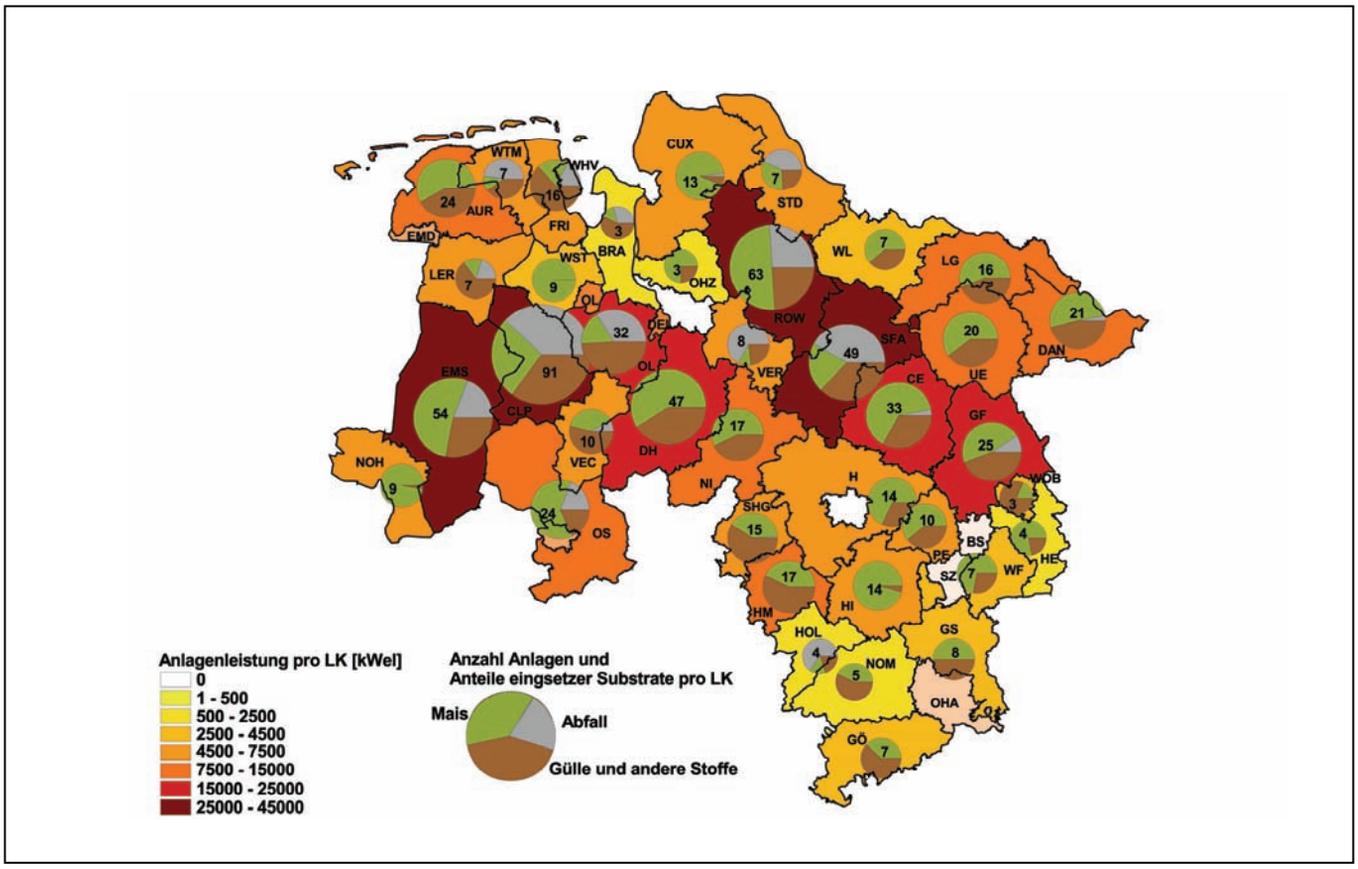


Abb. 4: Anzahl der Biogasanlagen, eingesetzte Substrate und inst. elektrische Leistung in den Landkreisen Niedersachsens (Quelle ML, 3N und eigene Erhebungen Stand 2008 sowie Cloppenburg u. Friesland 2009, sowie eigene Berechnungen)

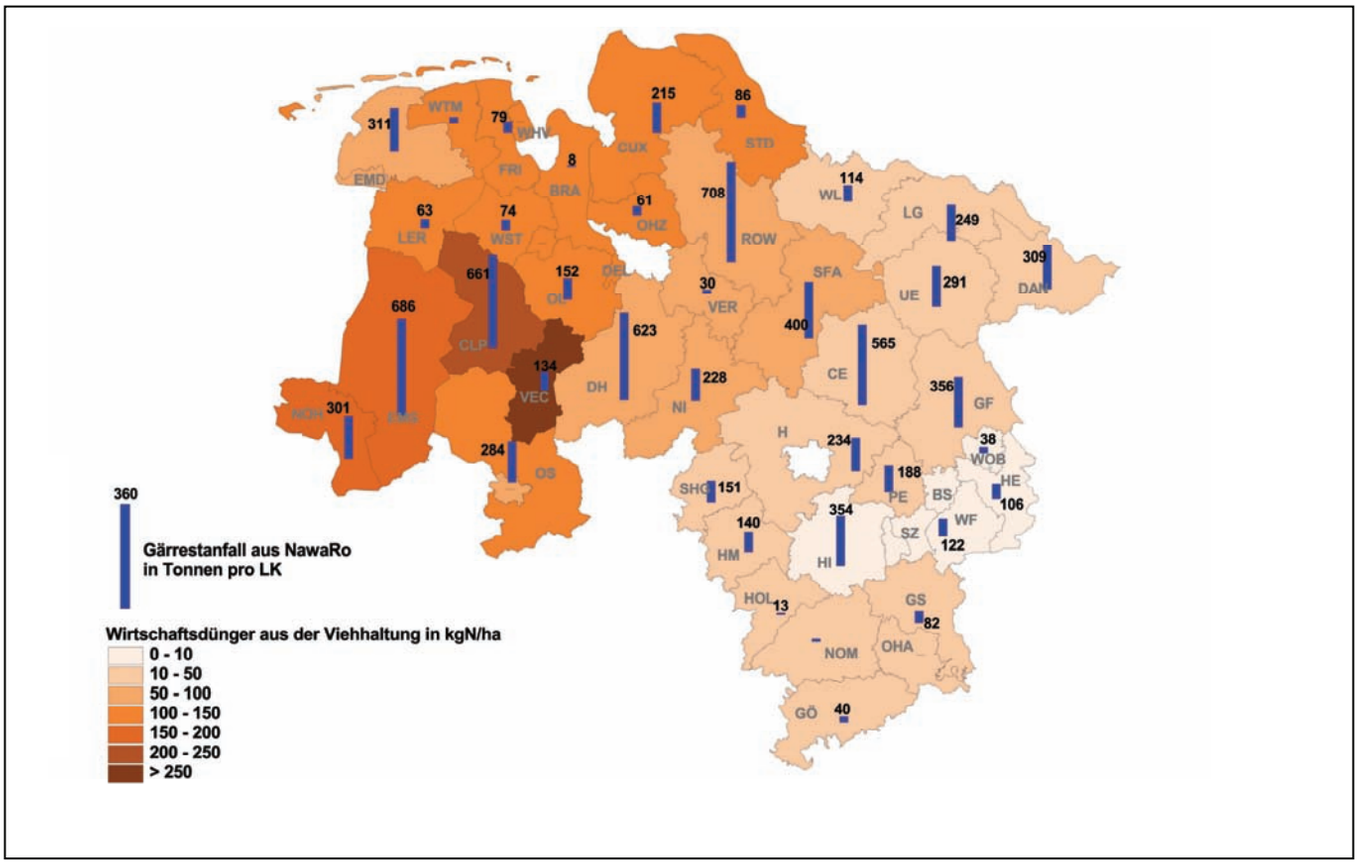


Abb. 5: Wirtschaftsdüngeraufkommen aus der Viehhaltung [kg N/ha] (nach LSKN 2007) und Gärrestanfall [t N / Landkreis] in Niedersachsen (eigene Berechnungen)

Mit der Verwertung von Energiepflanzen in Biogasanlagen wächst das Aufkommen an organischen Düngemitteln. Die entstehenden Gärreste fallen zusätzlich zum normalen Wirtschaftsdüngeraufkommen an. Besonders im nordwestlichen Niedersachsen fallen jedoch im Durchschnitt bereits über 100 kg N/ha an organischen Düngemitteln aus der Viehhaltung an (Abb. 5). In einigen Landkreisen wird schon allein durch die Viehhaltung die gesetzliche GV-Grenze überschritten, so dass die Grenzwerte nur noch durch einen Nährstoffexport eingehalten werden können. Hier bedeuten die zusätzlichen Nährstoffmengen aus den pflanzlichen Gärresten eine teils deutliche Verschärfung der Problematik, während sie in den traditionellen Marktfruchtregionen noch als willkommene Düngemittel zur Erhaltung des Humusgehaltes angesehen werden.

3.1.1 Betroffenheit niedersächsischer Wassergewinnungsgebiete durch Biogasanlagen

In Niedersachsen sind 14% der Landesfläche als Trinkwasserschutzgebiete ausgewiesen oder werden nach hydrogeologischer Abgrenzung zur Trinkwassergewinnung genutzt (MUK NIEDERSACHSEN, 2009). Mit zunehmender Anzahl an Biogasanlagen werden auch die Trinkwassergewinnungsgebiete verstärkt mit dem Energiepflanzenanbau und der Gärrestausbringung konfrontiert. Da der Silomaisanbau nach Untersuchungen des LBEG (SCHÄFER, 2008) bei der derzeit gängigen Düngepraxis deutlich höherer Nitratausträge in das Grundwasser verursacht, als dies vergleichsweise im Getreideanbau der Fall ist, sollte näherungsweise die Betroffenheit der Wassergewinnungsgebiete durch Biogasanlagen abgschätzt werden:

Die tatsächlichen Einzugsbereiche von Biogasanlagen sind schwer zu ermitteln, da die Anbau- und Ausbringungsflächen z. T. jährlich wechseln und je nach örtlichen Gegebenheiten unterschiedlich lange Fahrstrecken anfallen. In der Abb. 6 werden als grüne Kreise die Flächen dargestellt, die als Anbaufläche für die jeweilige Anlage nötig sind (Basis 500 kWel. Anlagenleistung, 33% Energiepflanzenanteil in der Fruchtfolge, vgl. IGLU 2007).

Der Anbau und die Gärrestausbringung werden wegen der nicht 100%igen Flächenverfügbarkeit in diesem Radius (Besitzverhältnisse, Wald, Grünland, andere Nutzungen) jedoch auch in einem weiteren Umkreis der Anlagen stattfinden. Die hellgrünen Kreise zeigen daher pauschal einen Radius von 6 km um die jeweilige Anlage, der als wirtschaftliche Grenzentfernung angesehen wird. Unter dieser Annahme sind gegenwärtig ca. 300 der 480 Trinkwassergewinnungsgebiete und ca. 60% der Fläche in Trinkwassergewinnungsgebieten in Niedersachsen vom NawaRo-Anbau betroffen (Tab. 3).

Tab. 3: Vom NawaRo-Anbau betroffene Trinkwassergewinnungsgebiete in Niedersachsen

Szenario*	Betroffene WGG		Betroffene WGG-Fläche	
	[Anzahl]	[%]	[ha]	[%]
Max. 6 km Transportradius	301	61%	386.248	58%

* bei max. 6 km Fahrstrecke

Auch der Biogasentwicklung in den gefährdeten Grundwasserkörpern nach Wasserahmenrichtlinie sollte in Zukunft besondere Beachtung zukommen, da diese Gebiete i. d. R. durch leichte, austragsgefährdete Böden und vermehrte Tierhaltung geprägt sind.

Fazit Biogasentwicklung in WGG:

- Niedersachsen gehört zu den Bundesländern mit der höchsten Biogasanlagenleistung. Bis 2010 werden 1000 Anlagen erwartet.
- Während in Vieh haltenden Regionen NawaRo, Gülle und Kofermente zum Einsatz kommen, dominieren in Marktfruchtregionen reine NawaRo-Anlagen.
- Die Anlagenstandorte haben einen Schwerpunkt in den viehhaltenden Regionen im nordwestlichen Niedersachsen. Dort treffen hohes Wirtschaftsdüngeraufkommen und zusätzliche pflanzliche organische Nährstoffe aus NawaRo-Gärresten zusammen, was regional die Problematik von Nährstoffüberhängen verschärft.
- Auch in den klassischen Marktfruchtregionen ist durch die Zunahme von Biogasanlagen der Umgang mit organischen Düngern zu thematisieren.
- Nach konservativen Annahmen werden in rund 60% der niedersächsischen Wassergewinnungsgebieten Energiepflanzen angebaut.

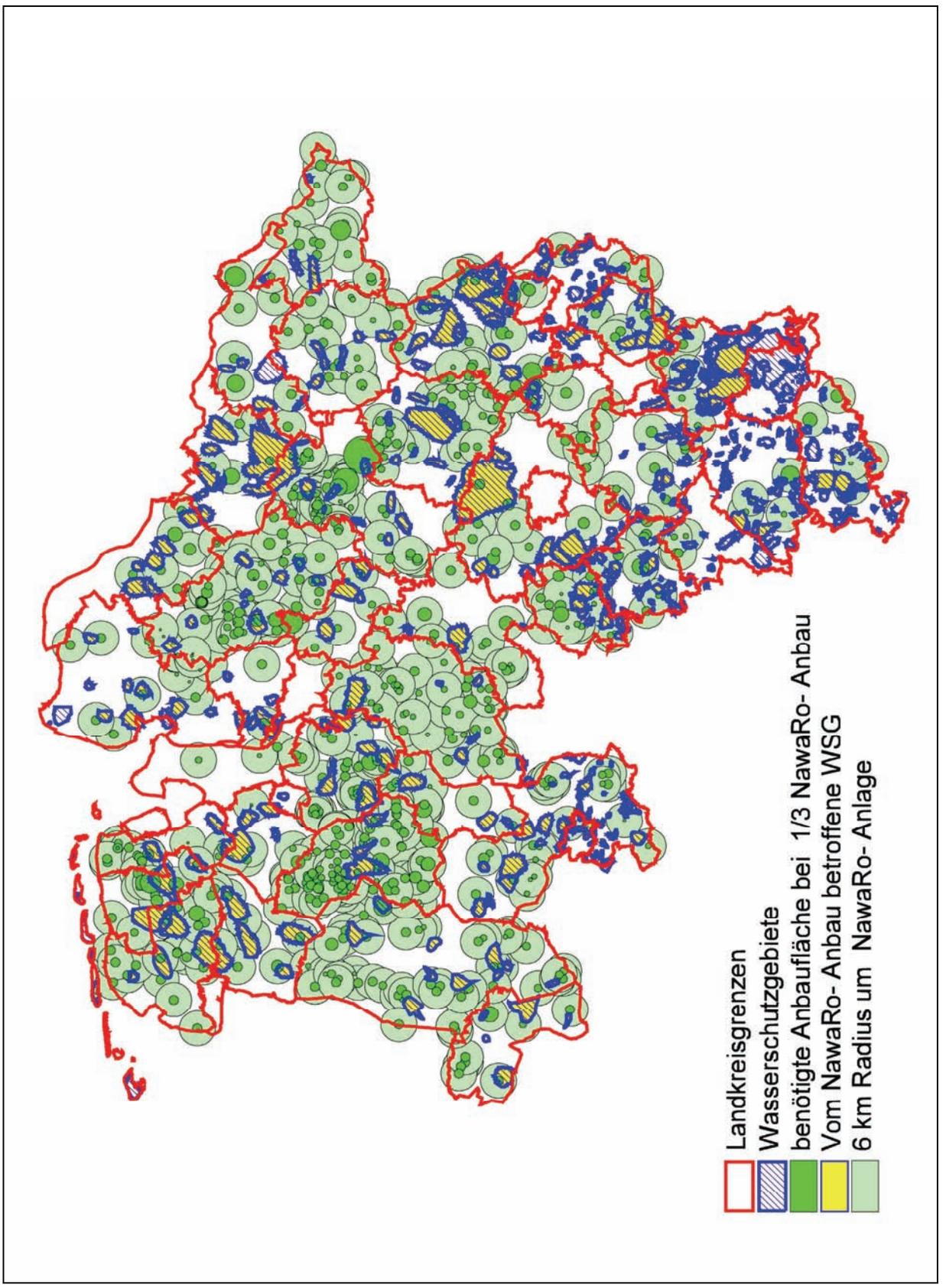


Abb. 6: Vom NawaRo-Anbau betroffene Trinkwassergewinnungsgebiete in Niedersachsen. Grün: benötigte Anbaufläche in Abhängigkeit von der Anlagenleistung als Radius um jede NawaRo-Biogasanlage, bei 500 ha/MW el. Leistung und dreijähriger Fruchtfolge. Hellgrün: 6 km-Radius für Energiepflanzenanbau und Gärrestausbringung um die BGA

3.1.2 Beispiel: Betroffenheitsanalyse für drei Wassergewinnungsgebiete

Anhand eines konkreten Beispiels (Tab. 4) aus der Region Ostfriesland soll die Frage nach der Betroffenheit von WGG konkretisiert werden. Dabei ist grundsätzlich davon ausgegangen worden, dass der erforderliche Energiepflanzenanbau im Umfeld der Anlage erfolgt. Verschiedene Faktoren beeinflussen den Anbauradius um die Biogasanlage:

- Anlagenleistung
- Maisanteil am Substrat
- Grünland- und Waldanteile sowie konkurrierende Nutzungen im Umfeld
- die Ertragsleistung der Böden
- Fruchtfolgeanteil der Energiepflanzen

Für die Biogasanlage Upschört sowie die im Umfeld befindlichen Biogasanlagen wurden unter Berücksichtigung der genannten Parameter exemplarisch die erforderlichen Transportradien berechnet:

Die Pflanzenmasse für den Betrieb von Biogasanlagen wird zum überwiegenden Teil aus Mais gewonnen. Die Biogasanlage Upschört im LK Wittmund wird zu 75% der Leistung mit Maissilage betrieben, 8% des Gärsubstrates sind Gülle. Der Grassilageanteil von 15% ist als verhältnismäßig hoch zu bezeichnen.

Um den Bedarf an Maissilage für die Biogasanlage Upschört zu decken, sind ca. 540 ha Maisanbaufläche pro Jahr notwendig. Geht man von einer dreigliedrigen Fruchtfolge aus, werden über eine Fruchtfolge insgesamt ca. 1600 ha Ackerfläche für den Biogasmaisanbau in Anspruch genommen. Durch den hohen Grünlandanteil von 45% (LK Aurich), 47% (LK Wittmund) und 56% (LK Friesland) sind diese Ackerflächen nicht in unmittelbarer Nähe der Anlage zu finden. Abb. 7 zeigt die Radien von 7 Anlagen östlich von Aurich, die nach diesen Annahmen theoretisch zur Deckung des Ackerflächenbedarfs notwendig sind. Der Radius um die Anlage Upschört beträgt 5 km (blau). Die anderen Radien betragen 3,5 (grün) bzw. 2.5 km (rot) um die jeweilige Anlage.

Tab. 4: Benötigte Ackerfläche zur Deckung des Energiemaisbedarfs bei dreigliedriger Fruchtfolge (Beispiel)

Anlage	Gesamtleistung	Leistung durchschnittl. über Mais gedeckt	Leistung über Mais	Benötigte Anbaufläche (550 ha Mais/MW)	Benötigte Ackerfläche bei 33% NawaRo-Anteil in der FF	In diesem Radius liegt die benötigte Ackerfläche (ungef. Angaben)
	[kW]	[%]	[kW]	[ha]	[ha]	[m]
Ardorf	800	80%	640	352	1056	3500
Upschört	1300	75%	975	536	1609	5000
Utarper Weg	500	80%	400	220	660	2500
Aurich 1	499	80%	400	220	659	2500
Aurich 2	330	80%	264	145	436	3500
Bockzetel	499	80%	400	220	659	3500
Pfalzdorf	600	80%	480	264	792	3500

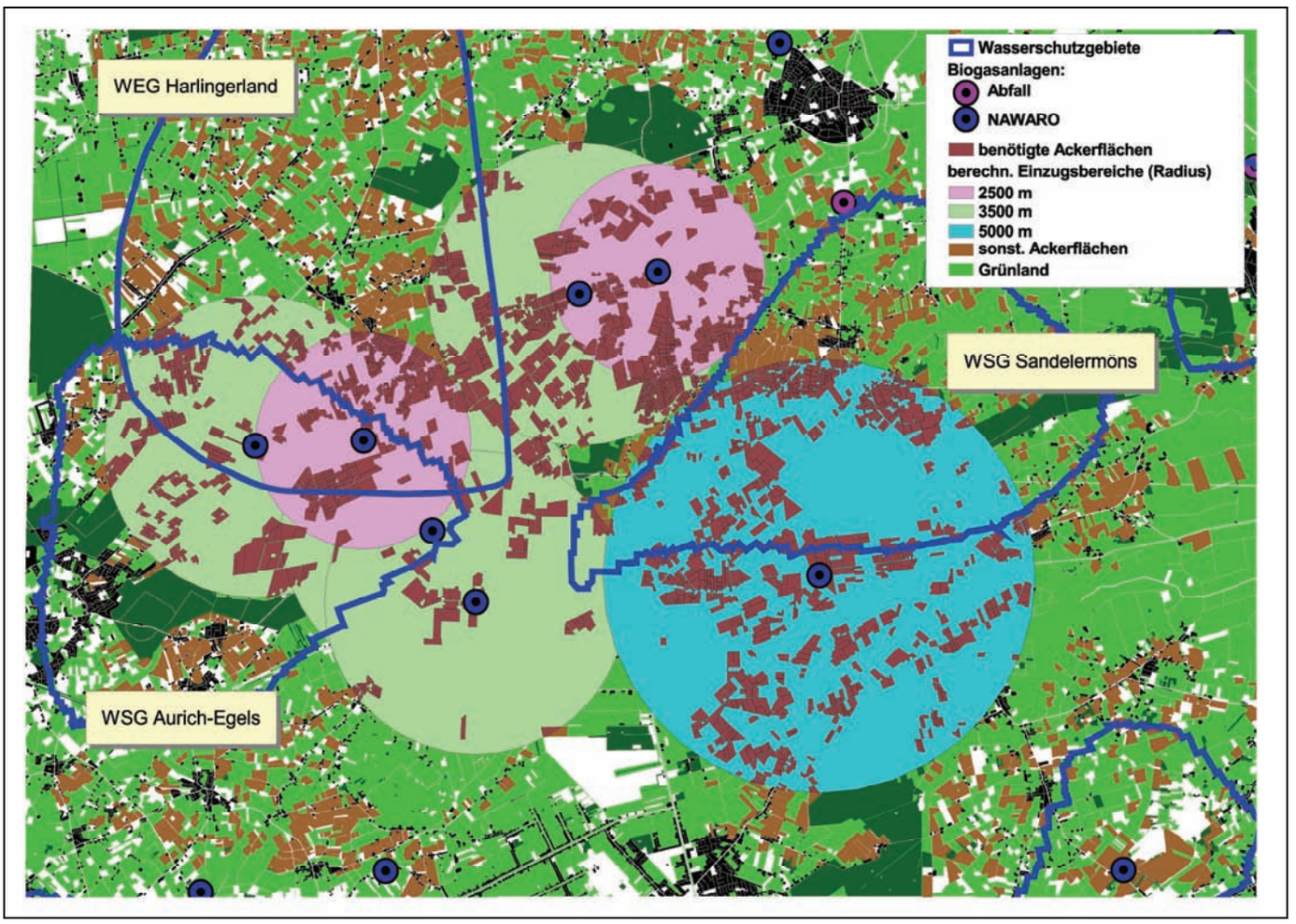


Abb. 7: Radien zur Deckung des Bedarfes an Maisanbaufläche bei dreigliedriger Fruchtfolge und Lage dreier Wassergewinnungsgebiete

In Abb. 7 wird bereits visuell deutlich, dass unter diesen Annahmen große Anteile der Ackerfläche in einzelnen Trinkwassergewinnungsgebieten überprägt werden. Im Wasserschutzgebiet Sandelermöns sind z. B. rechnerisch über 50% der Ackerflächen innerhalb des Wasserschutzgebietes vom Biogasmaisanbau betroffen (Tab. 5).

Tab. 5: Vom Energiepflanzenanbau rechnerisch betroffener Anteil an der Ackerfläche ausgewählter Wasserschutzgebiete

WSG	Gesamt-Ackerfläche im WSG	Ackerfläche mit Energiepflanzenanbau im WSG bei 3 jähriger Fruchtfolge	
	[ha]	[ha]	[%]
Sandelermöns	1587	839	53%
Harlingerland	2619	1060	40%
Aurich-Egels	1217	756	62%

Für die Deckung des Flächenbedarfes der Biogasanlagen wäre es notwendig, dass alle Ackerflächen innerhalb der Kreise für den Biogasmaisanbau zur Verfügung stehen. Da dieses in der Praxis tatsächlich nicht der Fall sein wird, ist mit einem noch weiteren Ausstrahlen der Anlagen in das Umland zu rechnen. Die ermittelten Einzugsbereiche der Biogasanlagen überschneiden sich zudem z. T. erheblich. Auch deswegen ist von noch weiteren Fahrstrecken und damit stärkeren Auswirkungen auf die Wasserschutzgebiete auszugehen.

Fazit Flächenbedarfsplanung:

- Am gezeigten Beispiel wird deutlich, dass der Energiepflanzenanbau in Wasserschutzgebieten örtlich schon bedeutende Flächenanteile einnimmt und zur prägenden Nutzungsrichtung wird.
- Die erforderliche Flächenausdehnung für den Energiepflanzenabbau einer Biogasanlage lässt sich nicht pauschal berechnen. Anlagenleistung, NawaRo- Anteil am Substrat, Waldanteile, konkurrierende Nutzungen im Umfeld und die Ertragsleistung der Böden sind wichtige weitere Faktoren, die bei der Ermittlung von Transportstrecken eine Rolle spielen.
- Im Beispiel wird für eine 1- MW- Biogasanlage ein Flächenradius von mindestens ~4km erforderlich (75% Maissubstrat, 33% der AF für NawaRo, 45% Grünlandanteil).
- Die Berechnungen stellen Näherungen dar. Schlag- und Hektargenaue Angaben über die Betroffenheit von WGG können nur durch eine gezielte Flächennutzungserfassung, z.B. im Rahmen der Grundwasserschutzberatung erfolgen.
- Werden durch den Energiepflanzenanbau extensive Nutzungen durch intensive ersetzt, wie es gegenwärtig durch den intensiven Maisanbau der Fall ist, führt dies zu einer Verschlechterung für den Grundwasserschutz.
- Umso größer wird die Bedeutung eines grundwasserschonend ausgerichteten Energiepflanzenanbaus.
- In Zukunft sollten im Rahmen von Regionalentwicklungskonzepten verstärkt Gunst – und Ungunststandorte für Biogasanlagen ausgewiesen werden, um regionale Fehlentwicklungen zu vermeiden.

3.2 Entwicklung der Flächennutzung in Niedersachsen

In Niedersachsen hat trotz sinkender landwirtschaftlich genutzter Fläche die Ackerfläche in den letzten 10 Jahren um ca. 70.000 ha zugenommen. Die Zunahme des Ackerlandes ging zu Lasten des Grünlandes, das zunehmend in Ackernutzung überführt wurde (Abb. 8).

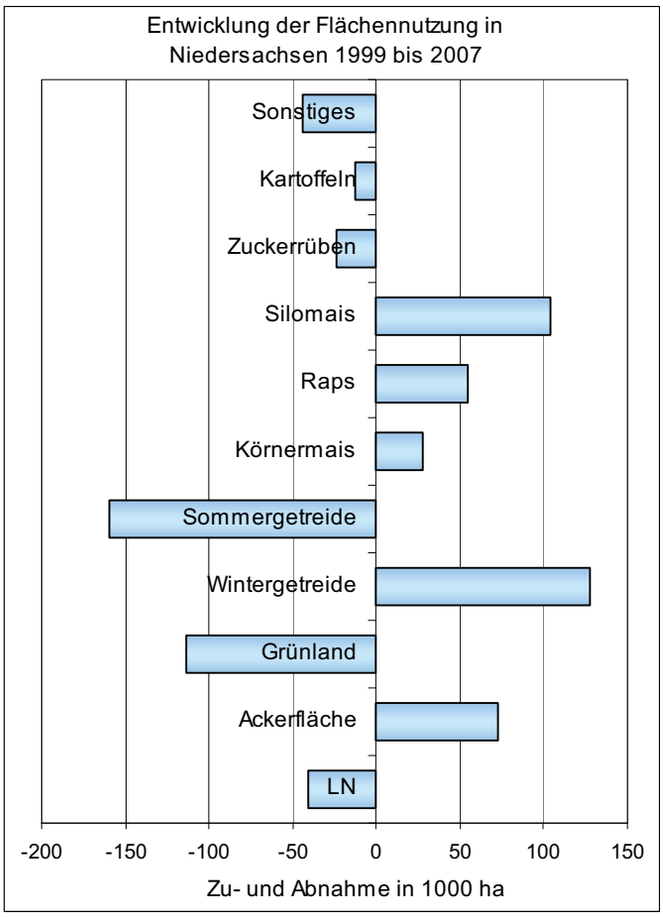


Abb. 8: Zu und Abnahme der Nutzungen in Niedersachsen zwischen 1999 und 2007

(Quelle: LSKN Ernteberichte, eigene Darstellung)

Bei den Ackerfrüchten wurde der Anbau von Wintergetreide, Raps und Silomais am stärksten ausgeweitet, während andere Nutzungen im Landesdurchschnitt Rückgänge verzeichneten. Besonders deutlich nahm die Anbaufläche von Sommergetreide ab.

Die Zunahme des Silomaisanbaus 1999 bis 2007 deckt sich zum Großteil mit der Anbaufläche von Energiemais 2007 und entspricht ungefähr 400 ha pro MW installierter elektrischer Leistung in Niedersachsen. Das entspricht nicht ganz der benötigten Anbaufläche pro MW, da aber auch andere Rohstoffe zur Vergärung eingesetzt werden, ist die Größenordnung sehr plausibel.

Die Tab. 6 verdeutlicht, dass im Betrachtungszeitraum 2005 bis 2009 die Zunahme des Maisanbaus fast ausschließlich der Ausdehnung des Energiemaisanbaus zuzuschreiben ist. Eine Ausnahme bilden die Landkreise Weser Ems und Osnabrück, wo vor allem der Körnermaisanbau zunahm.

Tab. 6: Entwicklung der Anbaufläche für Mais insgesamt und Energiemais in Niedersachsen 2005 bis 2009 [ha]

Niedersachsen	2005	2006	2007	2008	2009	Steigerung 2005 - 09	
						(ha)	(%)
Mais gesamt [ha]	357.583	387.290	420.000	475.000	481.000	123.417	26%
davon Energie-Mais [ha]	24.400	72.000	81.000	123.500	141.655	117.255	481%
Anteil Energie-Mais [%]	7%	19%	19%	26%	29%		

(Quelle: DMK 2009, ML Nieders.2009, eigene Darstellung)

Inzwischen werden ca. 30% der angebauten Maisfläche für die Biogasproduktion genutzt. Die Ausweitung der Anbaufrüchte Mais und Raps erfolgt sowohl auf Kosten anderer Ackerfrüchte, als auch auf Kosten des Grünlandes.

Regional gesehen ist das Bild jedoch differenzierter. Im nordwestlichen Niedersachsen ging der Zuwachs der Maisfläche mit einer Verringerung des Grünlandanteils einher. Im südöstlichen Niedersachsen nahm der Anteil an Zuckerrüben, Sommergetreide und sonstigen Nutzungen ab.

In den klassischen Marktfruchtlandkreisen wie Hildesheim, Wolfenbüttel und Goslar stieg der Maisanteil an der Ackerfläche zwar stark an, lag aber absolut betrachtet im Jahr 2007 erst bei 2 bis 5%.

In den Landkreisen Ammerland, Rotenburg (Wümme), Grafschaft Bentheim und Cloppenburg wurden dagegen über 20% der LF mit Mais bestellt. Der stärkste Zuwachs an Silomais ist in den Landkreisen Rotenburg (Wümme), Cuxhaven, Celle, Cloppenburg, Aurich und Delmenhorst mit 5.000 bis 10.000 ha zu verzeichnen. Nicht in allen Landkreisen ist der Zuwachs allein auf Energiemaisanbau zurückzuführen, sondern offensichtlich auch auf vermehrten Silomaisanbau zu Futterzwecken, wie z. B. im Landkreis Cuxhaven (nur 13 Biogasanlagen bis 2008).

Fazit Flächennutzung in Niedersachsen:

- Der Energiemaisanteil in Niedersachsen hat seit 1999 deutlich zugenommen und betrug Ende 2009 ~142.000 Hektar.
- Die Flächenfreisetzung erfolgte u. a. durch einen Anstieg der Ackerfläche insgesamt, die mit einem Rückgang an Grünland einher geht.
- Außerdem ersetzt der Silomaisanbau im nördlichen Niedersachen insbesondere das Sommergetreide und im südlichen Niedersachsen die Zuckerrüben.

3.3 Entwicklung des Grünlandumbruchs und Folgen

Problematik: Grundsätzlich stellen Grünlandumbrüche bedingt durch die einhergehenden in der Regel sehr hohen N- Mineralisationsschübe ein besonderes Risikopotenzial für die Grundwasserqualität dar. Grünlandumbrüche haben in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen und werden u. a. mit der Entwicklung des Energiemaisanbaus in Verbindung gebracht.

Aus diesem Grund werden Aspekte wie die Flächenausdehnung, Zusammenhänge zum Energiepflanzenanbau sowie N-Freisetzungspotenziale nach Grünlandumbruch im Folgenden vertieft.

3.3.1 Grünlandverlust im bundesdeutschen Vergleich

Wie in Kapitel 3.2 bereits ausgeführt, fanden in der Vergangenheit in Niedersachsen umfangreiche Umnutzungen von Grünland zu Ackerland statt. Diese Entwicklung hat nicht erst mit dem Anbau von Mais für Biogasanlagen eingesetzt. Nach Auswertungen von InVeKoS- Daten auf Feldblock- Ebene zeigt sich aber, dass in den Ländern Mecklenburg- Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein- Westfalen und Rheinland- Pfalz mindestens seit dem Jahr 2005 der Mais mit über 50% die dominante Flächennutzung nach Grünlandumwandlung in Ackerland ist (NITSCH. et. al. in: NABU, 2009). Die folgende Abb. 9 stellt die Veränderung von Acker- und Grünlandflächen im Vergleich der Bundesländer dar.

Insbesondere in Bayern, Niedersachsen und Schleswig Holstein ist der Grünlandanteil stark rückläufig. Diese Länder haben derzeit die höchste installierte Biogas- Anlagenleistung. In Niedersachsen und Schleswig- Holstein fand eine verstärkte Umnutzung von Grünland in Ackerland statt, was sich an der steigenden Ackerfläche bei gleichzeitig insgesamt gesunkener landwirtschaftlicher Nutzfläche zeigt.
In diesen beiden Ländern hat der Verlust von Grünland inzwischen die Cross- Compliance- Grenze von 5% (Abnahme des Grünlandanteils gegenüber dem Referenzjahr 2003) überschritten. Seit Juni 2008 (Schleswig- Holstein) und Oktober 2009 (Niedersachsen, nach Erreichen von 7% Abnahme) ist deshalb der Grünlandumbruch in diesen Ländern nur noch bei gleichzeitiger Ansaat von Grünland an anderer Stelle zulässig. Damit ist das Problem aus Wasserschutzsicht jedoch nicht gelöst, da die Option zur Rückumwandlung auch in Zukunft weitere Umbrüche und die damit verbundene N- Mineralisation nicht verhindert.

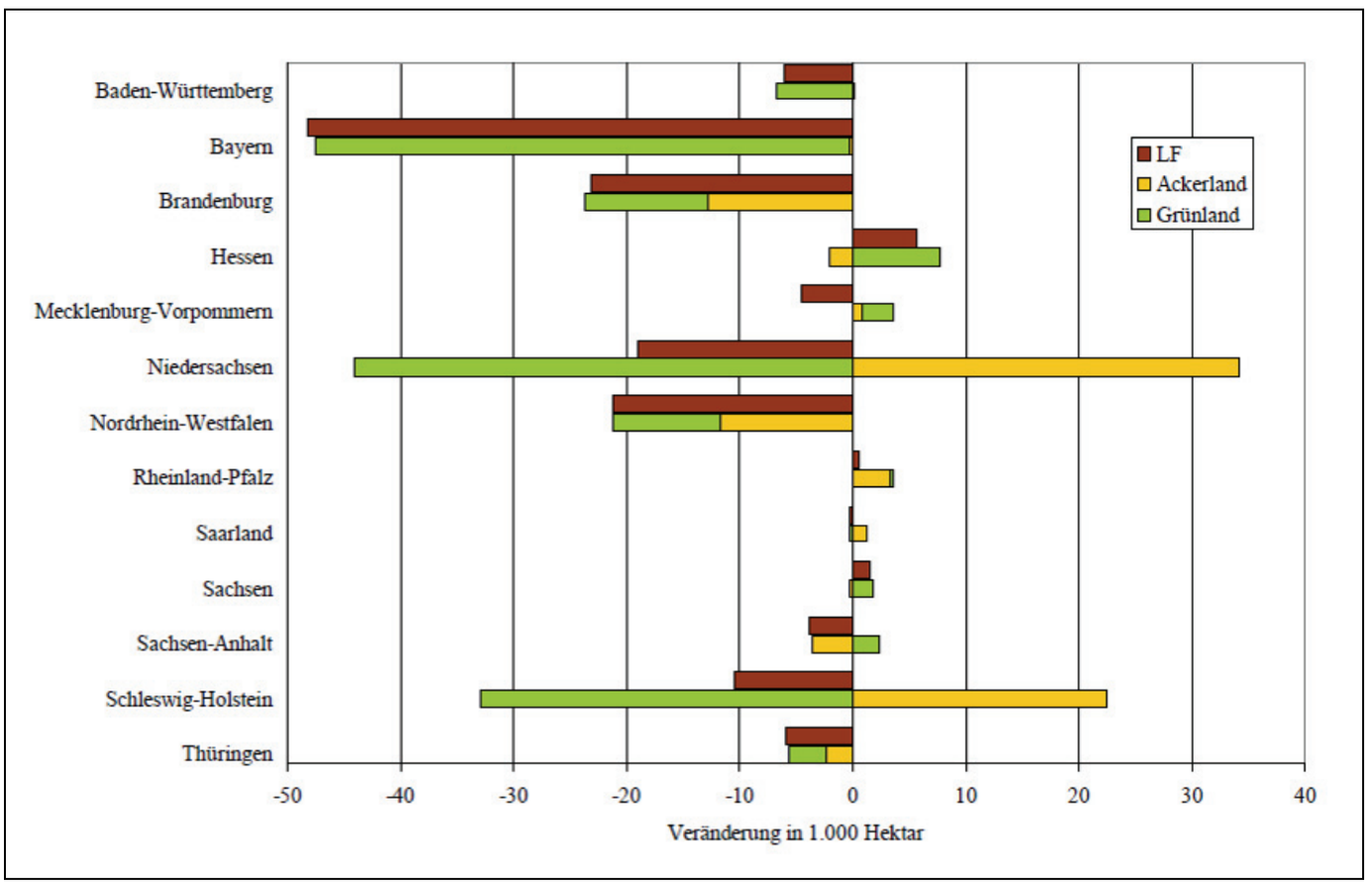


Abb. 9: Entwicklung der landwirtschaftlichen Fläche (LF) sowie der Acker- und Grünlandflächen nach Bundesländern zwischen 2005 und 2008 (Quelle: OSTERBURG et. al., 2009)

Brachflächenrückgang: Zusätzlich kamen von 2007 bis 2009 mit der Aufhebung der Stilllegungsverpflichtung die Dauerbrachen wieder in die Nutzung (ca. 120.000 ha in Nds.). Diese haben in den vergangenen Jahren für den Wasserschutz die Funktion von N-Entlastungsflächen gehabt. Auch auf diesen Flächen sind erhöhte N-Mineralisationsraten durch die Rückumwandlung zu erwarten.

3.3.2 Grünlandverlust in Niedersachsen nach Landkreisen

Die folgende Abb. 10 zeigt den niedersächsischen Grünlandverlust zwischen 1999 und 2007 auf Landkreisebene. Die Auswertungen in Abb. 11 zeigen neben dem Grünlandrückgang auch den Zuwachs an Energiemais auf Landkreisebene an. Es wird deutlich, dass in Landkreisen mit hohem Grünlandverlust im Regelfall auch ein hoher Anteil an Energiemaisfläche hinzugekommen ist. Auch der Energiemaisanbau trägt somit zur Verstärkung des Trends zum Grünlandumbruch bei. Dass ein statistischer Grünlandanstieg nicht immer mit der Anlage von neuen Grünlandflächen einhergehen muss, zeigt sich im Landkreis Soltau-Fallingbostel, wo der Zuwachs von 4000 ha Grünland durch die Umcodierung von ehemaligen Heideflächen erfolgte. Die tatsächliche Umbruchfläche ist daher eher höher anzusetzen.

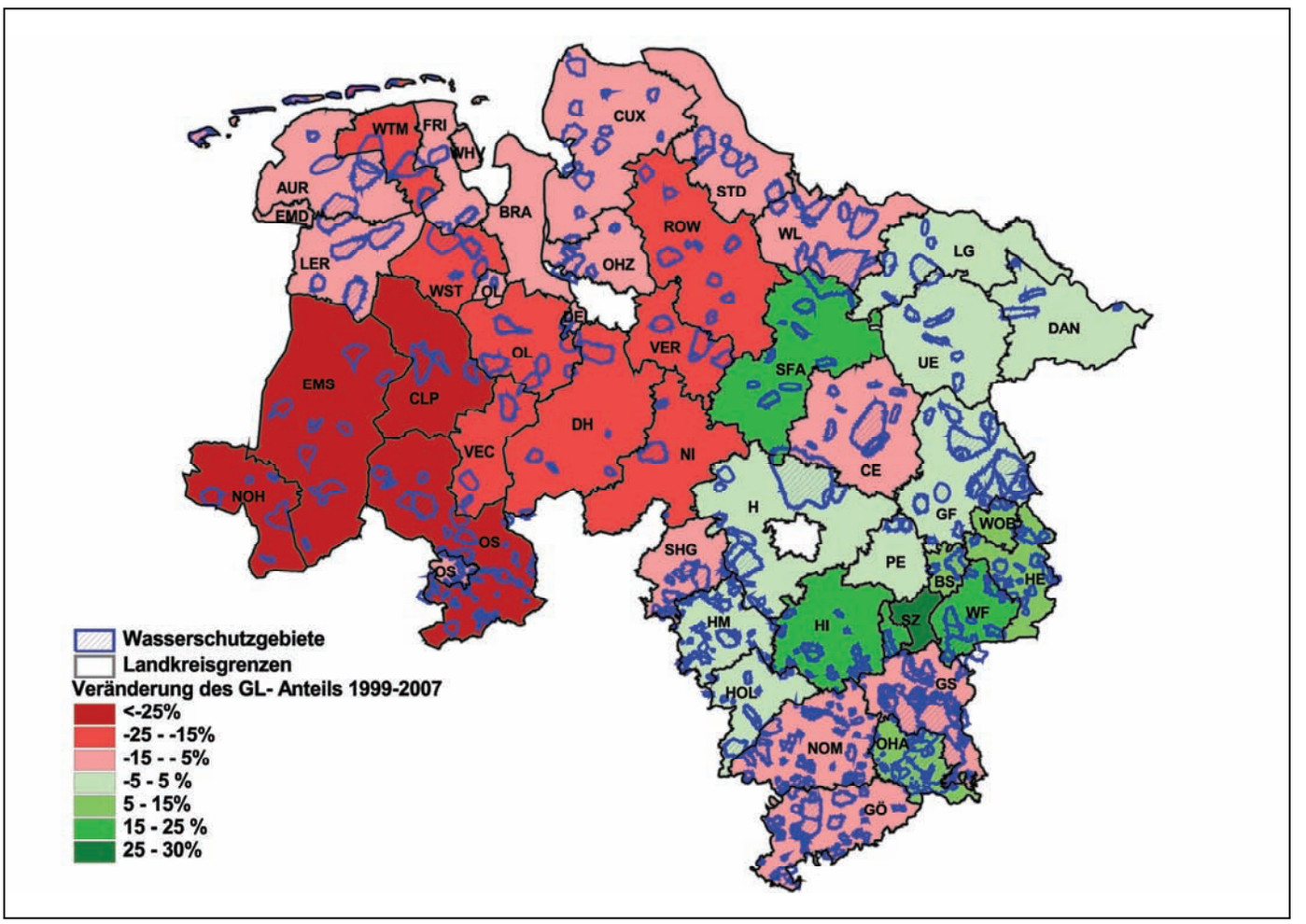


Abb. 10: Veränderungen des Grünlandanteils 1999 bis 2007 in den Landkreisen Niedersachsens und Lage der Wassergewinnungsgebiete (blau) (Datenbasis: LSKN Ernteberichte 2008, eigene Darstellung)

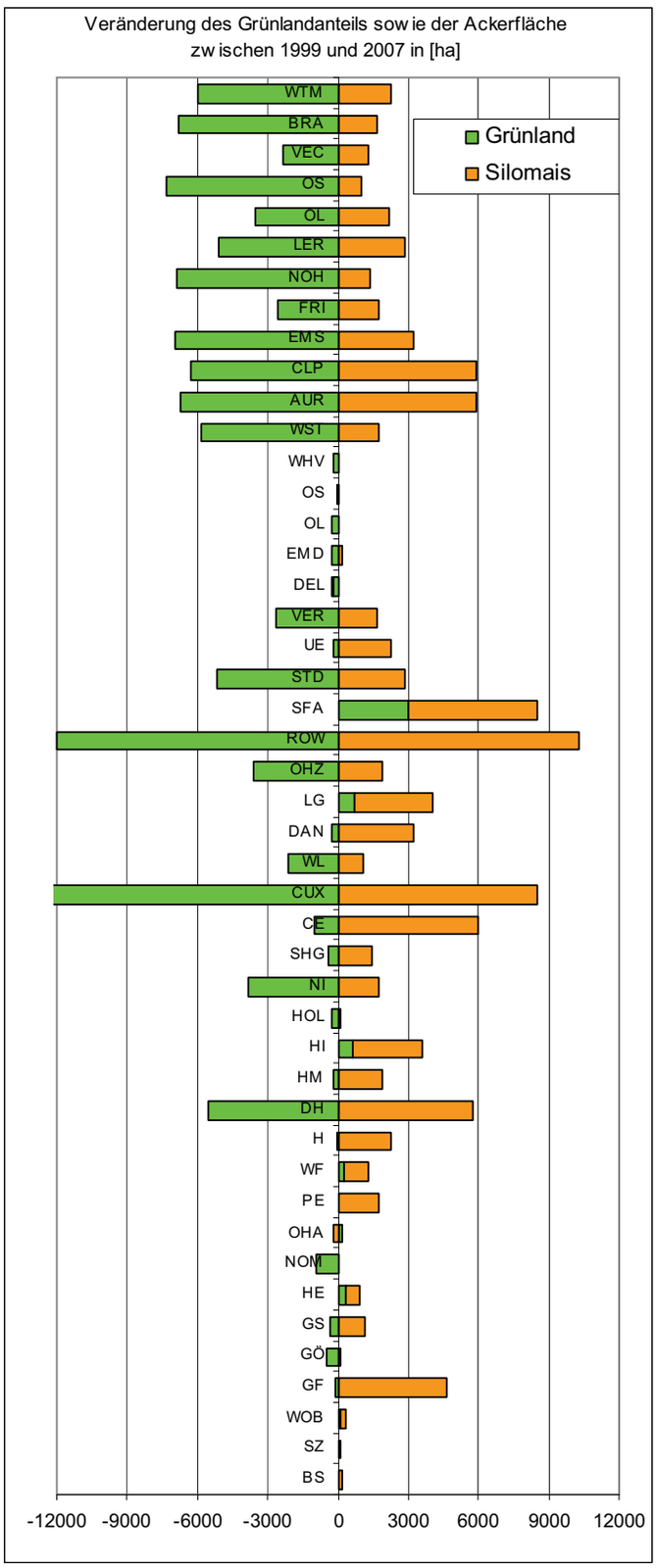


Abb. 11: Veränderung der Grünlandfläche und der Silomaisfläche nach Landkreisen Niedersachsens zwischen 1997 und 2007

3.3.3 Abschätzung der N-Mineralisation nach Umbruch in Niedersachsen

Unter umgebrochenem Grünland werden mindestens fünf Jahre lang zwischen 500 und 2.500 kg Stickstoff/ha (HÖPER, 2009) mineralisiert. Für umgebrochene Brachflächen kann man ca. die Hälfte annehmen. Berechnet man die N-Freisetzung der Grünland- und Brache-umbrüche für Niedersachsen zwischen 2003 und 2007, so ergibt sich eine Menge von 55.000 bis 275.000 t N pro Jahr an N-Freisetzung mit der potenziellen Gefahr der Verlagerung in das Grundwasser (siehe Tab. 7).

Tab. 7:Jährliche N-Freisetzung aus den Grünland- und Bracheumbrüchen der Jahre 2003 bis 2007 in Niedersachsen

Umwandlungsflächen 2003 bis 2007		Netto Mineralisation [kg N/ ha und Jahr]		Summe N- Freisetzung pro Jahr [t]	
	ha	min	max	min	max
Grünlandumbruch	50.000	500	2.500	25.000	125.000
Bracheumbruch	120.000	250	1.250	30.000	150.000
Summe für Niedersachsen				**55.000**	**275.000**
Bezogen auf 14% WSG Flächenanteil:					
Grünlandumbruch				3500	17.500
Bracheumbruch				4.200	21.000
Summe bezogen auf WSG Fläche				**7.700**	**38.500**

(Mineralisationsangaben nach HÖPER, LBEG 2009 und eigene Schätzung)

Diese Mengen werden das Grund- und Oberflächenwasser in den nächsten Jahren erheblich belasten! Stellt man ihnen das Einsparpotenzial durch freiwillige Vereinbarungen in den Niedersächsischen Trinkwasserkooperationen gegenüber (Tab. 8) so zeigt sich, dass die N-Freisetzung durch Grünland- und Bracheumbruch, anteilig bezogen auf die WSG Flächen, gegenwärtig dem mehrfachen der im kooperativen Grundwasserschutz erzielten jährlichen N-Einsparungen entspricht.

Tab. 8: Jährliche überschlägige N- Reduzierung in Trinkwasserkooperationen in Niedersachsen

Fläche mit Wasserschutzverträgen in Trinkwasserkooperationen [ha pro Jahr]		N Reduzierung [kg N / ha * Jahr]		Summe N- Reduzierung pro Jahr [t]	
	ha	min	max	min	max
Freiw. Vereinbarungen	124.000	15	25	**1.860**	**3.100**

(nach ROSKAM, 2009, verändert)

3.3.4 Ergebnisse des Grundwassermonitorings zum Grünlandumbruch im Fuhrberger Feld

Vorgehen: Im Wasserschutzgebiet Fuhrberger Feld im Landkreis Hannover ist auf Praxisflächen der Nitrataustrag nach Grünlandumbruch zur Schaffung von Flächen für den Energiemaisanbau untersucht worden. Es wurden zwei Grünlandumbruchflächen und eine Bracheumbruchfläche sowie eine Kontrollvariante (Grünlandfläche) geprüft. Die Flächen wurden nach Abstimmung mit der Grundwasserschutzberatung vor Ort anstatt im Herbst 2007 erst im Mai 2008 umgebrochen und mit Mais für die Biogasanlage bestellt. Mit dem möglichst kurzen Zeitraum zwischen Umbruch und Einsaat sollte eine Auswaschung der ersten Mineralisationswelle vor Winter vermieden oder mindestens abgemildert werden. Anschließend wurden monatliche Sauglanzenbeprobungen des oberflächennahen Grundwassers durchgeführt und auf Nitrat, Ammonium und Sulfat untersucht.

Ergebnisse: In der folgenden Abb. 12 werden beispielhaft die Ergebnisse 2008 – 2009 für den Standort „An der Bahn“ dargestellt.

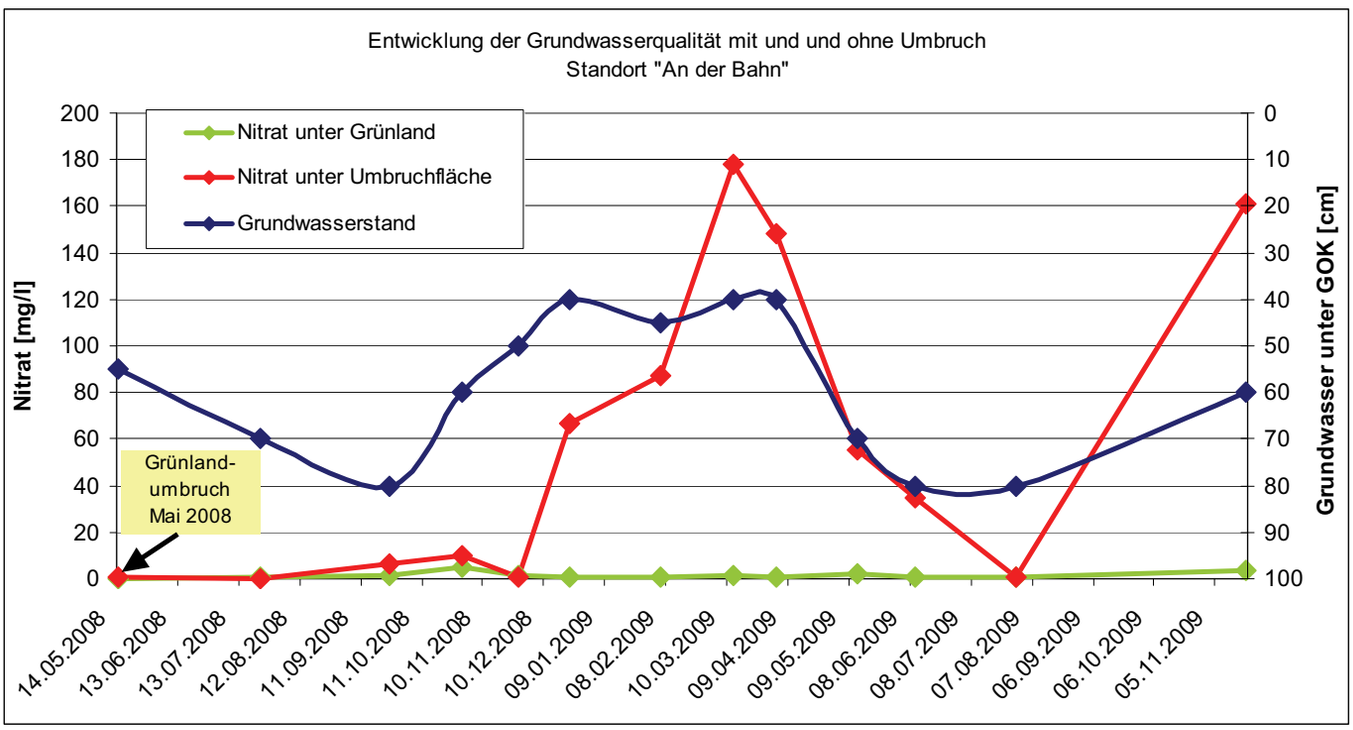


Abb. 12: Verlauf der Nitratgehalte im oberflächennahen Grundwasser sowie Grundwasserstände unter Grünlandumbruch mit Maisnachbau im Vergleich zu Dauergrünland

Es zeigt sich, dass ausgehend von einem sehr niedrigen Niveau zwischen 0 und 10 mg NO_3/l unter der Grünlandumbruchfläche im ersten Winter nach dem Umbruch die Nitratwerte im Grundwasser bis auf 180 mg/l anstiegen. Im Sommer 2009 sanken die Nitratwerte mit Nachlassen der Sickerwasserspende wieder ab. Steigende Sulfatwerte in den Sommermonaten 2008 und 2009 weisen darauf hin, dass in der Vegetationszeit mit geringerer Grundwasserbewegung Nitrat denitrifiziert wurde. Zum Winter 2009/2010 stiegen die Werte wieder stark an. Die Kontrollvariante Dauergrünland „An der Bahn“ zeigte im Gegensatz zur Umbruchfläche durchgehend niedrige Nitratwerte zwischen 0 und 5 mg NO_3/l.

Nach Untersuchungen von KAYSER, MÜLLER und SEIDEL (2005) sind nach Grünlandumbruch mit anschließender Ackernutzung bis zu 800 mg NO_3/l im Sickerwasser festgestellt worden. Die im Vergleich dazu niedrigeren Werte der dargestellten Untersuchungsflächen sind sicherlich auch durch den späten Umbruchzeitpunkt im Frühjahr 2008 zu erklären, konnten die Nitratausträge jedoch nur mindern aber nicht vermeiden. Auch Standortunterschiede können hier beträchtliche Unterschide im Mineralisationsverhalten bewirken.

Fazit Grünlandumbruch:

- Die Vermeidung von Grünlandumbrüchen mit den daraus resultierenden N- Auswaschungen ist ein zentrales Anliegen der Wasserwirtschaft.
- Der Grünlandverlust in Niedersachen belief sich im Zeitraum 1999 bis 2007 auf rund 50.000 ha; was einer N- Freisetzung von ~ 55.000 bis ~ 275.000 t N/Jahr entspricht.
- Folgekultur war häufig der Energiemais. Maisbetonte Fruchtfolgen sind in ihrem N-Austragsverhalten deutlich ungünstiger einzustufen als Dauergrünland.
- Trotz der seit Oktober 2009 geltenden Genehmigungspflicht für Grünlandumbruch sind in Niedersachsen durch die Umbrüche der letzten Jahre weitere hohe Nitratausträge zu erwarten.
- Grünlandverluste führen zu hohen N- Freisetzungen und erhöhter N- Auswaschungsgefahr. Eigene Untersuchungen des oberflächennahen Grundwassers nach Grünlandumbruch im Fuhrberger Feld zeigen im ersten Untersuchungsjahr Höchstwerte bis 180 mg $N0_3$/l.
- Grünlandumbrüche sind weiterhin zulässig, wenn nach Dauergrünlanderhaltungsverordnung (GLerhVO vom 6.10.2009) an anderer Stelle im gleichen Umfang Grünland etabliert wird. Das reduziert jedoch nicht die Belastungen unter den umgebrochenen Flächen.
- Bracheumbrüche haben ähnliche Auswirkungen wie Grünlandumbrüche und führen durch die Aufhebung der Stilllegungsregelung zusätzlich zu Mineralisationsschüben.

Handlungsempfehlungen:

- Durch austragsreduzierende Maßnahmen können hohe Nitratausträge nach Grünland- und Bracheumbruch zwar nicht vermieden aber mindestens reduziert werden. Daher ist neben der verpflichtenden Genehmigung von Umbrüchen auch eine begleitende Beratung empfehlenswert.
- Interessante Ansätze bietet eine von SPRINGOB (M&P-Vorhaben 2009-2011) entwickelte Methode der Einstufung des langfristigen Mineralisationspotenzials von Standorten anhand des standörtlichen Humusgleichgewichtes als Basis für die Genehmigung und Beratung.
- Eine verstärkte Nutzung von Grünlandaufwüchsen in Biogasanlagen könnte zum Erhalt der Grünlandbestände beitragen. Dies könnte z. B. durch eine Koppelung des NawaRo-Bonus an ein Umbruchverbot unterstützt werden.
- Die Datenlage zur Beurteilung der Entwicklung von Grünlandumbrüchen ist derzeit heterogen und Bezugsgrößen oft unstimmig. Die Erfassungsstandards sollten vereinheitlicht und die Datenverfügbarkeit verbessert werden.
- Die durch Cross-Compliance vorgegebenen Obergrenzen auf Landesebene verhindern nicht, das regional höhere Flächenanteile umgebrochen werden können.
- Es werden daher naturraumbezogene Umbruchhöchstgrenzen empfohlen, um einer regionalen Entmischung entgegen zu wirken. Insbesondere wassersensible Gebiete sollten so besser geschützt werden.

Bild 2: Grünlandumbruch Schritt 1: Alte Grünlandnarbe wird abgespritzt

Bild 3: Grünlandumbruch Schritt 2: Alte Grünlandnarbe wird anschließend gegrubbert und gepflügt.

3.4 Aufbau eines Grundwassermonitorings für Energiepflanzen

Problematik: Als Folge der zunehmenden Anzahl von Biogasanlagen sind Änderungen in der Flächennutzung festzustellen, durch die Beeinflussungen bis hin zu Beeinträchtigungen der Grundwasserqualitäten befürchtet werden. Erste Anzeichen dafür lassen sich im Versorgungsbereich des OOWV feststellen. Daher wurden im Rahmen des M&P-Vorhabens Überlegungen zum Aufbau eines Grundwassermonitorings für den Energiepflanzenanbau angestellt, eine entsprechende Methodik entwickelt und diese an einem Leitgebiet getestet. Es wurden Bereiche mit einer hohen Biogasanlagendichte ausgewählt, die gleichzeitig die Möglichkeit einer Grundwasserüberwachung in sandigen Grundwasserleitern bieten. Der gewählte Ansatz soll exemplarisch dargestellt werden.

Untersuchungsraum: Die Voruntersuchungen bezogen sich auf die WSG Aurich- Egels, Thülsfelde und Großenkneten. Es erfolgte eine vertiefende Untersuchung an 11 Messstellen im WSG Thülsfelde. Das **WSG Thülsfelde** weist nur geringe Anteile an Lehm- und Moorböden auf. Es wird überwiegend von glazifluviatilen Sanden und Talsanden und z.T. von Flugsanden eingenommen. Viele Messstellen sind flach verfiltert und weisen eine relativ schnelle Reaktionszeit auf. Der relativ einheitliche Aufbau des Grundwasserleiters und die hohe Anzahl von Biogasanlagen im Umfeld des WSG Thülsfelde lassen diesen Bereich als Modellgebiet geeignet erscheinen. Gleichzeitig werden in letzter Zeit steigende Nitratgehalte in einigen Gütemessstellen gemessen, deren Ursache gegenwärtig ungeklärt und somit näher zu untersuchen ist.

Um Rückschlüsse auf Auswirkungen des Biogasanlagenbetriebs auf die Grundwasserqualität ziehen zu können wurde folgendes **Vorgehen** gewählt:

1. Festlegung / Erfassung des Anströmungsbereiches der Messstellen.

2. Berechnung / Erfassung der Abstandsgeschwindigkeit: In welchem Zeitraum ist mit einer Reaktion im Grundwasser zu rechnen?

3. Erhebung der Nutzung im Anströmungsbereich der Messstellen. Hier ist besonders auf den Bezug zur energetischen Nutzung, wie den Biogas-Maisanteil und die Gärrestausbringung zu achten.

4. Beobachtung der Grundwasserqualität und vergleichende Auswertung vor / nach Bau der Biogasanlage.

Innerhalb des Projektzeitraumes konnte dieses Vorhaben nur bis zum Punkt 2, Berechnung / Erfassung der Abstandsgeschwindigkeiten durchgeführt werden. Die Erfassung der konkreten Nutzung wurde aus Zeitgründen mit mittleren Werten, die für den Landkreis Cloppenburg vorliegen, gerechnet.

3.4.1 Methodik

Engere Auswahl der Messstellen: Bei der engeren Auswahl der näher zu betrachtenden Messstellen wurden folgende Aspekte berücksichtigt:

- Verlauf und Höhe der chemischen Grundwasserparameter Eisen, Sulfat und Sauerstoff (als Indikatoren für mögliche Nitratabbauprozesse) und Nitrat.
- Lage der Messstelle: liegt die Messstelle in einem landwirtschaftlich genutzten Umfeld?
- Tiefe der Verfilterung: Nach Möglichkeit sollte die Verfilterung nicht tiefer als 5 m unter Flur beginnen, da sonst von zu langen Fließzeiten auszugehen ist.

Berechnung der Anströmungsbereiche und Fließzeiten:
Die Festlegung der Anströmungsbereiche der Messstellen ist notwendig, um die Bereiche genauer festzulegen, die die Grundwasserqualität an der jeweiligen Messstelle beeinflussen.

Nach Bohrprofilen des NIBIS treten im Untersuchungsraum überwiegend feinsandige Bodenarten auf (LBEG 2009). Danach wurden nach RENGER et al. (1989) mit den mittleren Niederschlägen und Verdunstungsraten, die Sickerwasserraten für Ackernutzung berechnet. Mit diesen Werten wurden die Fließzeiten in der ungesättigten Zone bis zur Grundwasseroberfläche berechnet. Da die Filter 0,5 bis 4 m unterhalb der Grundwasseroberfläche liegen, trifft das Sickerwasser mit dem Eintritt in das Grundwasser nicht sofort auf den Filter, sondern benötigt z. T. noch mehrere Jahre, um vorhergehende Grundwasserjahrgänge bis in die Tiefe des Filters zu verdrängen (Abb. 13). Der Betrag der Abwärtsverdrängung wurde anhand der Sickerwasserraten für Ackerland und des Porenvolumens im Grundwasserleiter ermittelt. Das Gesamtporenvolumen des Grundwasserleiters wurde in Anlehnung an die KA5 (2005) abhängig von der Bodenart bestimmt (Fein- bis Mittelsand).
Das Grundwassergefälle wurde nach dem Grundwassergleichenplan ermittelt. Die Kf-Werte (Durchlässigkeitsbeiwerte) wurden in Anlehnung an interne überschlägige Berechnungen des OOWV angenommen.

Mit den Kf-Werten, dem Grundwassergefälle und dem effektivem Porenraum wurden die Abstandsgeschwindigkeiten berechnet.

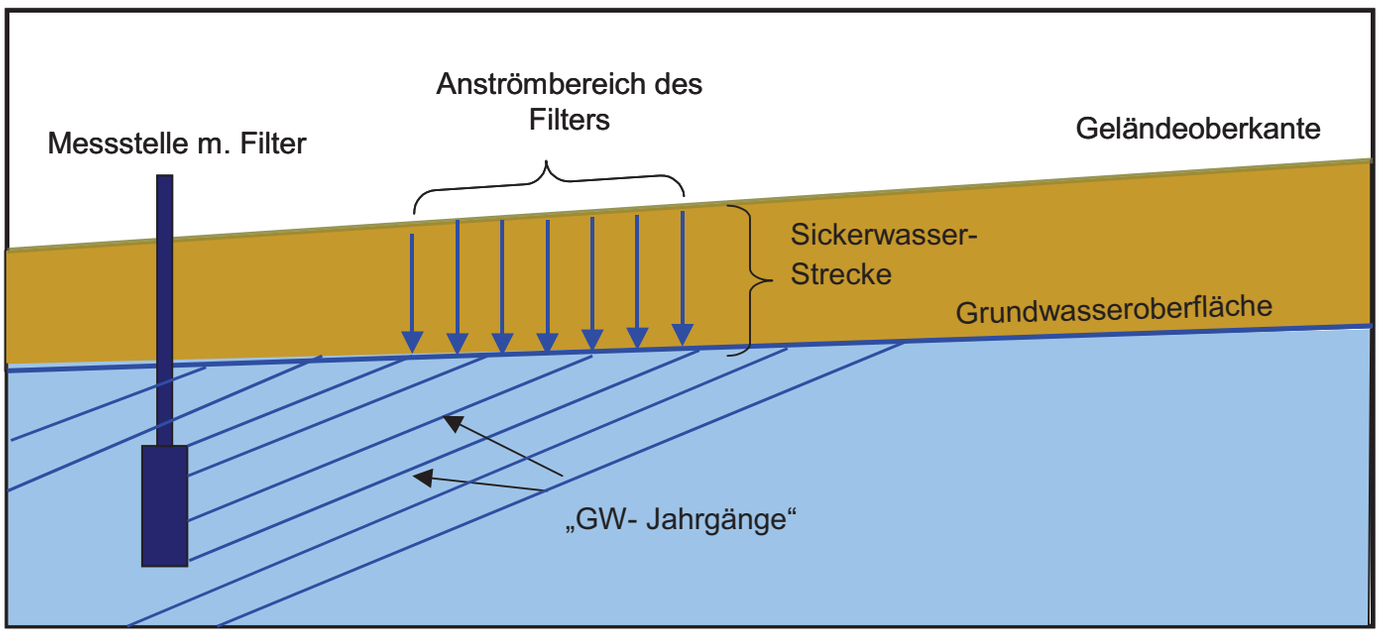


Abb. 13: Schematische Darstellung der Grundwasserneubildung und Erfassung in der Messstelle.

Ergebnis Fließzeiten und Anstrombereiche der ausgewählten Messstellen: Die elf ausgewählten Messstellen weisen Filtertiefen zwischen 4 und 8 m auf. In den meisten Messstellen ist anhand erhöhter Eisen- und geringer Sauerstoffgehalte von einer teilweisen Denitrifikation auszugehen. Die Nitratverläufe können z. T. als steigend, z. T. als fallend charakterisiert werden und liegen mit Werten zwischen 10 bis 200 mg/l NO_3/l auf sehr unterschiedlichen Niveaus.

Zur Abschätzung möglicher **Einflussbereiche** (ein Einzugsgebiet im Sinne eines Förderbrunnens ist nicht definiert, da die Grundwasserentnahme fehlt) und der Umsatzzeiten im Grundwasser wurde ausgehend von dem Filter der GW-Messstellen ein advektiver Transport berechnet. Dabei wird das stationäre Strömungsfeld des Grundwassergleichenplans vom Dezember 2005 zugrunde gelegt und gewissermaßen rückwärts, stromaufwärts gerechnet (vgl. Abb. 13).

Je nach Grundwasserflurabstand, Filterstellung und Durchlässigkeitsbeiwerten liegen die Einzugsbereiche zwischen 13 und 545 m von den Messstellen entfernt. Die Fließzeiten betragen 2 bis 9 Jahre.

Bei der Interpretation der Ergebnisse der Modellierung sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- Es handelt sich bei der Probenahme um ein Mischwasser unterschiedlichen Alters. Die Eingangsdaten sind z. T. lückenhaft oder geschätzt. Eine Übertragung der Modellergebnisse auf die Realität muss diese Unsicherheiten berücksichtigen.
- Das Ergebnis stellt einen langjährigen, mittleren Zustand dar. Spezielle Abflusssituationen wie z. B. Hochwasser, starke Winterniederschläge oder extreme Trockenphasen können u. U. sehr stark von den berechneten Ergebnissen abweichen.

Unter den getroffenen Annahmen ergeben sich die in der Abb. 14 als verschieden große Bereiche dargestellten Anstrombereiche für die einzelnen Messstellen. Die Größe der dargestellten Bereiche hängt von der Tiefe und Länge der Filterstrecken ab. Die Form der Einzugsbereiche ergibt sich aus den oben dargestellten Unsicherheitsfaktoren, die mit der Entfernung von der Messstelle zunehmen. Bei der geringen Tiefe der Verfilterung ist jedoch eine Begrenzung auf jeweils wenige landwirtschaftliche Flächen gegeben. Die Fließdauer durch die ungesättigte und gesättigte Zone ist durch die verschiedenen Farben dargestellt.

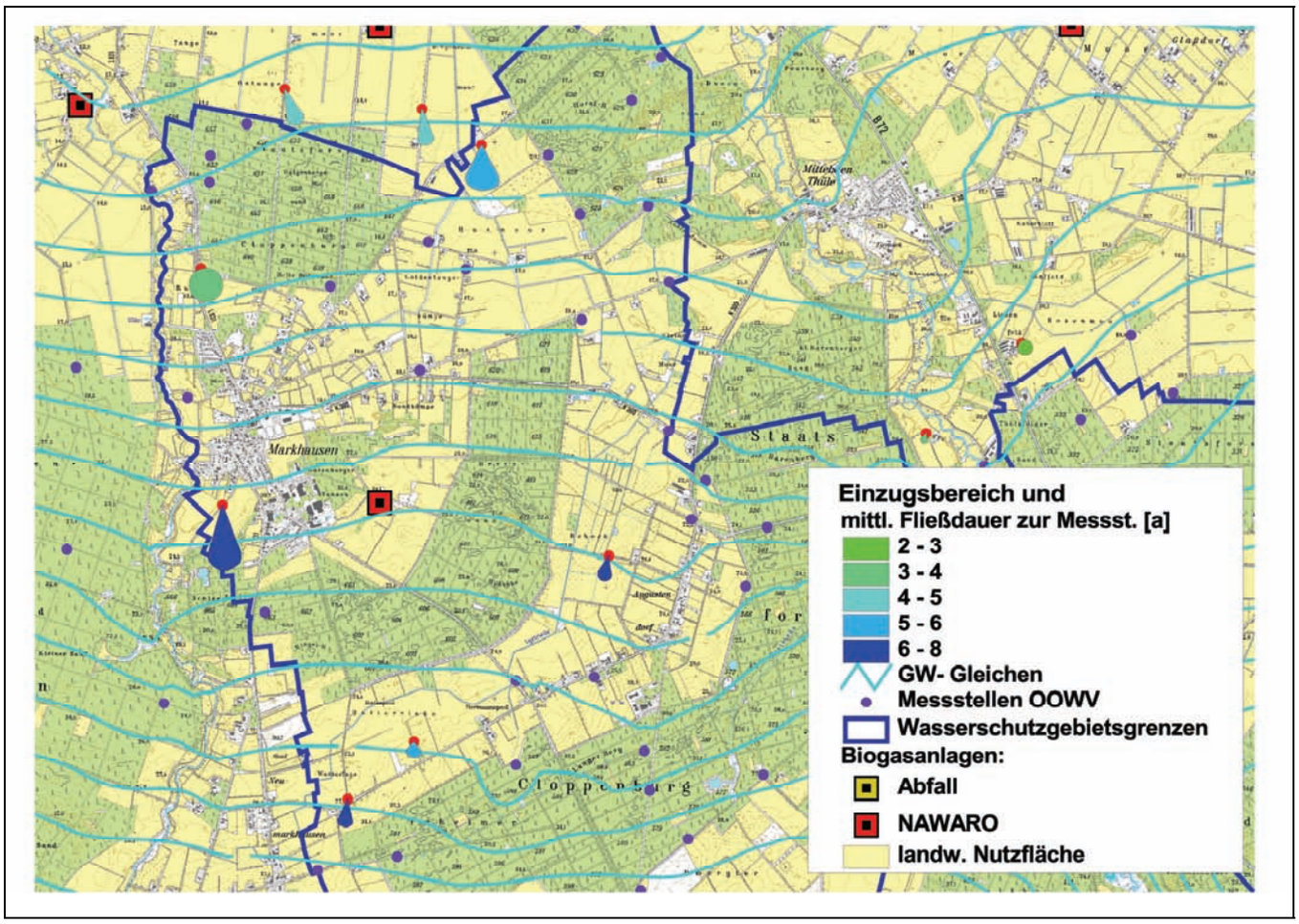


Abb. 14: Lage der Anstrombereiche und mittlere Fließdauer (ungesättigte Zone und Grundwasser) zu den untersuchten Meßstellen, exemplarisch

Im nächsten Schritt müssen die Nutzungsinformationen mit den Grundwasserinformationen verschnitten werden. Diese sind im Idealfall im Einzugsbereich der gewählten Messstellen zu erheben. Liegt diese Information nicht vor, kann für eine Übersichtsauswertung auf Daten der Agrarstatistik und Erfahrungswerte zurückgegriffen werden.

3.4.2 Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus auf die Sickerwasserqualität

Anhand der Agrarstatistik wurde der Nutzungswandel im Landkreis Cloppenburg nachvollzogen. Mittlere Herbst N_{min}-Werte wurden aus den im Rahmen des M&P-Vorhabens erhobenen Daten abgeleitet und daraus die Sickerwasserqualitäten berechnet (Tab. 9). So hatte der Silomaisanbau bis 2003 zunächst leicht abgenommen. Dafür wurde vermehrt Körnermais zur Futternutzung angebaut. Die starke Zunahme des Silomaisanbaus seit 2003 ist überwiegend auf die Biogasnutzung zurückzuführen (LSKN 2007). Die Ausweitung des Anbaus erfolgte sowohl zu Lasten des Körnermaisanbaus, als auch anderer Früchte sowie des Grünlandes. Nach VTI 2009 (Nitsch et al. 2009) ist die häufigste nach Grünlandumbruch angebaute Frucht Silomais.

Tab. 9: Entwicklung der Nutzung auf der landw. genutzten Fläche im Landkreis Cloppenburg und langj. mittlere Herbst-N_{min} -Werte, sowie die rechn. mittlere Sickerwasserqualität (Quelle: LSKN 1999 – 2007, eigene Erhebungen)

	Flächenanteil			Mittlerer Herbst Nmin	entspricht SW- Qualität:
Frucht	1999	2003	2007	[kg N/ha]	[mg NO_3/l]
Grünland	20%	17%	14%	30	35
Silomais	20%	19%	27%	90	**104**
Körnermais	12%	18%	14%	90	104
Winterweizen	4%	9%	10%	65	75
Triticale	2%	5%	3%	40	46
Winterroggen	5%	4%	7%	55	63
Wintergerste	8%	8%	9%	55	63
Sommergetreide	13%	6%	2%	65	75
Raps	2%	1%	3%	70	81
Kartoffeln	3%	3%	2%	75	87
Sonstiges	9%	9%	8%	50	58
rechn. mittl. SW- Qualität [mg NO3/l]	**72**	**75**	**77**		
unter Berücksichtigung der GL- Umbrüche	**76**	**79**	**83**	**(+50)**	

Aus der Tab. 9 ist ersichtlich, dass zwischen 1999 und 2007 der Anteil der Grünlandnutzung von 20 auf 14% abgenommen hat. Der Maisanteil (Körner- und Silomais) hat dagegen von 32 auf 41% zugenommen. Da der Maisanbau eine der Früchte mit den höchsten mittleren Herbst- N_{min} Werten ist, hat das Auswaschungsrisiko entsprechend zugenommen. So hat allein durch die Ausweitung des Maisanbaus und die Reduzierung des Grünlandanteils der mittlere rechnerische Nitratgehalt im Sickerwasser im Landkreis von 72 auf 77 mg NO_3/l um ca. 5 mg/l zugenommen. Nimmt man für die umgebrochenen Grünlandflächen eine Erhöhung des Herbst-N_{min}-Wertes um durchschnittlich 50 kg N/ha an, so ergibt sich z. B. für 2007 sogar eine mittlere Sickerwasserbelastung von 83 mg NO_3/l.

Noch stärker wirken sich solche Nutzungsänderungen auf der Einzelfläche aus. Die in einzelnen Meßstellen gegenwärtig beobachteten Schwankungen zwischen 80 und 160 mg NO_3/l unter Ackernutzung können durch solche Bewirtschaftungsmaßnahmen erklärt werden.

3.4.3 Optimierungsszenario

Der Anbau von Biogaskulturen muss nicht zwingend eine Verschlechterung der Sickerwasserqualität zur Folge haben. Eine Aufweitung der Maisfruchtfolge mit dem konsequenten Anbau von Zwischenfrüchten kann die Nitratbelastung erheblich verringern. In Tab. 10 sind drei Nutzungssysteme mit deren rechnerischen Sickerwasserqualitäten nebeneinander dargestellt.

- Die niedrigsten Nitratbelastungen von durchschnittlich 35 mg NO_3/l entstehen danach unter Dauergrünland.
- Die Fruchtfolge 1 beschreibt den „worst case“: permanenter Maisanbau. Unter langjährigen Ackerflächen beträgt die Sickerwasserqualität unter den Gegebenheiten im WSG Thülsfelde ca. 100 mg NO_3/l. Wird der Mais gar auf einer umgebrochenen Grünlandfläche angebaut, muss man sogar mit Nitratgehalten um 160 mg/l rechnen.
- Die Fruchtfolge 2 dagegen zeigt eine fünfjährige Biogas- Fruchtfolge, die am Wasserschutz orientiert ist und einen Fruchtartenwechsel sowie Winterungen berücksichtigt. Durch die Aufweitung der Fruchtfolge und dauerhafte Begrünung ist eine Reduktion der Nitratgehalte im Sickerwasser um ca. 50 mg/l zu erreichen.

Eine weitere Optimierung ließe sich durch den Verzicht auf Grünlandumbruch, reduzierte Bodenbearbeitung zu Mais und Untersaaten erzielen (siehe auch Kap. 7).

Tab. 10: Rechnerische Sickerwasserqualitäten unter Dauergrünland (DGL) im Vergleich zu zwei möglichen 5-jährigen Biogasfruchtfolgen nach Grünlandumbruch: FF1 Maismonokultur und FF2 Grundwasserschutzorientierte Fruchtfolge

Frucht	Flächenanteil			Mittlerer Herbst Nmin [kgN/ha]	entspricht SW- Qualität: [mg N03/l]
	Dauergrünland	Fruchtfolge 1 „Mais Mono“	Fruchtfolge 2 „Wasserschutz“		
GL	100%	0%	0%	30	35
Silomais	0%	100%	20%	90	104
GPS Getreide	0%	0%	20%	20	23
Roggen/Mais ZKN	0%	0%	20%	40	46
Feldgras	0%	0%	20%	35	40
Triticale	0%	0%	20%	40	46
Anteil GL- Umbruch	0%	100%	100%		
Rechn. mittl. SW- Qualität [mg NO_3/l]	**35**	**104**	**52**		
Unter Berücksichtigung des GL- Umbruchs	**35**	**162**	**110**	(+50)	

Fazit Grundwassermonitoring:

- Ziel des entwickelten Grundwassermonitorings ist die Überprüfung von Nutzungseinflüssen durch den zunehmenden Energiepflanzenanbau auf die Sickerwasser- und Grundwasserqualitäten.
- Es wurde an einem konkreten Beispiel eine Methodik zur Datenaufnahme, Überprüfung von Nutzungseinflüssen, Charakterisierung der Meßstellen und zu erwarteten nitratbezogenen Sickerwasseränderungen entwickelt.
- Die Ergebnisse zeigen die höchsten Sickerwasserbelastungen unter Mais und die geringsten unter Grünland. Grünlandumbrüche erhöhen die jährliche Nitratbelastung weiter und gehen mit 50 kg N/ha in die Bewertungen ein.
- Die repräsentativ für den Landkreis Cloppenburg erfasste Flächennutzung war im Zeitraum 1999 bis 2007 durch einen steigenden Mais- und Weizenanteil bei gleichzeitig abnehmender Grünlandnutzung- und Sommergetreideanbau geprägt. In der Folge ist in der Zukunft mit einem Anstieg der mittleren Nitrat-Sickerwasserkonzentrationen um 7 mg/l zu rechnen (bei Berücksichtigung von Grünlandumbrüchen).
- Fruchtfolgeberechnungen auf Einzelschlagebene zeigen, dass mit Dauergrünland die niedrigsten Sickerwasserkonzentrationen zu erzielen sind (35 mg NO_3/l).
- Bei Umbruch der Fläche und Nutzung durch Mais in Selbstfolge ist mit 162 mg NO_3/l Sickerwasserbelastung zu rechnen (bzw.103 mg NO_3/l ohne Umbruch). Durch Optimierung des Anbaus in einer fünfjährigen Fruchtfolge kann die Sickerwasserbelastung um rund 50 mg NO_3/l reduziert werden.
- Die Vermeidung von Grünlandumbrüchen ist daher auf jeden Fall geboten, ebenso wie grundwasserschonende Anbauformen. Ein Grundwassermonitoring kann zur Sensibilisierung und zur Eingrenzung von Gefahrenzonen beitragen, es lässt im Vorfeld Prognosen über die möglichen Folgen von Nutzungsänderungen zu und ermöglicht langfristig eine Überwachung derselben.
- Weiterentwicklungen in der Bewertung sind erforderlich, u. a. um den Bereich der Gärrestdüngung. Außerdem erachten wir die Übertragung auf andere Gebiete und die Einbindung in landesweite Monitoringprogramme als sinnvoll.
- Eine auf Grünlandumbruch basierende Energiepflanzenproduktion kann auch den Klimaschutzzielen nicht gerecht werden, da nach Umbruch in der Summe ca. 130 t CO_2/ha an Emissionen zu erwarten sind aber im Schnitt für die Biogaserzeugung nur 4 t CO_2/ha/Jahr eingespart werden. Der negative Effekt von Grünlandumbruch zugunsten der Biomasseerzeugung würde dann erst nach 30 Jahren durch den positiven Effekt der Bioenergieproduktion kompensiert werden (Berechnung CO_2-Freisetzung: anfänglich 100 t Corg./ha und 40% Corg. Abbau durch Umbruch; Berechnung CO_2-Einsparung: duch Substitution fossiler Energieträger bei durchschnittlichem Bioenergiemix; BMELV, 2007).

3.5 Einrichtung einer Datenbank- Biogasanlagen

Problematik: Im Zuge dieses M&P-Vorhabens hat sich gezeigt, dass es gegenwärtig keine einheitliche Datenhaltung zu Biogasanlagen in Niedersachsen gibt. Durch die Vielzahl der Genehmigungsbehörden (Landkreise, Gewerbeaufsichtsämter) kommt es zu unterschiedlichen Datenformaten und Informationsgehalten bei der Verwaltung der entsprechenden Daten. Die von den Gewerbeaufsichtsämtern (GAÄ) genehmigten Anlagen sind nicht immer den Landkreisen bekannt und umgekehrt. Oftmals werden Anlagen, die von den GAÄ genehmigt werden, nachträglich in die Datenbestände der Landkreise eingepflegt. Durch die unterschiedlichen Datenstandards ist eine Zusammenführung der jeweiligen Datenbestände jedoch oft schwierig bis unmöglich. Da es kein einheitliches Schlüsselfeld in beiden Datenbeständen gibt und die Betreiber sowie der Name der Biogasanlagen in den gegenwärtig verfügbaren Erhebungen nicht enthalten sind, können die Datenbestände nur über die geografische Lage der Anlagen zusammengeführt werden. Doch auch hier zeigt sich, dass es z. T. erhebliche Abweichungen gibt.

Mindeststandard: Um eine Zusammenführung der Datenbestände zu erleichtern ist es daher notwendig, einen Mindeststandard zu formulieren, der eine eindeutige Identifizierung jeder einzelnen Anlage ermöglicht. Diese Datenstruktur könnte im Idealfall nach Abschluss des Projektes weiter aufgebaut und gepflegt werden.

Erforderliche Datenbankstruktur:

- Die Datenbank muss eine eindeutige Identifizierung der Biogasanlage ermöglichen.
- Sie muss auch die Möglichkeit bieten, aus Datenschutzgründen z. B. Angaben zum Betreiber auszublenden.
- Daher sollten Angaben zur Biogasanlage und dem jeweiligen Betreiber in zwei unabhängigen Tabellen gespeichert werden.
- Bei einigen Anlagen kommt es vor, dass der Anlagenstandort und der Standort für die Gär- und Gärrestbehälter nicht übereinstimmen. Für die Zwecke des Grundwasserschutzes ist die Lage des Gärrestbehälters jedoch ausschlaggebend, da von hier aus die Ausbringung der Gärreste erfolgt. Daher sollten in einer dritten Tabelle die Angaben zum Gärrestlager erfasst werden.

Es wurde daher eine **Modelldatenbank** entwickelt, die in die Bereiche

- Biogasanlagen (BHKW-Standort, Leistung, Substratarten- und mengen)
- Gärrestbehälter (Standort des Gärrestlagers, i. d. R. Fermenterstandort)
- Antragsteller/Betreiber
- Wasserwirtschaftliche Aspekte (Nähe zu WGG, Teileinzugsgebiet nach WRRL) aufgeteilt wurde.

Über Schlüsselfelder sind die Datensätze miteinander verknüpfbar, so dass jeder Anlage ein Betreiber und der Standort der Gärrestbehälter zuzuordnen ist.

Die Daten der Biogasanlagenerfassung wurden, soweit sie vorlagen, in diese Struktur eingepflegt. Die Tabelle „Antragsteller / Betreiber“ konnte wegen der fehlenden Datengrundlage nicht gefüllt werden.

Verknüpfungsoptionen zu weiteren Datenbanken und Informationen sind denkbar: z. B. Berater, WVU, Grundwasserqualitäten, geographische Informationssysteme.

Übersichtskarte Biogasanlagen in Niedersachsen: Den Stand der derzeitigen Erfassung (Anlagen bis 2008) zeigt Abb. 15. Die Qualität der Erfassung ist jedoch unterschiedlich. Bei ca. der Hälfte der Anlagen ist die genaue Lage bekannt. Bei den restlichen konnte der Standort bisher nur auf Gemeindeebene ermittelt werden (Erfassung durch 3N). Eine Weiterbearbeitung ist daher notwendig.

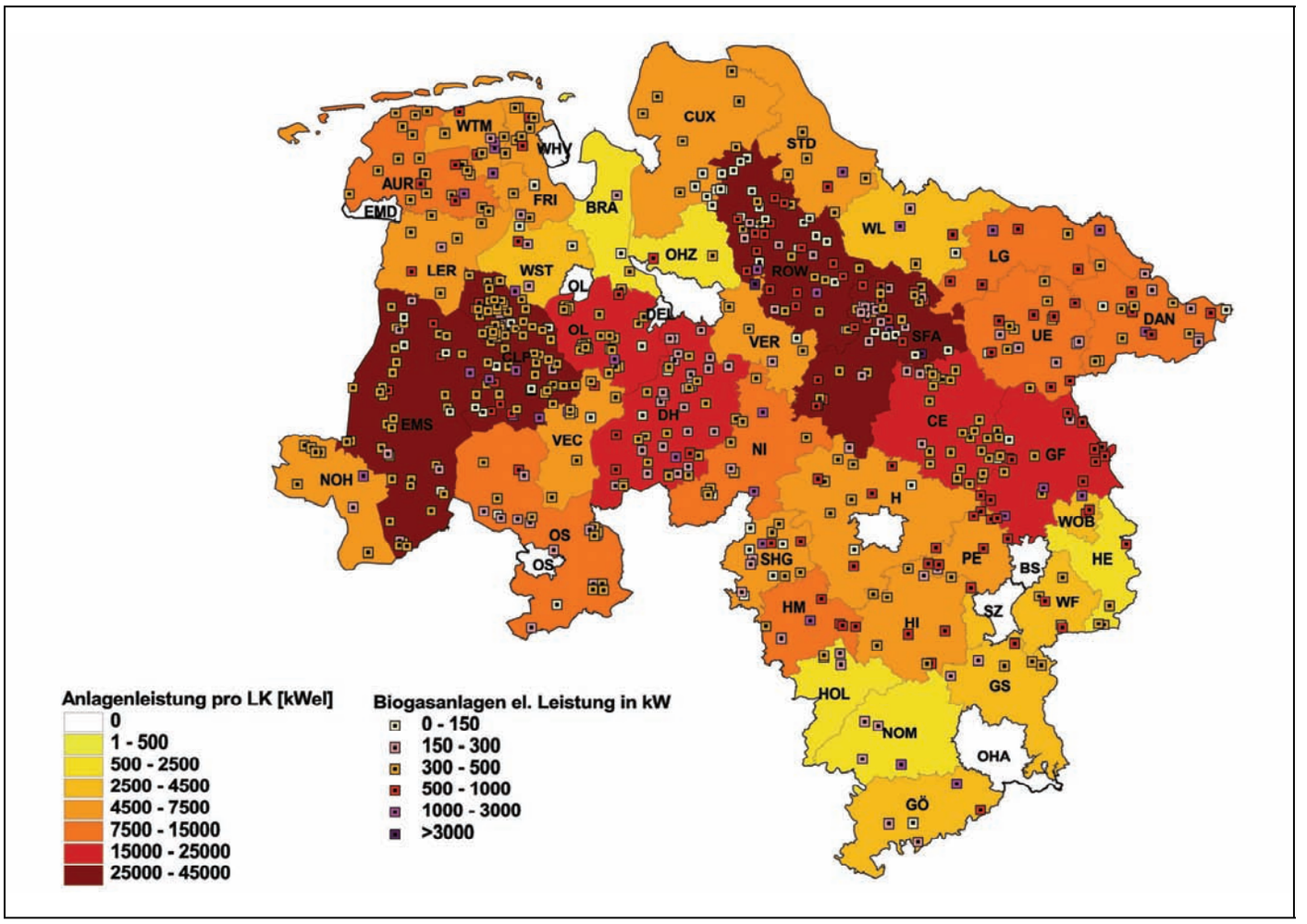


Abb. 15: Lage und el. Leistung der derzeit erfassten Biogasanlagen, sowie Summe der Anlagenleistung pro Landkreis (Quelle: 3N, eigene Erhebungen)

Fazit: Datenbank Biogasanlagen:

- Gegenwärtig gibt es keine einheitlichen, den seitens der Wasserwirtschaft gestellten Anforderungen genügenden Datenbestände über Biogasanlagen in Niedersachsen, wobei insbesondere die räumliche Zuordnung sowie die verwendeten Substrate Schwachstellen darstellen.
- Die geschaffene Datenbank mit den derzeit verfügbaren Daten kann als Grundlage einer einheitlichen Erfassung von Biogasanlagen auf Landesebene weiter genutzt werden.
- Sie ist gegenwärtig noch unvollständig und sollte sukzessive vervollständigt werden. Außerdem sollte einmal jährlich eine Aktualisierung erfolgen.
- Neben der Datenhaltung in der Datenbank ist die Verknüpfung mit einem geografischen Informationssystem zu empfehlen.

4 Nährstoffströme im Biogasprozess

Anders als beim Nahrungsmittelanbau oder beim Anbau von Energiepflanzen zur thermischen Verwertung (Verbrennung) bzw. zur Treibstofferzeugung, die einen weitgehenden Export der Erntemasse aus dem Anbausystem bedeuten, wird beim Vergärungsprozess in Biogasanlagen ein weitgehend geschlossener Nährstoffkreislauf der Biomasse unterstellt. Die Nährstoffe werden über den Gärrest als Dünger auf die Flächen zurückgeführt. Jedoch sind gegenwärtig die Kenntnisse über Verlustgrößen im Biogasprozess, über die rückführbaren Anteile der jeweiligen Nährstoffe sowie deren Pflanzenverfügbarkeit, Mineralisations- und Auswaschungsverhalten in der Praxis noch nicht hinreichend bekannt.

Im Folgenden werden Aussagen zu Abbau- bzw. Rückführungsraten getroffen. Ferner wird anhand der Angaben der Leitbetriebe und der untersuchten Biogasanlagen der Versuch unternommen, die Nährstoffströme vom Input über die Substrate bis zur Gärrest-Rückführung auf die Fläche exemplarisch nachzuzeichnen. Auf dieser Basis wird auch die Frage des tatsächlich benötigten Flächenbedarfs einer optimalen und an Wasserschutzgesichtspunkten ausgerichteten Gärrestrückfuhr thematisiert. Die Abb. 16 verdeutlicht die durch die Vergärung sowie deren vor- und nachgelagerten Prozesse resultierenden Abbaugrößen und Verluste von Kohlenstoff und Nährstoffen der zur Vergärung eingesetzten Biomassesubstrate.

4.1 Nährstoffabbau in der Biogasanlage

Input: Ausgangssubstrat	**Verluste** [%]					**Output:** mit Gärrest im Kreislauf
[jeweils 100%]	Substrat-lager	Vergärung*1	Gärrest-lager	Ausbringung (Mineraldüngeräquivalent)	Wirkverlust	[% von Input]
N davon Norg. ~60% + NH_4 ~40%	10-25%	0-12%	0-10%	10-20%	~20%	~50% (~ Norg. 40% + NH_4 60%)*2
P K Mg,Ca, S..	0% ?	0%	0%	0%	0%	100%
C (Gehalt 4%)		60-70% (Abbau zu CH_4 und CO_2)				20-30% (C Gehalt 2% i.d.FM)

*1 Vergärungsverluste nach Reinhard,TLL 2008

*2 NO_3 im Mittel 40% an Gesamt N) und NH_4 (20 - 90%, Mittel 60% an Gesamt N) nach DITTERT, 1999

*3 weitere Daten in Anlehnung an KTBL, 2006

Abb. 16: Rückfuhrquoten von Inhaltsstoffen der Ausgangssubstrate mit dem Gärrest

Bei der anaeroben Vergärung werden leicht abbaubare organische Substanzen durch Bakterien zu Methan umgesetzt. Durch diesen Vorgang verringert sich der TS-Gehalt der Ausgangsstoffe.

Vielfach werden im Biogasprozess geschlossene Nährstoffkreisläufe unterstellt. Das würde bedeuten, dass die mit dem Erntegut exportierten Nährstoffe über den Gärrest zu 100% wieder auf die Fläche zurückgelangen.

Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium: Literaturquellen (u. a. DITTERT, 1999) geben an, dass bei P, K, Ca und Mg theoretisch bis zu 100% der mit dem Erntegut entzogenen Mengen wieder auf die Flächen zurückgebracht werden, da diese Nährstoffe im Vergärungsprozess nicht abgebaut werden. Werden Bilanzrechnungen von Input- Outputströmen der Pilotanlagen vorgenommen, so zeigen diese i.d.R. dennoch rechnerische Verlustgrößen auf, da die erforderlichen Eingangsdaten meist nur unzureichend erfasst werden können (z. B. der Nährstoffgehalt im Erntegut nur als Tabellenwert vorliegend, Inhaltsstoffe im Gärrest nicht repräsentativ erfasst).

Stickstoff: Stickstoffverluste treten bei der Silagelagerung und -bergung, im Vergärungsprozess und vor allem bei der Gärrestlagerung und -ausbringung auf, so dass nur ca. 50% des Ausgangsstickstoffs wieder in den Kreislauf zurückgelangen. Durch den Gärprozess steigt der Ammoniumgehalt bezogen auf den Gesamtstickstoffgehalt im Gärrest auf 60 – 70% an (im Vergleich Rindergülle ca. 55%, Schweinegülle ca. 70 – 80%). Dieser Anteil ist sofort pflanzenverfügbar und kann in der Düngeplanung zu vollständig düngewirksam angerechnet werden.

pH-Wert: Der Abbau von organischen Säuren führt zu einem Anstieg des pH-Wertes im Vergleich zu unvergorener Gülle und steigert damit das Risiko von gasförmigen Ammoniakverlusten. Entsprechende Vermeidungsmaßnahmen (Lagerraumabdeckung, bodennahe Ausbringungstechnik, sofortige Einarbeitung) sollten daher genutzt werden (siehe 5.2).

Bei **Kohlenstoff** besteht durch den Abbau zu Biogas die geringste Rückfuhrquote. Sie liegt bei rund 20- 30% des eingebrachten Kohlenstoffs. Diesem Aspekt kommt insbesondere deshalb eine große Bedeutung zu, weil Mais eine stark negative Humusbilanz hat (- 560 kg C/ha). Auch wenn der mit dem Gärrest zurückgeführte Kohlenstoff nach ersten wissenschaftlichen Ergebnissen einen höheren Anteil an schwer abbaubaren C-Fraktionen mit hohem Humusreproduktionspotenzial aufweist (LEITHOLD, 2009), gehen dem C-Kreislauf durch den Vergärungsprozess große Mengen an Kohlenstoff verloren.

Auf **Flächen- bzw. Gebietsebene** kann es zu weiteren Verschiebungen im Nährstoffkreislauf kommen. Dies ist zum Beispiel der Fall, sobald die Gärreste auf andere als die Anbauflächen zurück gebracht werden, oder auch, wenn durch das Mitvergären von Kofermenten zusätzlich Nährstoffe in den Kreislauf gebracht werden. Ob diese Sachverhalte negativ oder positiv zu werten sind, ist im Einzelfall zu prüfen und hängt maßgeblich von der bestehenden Nährstoffversorgung der Standorte und der weiteren Fruchtfolgegestaltung ab. Die Aspekte der Humusbilanz sowie Nährstoffrückführung von Stickstoff, Phosphat und Kalium werden im Folgenden näher betrachtet.

4.2 Humuskreislauf im Energiepflanzenanbau

Problematik: Der Humusgehalt im Boden beeinflusst die Nährstoffspeicherung und –umsetzung im Boden, erhöht die Wasserhaltefähigkeit und biologische Aktivität und trägt zu einer günstigen Bodenstruktur mit bei. Eine ausgeglichene Humusbilanz leistet somit einen wichtigen Beitrag zur positiven Pflanzenentwicklung, zum Schutz des Bodens vor Schadverdichtungen und zur Erosionsvermeidung. Andererseits können Überschüsse bei der Humusbilanz und in der Folge hohe Humusgehalte zu einem höheren Mineralisierungspotenzial und zu Stickstoffausträgen führen.

Positive Auswirkungen haben steigende Humusgehalte auf das Wasserhaltevermögen von Böden. Der Aspekt der Wasserspeicherung erlangt im Zuge der Diskussion um die Folgen des Klimawandels (insbesondere trockenere Sommer, Temperaturanstieg) zunehmende Bedeutung. Nimmt der Bodenwasservorrat ab, so steigt der Beregungsbedarf, was wiederum die Grundwasserressourcen schmälern kann und im Gegensatz zu den Interessen der Wasserversorgungsunternehmen sowie den Zielen der Wasserrahmenrichtlinie steht.

Humus stellt zudem eine C-Senke dar. Wird Humus aufgebaut, können klimarelevante Gase gebunden werden während ein Humusabbau zur Freisetzung des klimarelevanten Kohlendioxids sowie von NOx-Verbindungen führen kann (Beispiel Grünlandumbruch).

Durch den Export der gesamten oberirdischen Pflanzenmasse können im Energiepflanzenanbau bei rein mineralischer Düngung keine ausgeglichenen Humusbilanzen erzielt werden. Durch die Rückführung der Gärreste auf die Anbaufläche wird dem Boden jedoch wieder organische Substanz zugeführt (DWA, 2010). Inwieweit dadurch ein Ausgleich der Humusbilanzen möglich ist, hängt von der nach dem Gärprozess noch verbleibenden organischen Substanz im Gärrest, der ausgebrachten Menge aber auch der Bodenart und Bodenfeuchte ab.

Der Mais als derzeit wichtigste Energiepflanze zur Biogaserzeugung zählt zu den humuszehrenden Früchten. Die gebildete Wurzelmasse und die Maisstoppeln allein können die Humusbilanz nicht ausgleichen, so dass dies über die Gärrestrückfuhr und Fruchtfolgegestaltung zu erfolgen hat. Wird im Rahmen der künftigen technologischen Entwicklungen die Umsetzung von Kohlenstoff in Methan noch weiter gesteigert, wird der C-Gehalt der Gärreste und somit die mögliche C-Rückfuhr auf die Äcker weiter abnehmen.

Nach WILLMS et al. (2010) können jedoch in Energiepflanzenfruchtfolgen (z.B. Sudangras/ Grünroggen/ Mais/ Triticale/ Weidelgras/ Winterweizenkorn) auf Standorten ab 30 bis 50 Bodenpunkten bei einer vollständigen Rückfuhr der Gärreste auf die Anbaufläche annähernd ausgeglichene Humusbilanzen erzielt werden. Dies entspräche einer ca. 75 % N- Versorgung aus Gärresten. Hier sind allerdings bei einer Unterfussdüngung von Mais längerfristig Probleme durch erhöhte P-Bilanzen zu erwarten. Bei Anpassung der Gärrestemengen an den P–Bedarf ist jedoch keine vollständige Gärrestrückfuhr auf die Anbaufläche mehr möglich. In der Folge ist insbesondere auf leichten Standorten mit einem Humusabbau zu rechnen.

Unter bestimmten Bedingungen wie z. B. bei grundwasserschonenden Wirtschaftsweisen kann auch der Stickstoff zum begrenzenden Faktor für die Gärrestrückfuhr werden. Eine ausgeglichene Humusbilanz bei gleich-

zeitig niedriger N-Bilanz lässt sich nur schwer realisieren. Aus Wasserschutzsicht ist jedoch der niedrigen N- Bilanz der Vorrang zu geben (DWA, 2010).

Unsicherheiten bestehen zudem hinsichtlich der Beurteilung der Humuswirkung (DOMINIK et al. 2009; LEITHOLD, 2009). Die Einschätzungen der Düngewirkung reichen von „ wie unvergorene Gülle tierischer Herkunft“ bis zu „besser als Stallmist“ (GUTSER U. EBERTSEDER, 2006). Für die neuen Kulturarten oder auch Anbausysteme wie die Zweikulturnutzung liegen ebenfalls noch keine ausreichenden Erfahrungen vor.

4.2.1 Humusbilanz als Steuerungsinstrument für eine ausgeglichene Fruchtfolge?

Durch den steigenden Silomaisanbau zu energetischen Zwecken steigt insbesondere in viehhaltenden Regionen derzeit mancherorts der Maisanteil in der Fruchtfolge deutlich an und betrug z. B. im niedersächsischen Landkreis Rothenburg im Jahr 2008 über 75% an der Ackerfläche (ML, 2008). Die Cross Compliance-Vorhaben (CC) zur Humusbilanzierung lassen hier weitgehende Spielräume der Fruchtfolgegestaltung zu und eignen sich nur bedingt zur Erhaltung vielseitiger Fruchtfolgen.

Cross Compliance Vorgaben: Der Bezieher von Direktzahlungen hat den Erhalt der organischen Substanz und der Bodenstruktur jährlich optional durch Einhaltung einer der folgenden Anforderungen nachzuweisen:

- Auf betrieblicher Ebene ist jährlich eine Humusbilanz für die Ackerflächen zu erstellen. Der Grenzwert von –75 kg/ha*a^{-1} Humus-Kohlenstoff darf nicht unterschritten werden. Wenn dies der Fall ist, kann der dreijährige Mittelwert herangezogen werden, um den Grenzwert einzuhalten.
- Alternativ sind die Anforderungen an die Fruchtfolge zu erfüllen, was bedeutet, dass auf betrieblicher Ebene der Anbau von mindestens 3 Kulturen erfolgen muss, von denen jede mindestens einen Anteil von 15% der Ackerfläche einnehmen muss. Nur, wenn mehr als drei Kulturen angebaut werden, kann der Anteil geringer sein.
- Alternativ kann der Humusgehalt der Ackerflächen untersucht werden, wobei mindestens eine Untersuchung je Feldblock erforderlich ist, das Ergebnis nicht älter als 6 Jahre sein darf und standortbezogen bestimmte Grenzwerte einzuhalten sind.
- Nur, wer ausschließlich Kulturen mit neutraler oder positiver Veränderung des Humusvorrates anbaut, muss keine Humusbilanz erstellen.

Bewertung der Fruchtfolgevorgabe: Die Anforderungen an die Erhaltung der organischen Substanz gelten bereits als erfüllt, wenn auf betrieblicher Ebene das Anbauverhältnis auf den Ackerflächen aus drei Kulturen mit einem Anteil von jeweils mindestens 15% der Ackerfläche besteht. Danach würde ein Betrieb mit 100 ha Ackerfläche diese Anforderungen mit 70 ha Mais, 15 ha Weizen und 15 ha Winterroggen erfüllen. Dieses Beispiel macht deutlich, das nach CC-Anforderungen ein Maisanteil von 70% möglich ist. Dieser Anteil an der Fruchtfolge liegt jedoch weit über den Empfehlungen zu den maximalen Anbaukonzentrationen nach den Zielen der integrierten Pflanzenproduktion, die max. 40% auf günstigen Standorten bzw. max. 25% auf ungünstigen Standorten empfehlen (BAEUMER,1992).

Bewertung der Humusbilanzvorgabe: Weiter kann der Erhalt der organischen Substanz im Boden durch die Humusbilanz nachgewiesen werden. Die Humusbilanz berücksichtigt den Humusbedarf der angebauten Früchte und die Humuswirkung der Koppelprodukte und der zugeführten organischen Dünger. Nach CC-Vorgaben soll:

- der Humusbilanzsaldo im Bereich zwischen –75 und +125 kg Humus-C/ha*a^{-1} liegen und
- darf im Durchschnitt von drei Jahren den Wert von –75 kg Humus-C/ha*a^{-1} nicht unterschreiten.

Die in Deutschland angewandte Methode zur Humusbilanzierung nach den CC-Anforderungen beruht auf der vom VDLUFA entwickelten Methode (April 2004).

Im Folgenden wird nach dieser Methode die Humusbilanz für Fruchtfolgebeispiele mit unterschiedlichen Anteilen von Silomais, Getreide und Rückfuhr an organischer Substanz dargestellt.

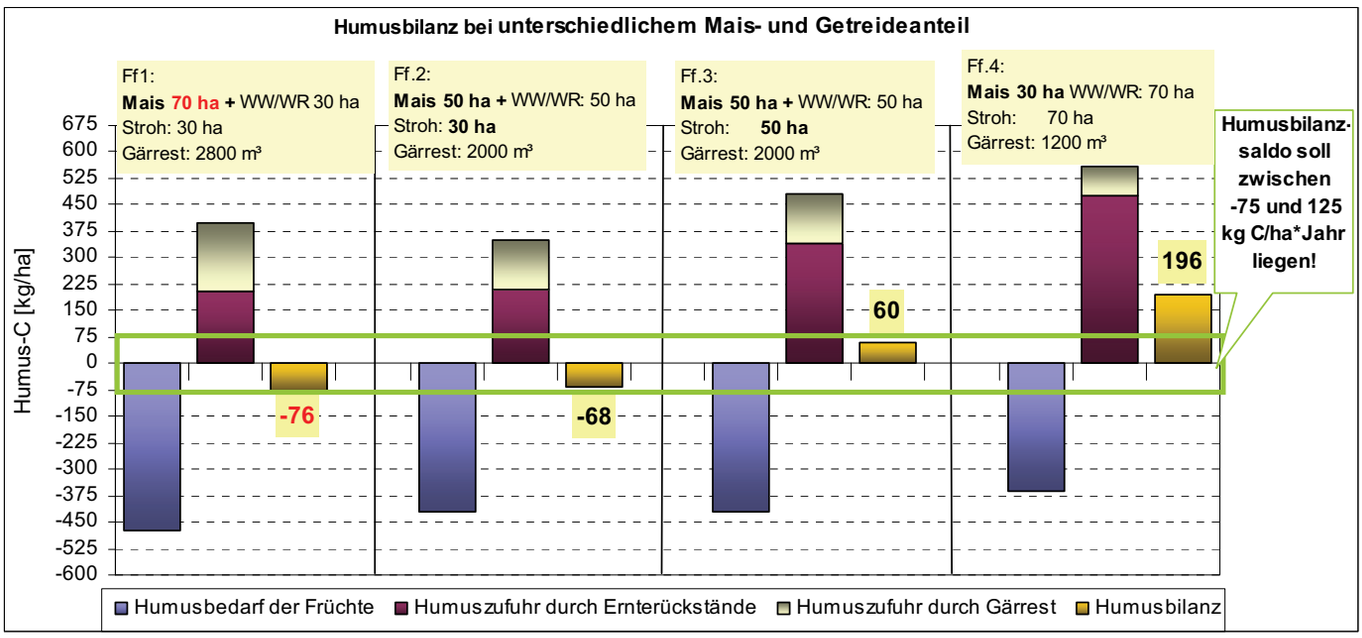


Abb. 17: Humusbilanzierung für Fruchtfolgebeispiele mit unterschiedlichem Maisanteil und Gärrestrückfuhr

Die Ergebnisse der Humusbilanzierung zeigen, dass bis zu pflanzenbaulich hohen Silomaisanteilen von 70% in der Fruchtfolge die aktuellen CC-Anforderungen an die Humusbilanz erfüllt werden können. Erst, wenn der Maisanteil über 70% steigt unterschreitet der C-Saldo den Grenzwert.

Dies wirft also die Frage auf, inwieweit das derzeit angewendete Verfahren der Humusbilanzierung die reale Humusentwicklung im Oberboden richtig widerspiegelt. Daher empfiehlt die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, die Humusbilanz mit einer im sechsjährigen Turnus zu wiederholenden Humusuntersuchung zu kombinieren (P. CAPRIEL U. R. RIPPEL, 2006) stellten zudem fest, das die Humusbilanz nach CC-Anforderungen auf den „unteren Werten“ für die anbauspezifischen Veränderungen nach VDLUFA basiert, die aus einigen Dauerfeldversuchen im ostdeutschen Trockengebiet abgeleitet wurden. Sie sei daher unter bayerischen Klima- und Bodenverhältnissen für Beratungszwecke wenig geeignet. Dies lässt sich auch für Niedersachsen vermuten. Führt man die Berechnung der Humusbilanz für obige Fruchtfolgebeispiele nach einer von P. CAPRIEL und R. RIPPEL modifizierten Humusbilanz-Methode durch, so zeigt sich, dass Fruchtfolgen bis max. 40% Mais bei gleichzeitig hohem Getreideanteil und Strohdüngung möglich sind. Wenn der Anteil stark humuszehrender Früchte steigt, ist unter humiden Bedingungen wie im Westen und Süden Niedersachsens mit einer Humusverarmung zu rechnen.

4.2.2 Änderung der betrieblichen Humusbilanz durch Biogaserzeugung

Die folgenden Beispiele (Tab. 11 und Tab. 12) zeigen für einen Leitbetrieb im LK Hildesheim die Humusbilanzen vor (2001) und nach (2006) Beginn der Biogasnutzung, wobei der Bereich der Viehhaltung ausgeklammert wurde, um den Effekt der geänderten Bodennutzung durch den Energiepflanzenanbau herauszuarbeiten. Die Basisfruchtfolge Zuckerrüben- Winterweizen-Wintergerste wurde durch den Energiepflanzenanbau um Silomais und Roggen erweitert. Der Gerstenanbau wurde dafür eingestellt und der Weizen- sowie der Zuckerrübenanbau reduziert.

Ergebnis des Betriebsbeispiels: Für den Leitbetrieb zeigt der Vergleich der Humusbilanz vor und nach Inbetriebnahme der Biogasanlage, dass es durch den steigenden Maisanteil zu einer Verschiebung in der Humusbilanz von +128 kg C/ha Überschuss im Jahr 2001 zu einer Unterdeckung von -39 kg C/ha im Jahr 2006 gekommen ist. Damit werden zwar die CC-Vorgaben immer noch eingehalten, in der Summe werden aber gegenüber dem Stand von 2001 -167 kg C/ha/Jahr weniger an Humus gebildet und langfristig der Bodenhumusvorrat abgebaut.

Tab. 11: Humusbilanz eines Leitbetriebes 2001 vor Inbetriebnahme der Biogasanlage (nur der Marktfruchtbereich)

Frucht	ha	Ertrag dt/ha	C-Zu/Abfuhr (kg) gesamt
Humuszehrung:			
Winterweizen	20	90	-5.600
Wintergerste	6	90	-1.680
Zuckerrüben	14	550	-10.640
Summe C Abfuhr			-17.920
Humuszufuhr:			
Weizenstroh	20		14.400
Gerstenstroh	6		4.320
Rübenblatt	14		4.312
Summe C- Zufuhr			23.032
Humusbilanzsaldo:			
C- Bilanz Betrieb			5.112
C Bilanz je ha Ackerfläche			128

Tab. 12: Humusbilanz eines Leitbetriebes 2006, nach Inbetriebnahme der Biogasanlage (Marktfrucht + Biogasbereich)

Frucht	ha	Ertrag dt/ha	C-Zu/Abfuhr (kg) gesamt
Humusabfuhr:			
Roggen-GPS	4	90	-1.120
Winterweizen	15	90	-4.200
Silomais-Energie	19	500	-10.640
Zuckerrüben	8	550	-6.080
Summe C Abfuhr			-22.040
Humuszufuhr:			
Weizenstroh	15		10.800
Rübenblatt	8		2.464
Gärrest	5%TM	1000 t	7.000
Summe C- Zufuhr			20.264
Humusbilanzsaldo:			
C- Bilanz Betrieb			-1.776
C Bilanz je ha Ackerfläche			-39

*) Flächenzupacht von 6 ha seit 2001

Das Beispiel zeigt einen deutlichen Handlungsbedarf auf, der durch die CC-Vorgaben so nicht offensichtlich wird. Ein Anteil von 46% Silomais und 16% Zuckerrüben in der Fruchtfolge sind zuviel, da über das Rübenblatt kaum Humus-C aufgebaut wird und dem Zuckerrübenanbau keine C-Zufuhr über Gärreste gegenübersteht. Der Betrieb muss bei einem mittlerem Humusbilanz-Saldo von -39 kg C/ha davon ausgehen, dass die betroffenen Flächen in den Klassen A und B liegen und für einzelne Flächen keine Nachhaltigkeit mehr vorliegt.

Der Projektbetrieb hätte verschiedene **Möglichkeiten, seine Humusbilanz zu verbessern:**

- Der Silomaisanbau wird teilweise durch Getreide-GPS oder weniger humuszehrende Sommerungen wie Sonnenblumen oder Feldgras ersetzt.
- Der Zwischenfruchtanbau wird erhöht.
- Weitere Wirtschaftsdüngerquellen können berücksichtigt werden (hier wären die aus dem weiteren N- und P- Import resultierenden Konsequenzen zu prüfen).
- Die Zuckerrüben werden durch Wintergetreideanbau mit Strohdüngung ersetzt.

Fazit Humuskreislauf:

- Der Erhalt des Humusgleichgewichtes ist entscheidend für die Bodenfruchtbarkeit, die Wasserspeicherfähigkeit von Böden, den Erhalt des Kohlenstoff- Stickstoff-Gleichgewichtes sowie zum Erhalt von C-Senken im Hinblick auf die Vermeidung von Treibhausgasen.
- Aus Grundwasserschutzsicht ist die mit einem Humusabbau steigende N-Auswaschungsgefahr sowie der in Folge geringerer Wasserhaltefähigkeit steigende Beregungswasserbedarf kritisch zu sehen.
- Im Biogasprozess gelangen ca. 20 – 30% des Humus-C über den Gärrest wieder in den Kreislauf zurück, 70 bis 80% werden zu Biogas umgebaut.
- Auch im Energiepflanzenanbau sollten optimale Humusgehaltsklassen angestrebt werden (optimal = Klasse C). Sehr niedrige C-Salden (Klasse A) mindern die Bodenfruchtbarkeit und sollten vermieden werden. Sehr hohe C-Salden (Klasse E) bergen das Risiko erhöhter N-Austräge und sollten daher ebenfalls vermieden werden.
- Problematisch stellt sich der Erhalt einer ausgeglichen Humusbilanz für leichte und für niederschlagsreiche Standorte dar.
- CC eignet sich nicht, den pflanzenbaulich sinnvollen Fruchtartenanteil von max. 40% auf guten bzw. 25% auf leichten Standorten zu gewährleisten. Die Humusbilanzvorgaben nach CC werden auch bei hohen Maisanteilen von 70% in der Fruchtfolge noch eingehalten.
- Eine ausgeglichene N-Bilanz geht nicht unbedingt mit einer ausgeglichen C-Bilanz einher. Die N- und P-Gehalte begrenzen die Gärrestrückfuhr, so dass zum Erhalt der C-Bilanz dann weitere Maßnahmen herangezogen werden müssen.

- Wird die betriebliche Humusbilanz durch den Energiemaisanbau soweit verschlechtert, dass Handlungsbedarf gegeben ist, kommen mehrere **Maßnahmen** in Betracht: Steigerung des Anteils an Winterungen, Zwischenfruchtanbau, Reduktion des Strohexportes, Aufweitung der Fruchtfolge durch weniger humuszehrende Kulturen wie Sonnenblumen oder Feldgras.

4.2.3 N-Kreislauf bei der Nutzung von Energiemais

Während bei Phosphor und Kalium zumindest mit einer annähernd 100%igen Rückführung gerechnet wird, sind insbesondere beim Stickstoff deutliche Nährstoffverluste bei der Silagelagerung und der Gärrestausbringung zu berücksichtigen. Das Beispiel in Abb. 18 verdeutlicht mögliche Verlustgrößen bezogen auf den Maisertrag von einem Hektar Anbaufläche. Zugrunde gelegt wurden u. a. Angaben von WILLMS (2008).

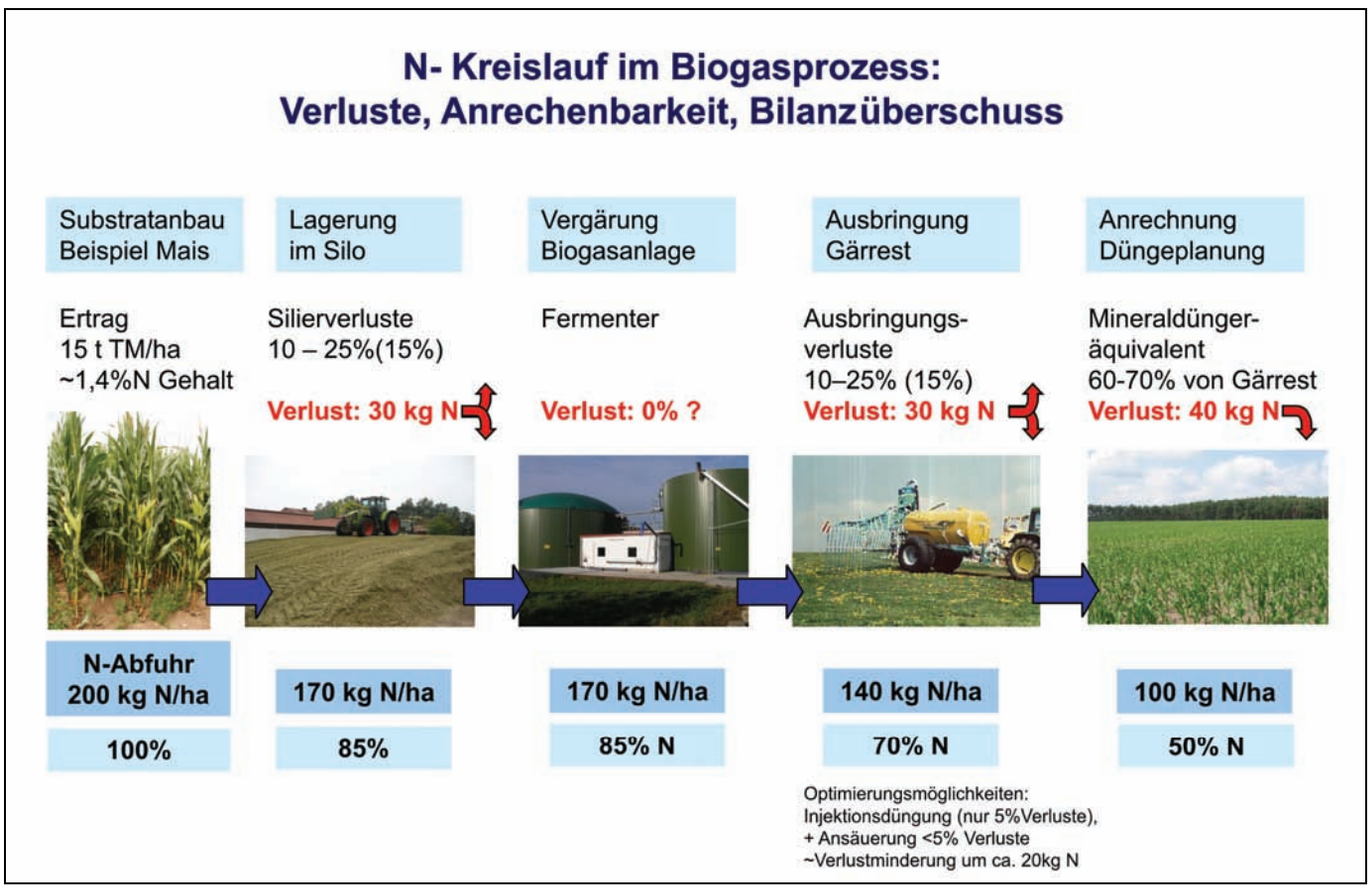


Abb. 18: Stickstoff-Kreislauf im Biogasprozess: Verluste, Anrechenbarkeit, Bilanzüberschuss (vereinfacht)

Mit dem Gärrest verlassen demnach nur etwa 70% des eingebrachten Stickstoffs den Biogasprozess. Bei ca. 200 kg N/ha an N-Abfuhr mit dem Erntegut ist das ein Verlust von 60 kg N/ha. Weiter wird gegenwärtig in der Düngeplanung wie auch beim Wirtschaftsdünger üblich, nicht der gesamte Stickstoff sondern nur das Mineraldüngeräquivalent bei der Düngeplanung angerechnet. Dieses wird gegenwärtig durch die Offizialberatung mit 60 – 70% angegeben, so dass weitere 40 kg N aus dem Gärrest von 1 ha Biomasse nicht mehr in der Düngeplanung berücksichtigt werden.

Im Ergebnis werden somit von 200 kg entzogenem Stickstoff nur 50% als anrechenbarer Stickstoff zurück in den Kreislauf gebracht. Das bedeutet einen Verlust von 100 kg N /ha!

Das Beispiel zeigt, dass zur Vermeidung von Nährstoffverlusten eine

- Verlustminimierung bei der Silagierung und Lagerung,
- überdeckte Gärrestlager, sowie
- eine fachgerechte Schleppschlauchausbringung

unerlässlich sind.

Als weitere Optimierungsmaßnahmen kommen

- der Einsatz von Injektionsdüngeverfahren sowie
- der Einsatz von Stickstoff stabilisierenden Zusätzen zum Gärrest in Frage.
- Auch die gegenwärtig angesetzten Mineraldünger-äquivalente sind zu prüfen.

Es ist gegenwärtig anzunehmen, dass sich mittelfristig ein N-Überhang an bodenbürtigem Stickstoff auf regelmäßig mit Gärresten gedüngten Flächen aufbaut, wie dies auch von Güllestandorten bekannt ist. Auf langjährig organisch gedüngten Flächen sollte daher auf jeden Fall die N-Nachlieferung bei der Düngeplanung berücksichtigt werden.

Zusammenfassend erfordert eine grundwasserschonende Düngung die möglichst vollständige Anrechnung der Nährstoffe aus den Gärresten. Von einem geschlossenen Nährstoffkreislauf kann bei der Energiepflanzenproduktion nicht gesprochen werden, da es einerseits, wie in anderen Produktionszweigen auch, nicht vermeidbare Verlustgrößen gibt. Andererseits müssen Nährstoffüberhänge auf der Fläche vermieden werden, so dass eine Gärrestrückfuhr vielfach sinnvoller erfolgen kann, wenn zusätzlich zu den NawaRo- auch weitere Marktfruchtflächen hinzugenommen werden und die Gesamtfruchtfolge berücksichtigt wird.

Weitere Umweltwirkungen: Im Interesse eines effizienten und sparsamen Ressourcenverbrauchs sind weitgehend geschlossene Nährstoffkreisläufe anzustreben. Während die Vergärung von tierischen Exkrementen wie Gülle hinsichtlich des Beitrags zum Klimaschutz sowie der Umweltwirkungen in Ökobilanzen positiv abschneidet ist die Vergärung von Energiepflanzen wie Silomais kritischer zu sehen. Mais als Biogassubstrat spart zwar ebenfalls fossile Energien und Treibhausgase ein, führt aber aufgrund der Emissionen beim Anbau und bei der Gärrestausbringung zu einer Erhöhung von Versauerung, Nährstoffeintrag und Ammoniakfreisetzung. Emissionsarmen und Ressourcensparenden Anbaukonzepten kommt hier neben einer verlustarmen Anlagenausgestaltung eine große Bedeutung zu (GÄRTNER, 2009).
Wird durch die optimale Nutzbarmachung von Gärresten der Mineraldüngerzukauf reduziert, so ist dies nicht nur den Zielen des Wasserschutzes förderlich und spart Kosten, sondern trägt zur Einsparung fossiler Ressourcen, zum Klimaschutz und zur Verbesserung der Ökobilanz bei. Auf wesentliche Aspekte einer am Grundwasserschutz ausgerichteten Düngung mit Gärresten wird im folgenden eingegangen.

Fazit N-Kreislauf:

- Der Stickstoffkreislauf ist im Energiepflanzenanbau für die Vergärung nur teilweise geschlossen, denn nur ca. 50% gelangen als anrechenbarer N zurück auf die Fläche.
- Die weiteren 50% stellen eine potenzielle Verlustgröße ins Grundwasser (Nitrataustrag) oder die Atmosphäre (Klimagas) dar.
- Zur Reduzierung dieser N- Verlustgrößen ist der Einsatz verlustarmer Ausbringungstechnik wie Schleppschlauchtechnik Voraussetzung.
- Eine weitere Optimierung kann z.B. durch Injektionsdüngung und Stickstoff stabilisierende Zusätze zu Gärresten erzielt werden.
- Zur Vermeidung gasförmiger Verluste wird die Abdeckung von Gärrestlagern empfohlen.
- Eine möglichst weitgehende düngewirksame Anrechnung der organischen Nährstoffe spart fossile Ressourcen und trägt zum Klimaschutz bei. Sie ist daher im Energiepflanzenanbau unerlässlich.
- Bei der N- und P-Düngung mit Gärresten zu berücksichtigende Aspekte werden im Folgenden vertieft.

5 Düngung mit Gärresten

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf Gärreste aus Biogasanlagen, die aus der Vergärung von landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben, auch gemischt mit tierischen Ausscheidungen anfallen. Sie zählen laut Düngemittelverordnung (DüMV) zu den organischen Düngemitteln und sind somit wie Wirtschaftsdünger zu behandeln. Grundsätzlich sollten Gärreste aufgrund ihrer Inhaltsstoffe als wertvolle Dünger angesehen und verwendet werden.

Für Gärreste aus Substraten der weiterverarbeiteten Industrie sowie organische Reststoffe aus Kommunen und Haushalten gelten weitere Verwertungsbestimmungen (BioAbfV, TierNebG), auf die an dieser Stelle nicht gesondert eingegangen wird.

Dünge- und Bilanzgrenzen der Düngeverordnung: Laut Düngeverordnung (DüVO) dürfen auf Betriebsebene 170 kg N/ha aus der Tierhaltung nicht überschritten werden. Allerdings ist derzeit N aus der pflanzlichen Substanz nicht inbegriffen. Dieser Sachverhalt stellt aus Wasserschutzsicht ein deutliches Defizit dar.

Weiter muss die zulässige P-Bilanz von 20 kg P_2O_5/ha im Mittel von sechs Jahren eingehalten werden.

Bei hohen Gärrestapplikationen je Hektar können die Vorgaben der Düngeverordnung limitierend wirken. Bezüglich Stickstoff trifft die 170 kg Grenze jedoch nur für N aus dem tierischen Anteil des Gärrestes zu. Der N aus dem NawaRo- Anteil unterliegt wie auch mineralischer N derzeit nur den Regeln der guten fachlichen Praxis (Düngung am Bedarf orientiert). Für den Maisanbau kann die Vorgabe zur P- Bilanz ein begrenzendes Kriterium werden. Allerdings ist auch hier durch den 6–Jahreszeitraum ein weiter Korridor gegeben.

Ergänzend gilt in Niedersachsen für Wasserschutzgebiete seit 2009 die novellierte SchuVo, nach der neben dem tierischen auch der pflanzliche organische Anteil am Wirtschaftsdünger bei der 170 kg Grenze auf der Einzelschlagebene berücksichtigt werden muss (siehe auch Kap. 2).

5.1 Düngeplanung zur bedarfsgerechten Ausbringung von Gärresten

Durch die Düngeplanung erfolgt für ein Anbaujahr die bedarfsgerechte Verteilung der im Betrieb über Wirtschaftsdünger anfallenden Nährstoffe auf die einzelnen Schläge und Kulturen. Da im Gärrest der Stickstoff in Form von Ammonium und in organisch gebundener Form vorliegt, muss der organische N zunächst mineralisiert werden. Da bei Mais zur Förderung der Jugendentwicklung und bei ungünstigen Witterungsverhältnissen neben einer guten Phosphatversorgung auch eine schnelle N- Wirkung erforderlich ist, wird i. d. R. zusätzlich zur organischen Düngung eine mineralische Ergänzung von phosphat- und nitrathaltigen N-Düngern zur gezielten Steuerung des Bestandes eingesetzt (Unterfußdüngung).

Eine optimale Düngeplanung über die Fruchtfolge hinweg ist somit ein zentrales Instrument zur Verwertung der Gärreste auch unter den Aspekten des Gewässerschutzes (siehe auch NITSCH et. al. 2008). Sie sollte alle benötigten Nährstoffe einbeziehen, wobei nachfolgend der Focus auf die Hauptnährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium gelegt wird.

Bei der Düngeplanung mit Gärresten zu berücksichtigen sind:

- Ausbringungsvorgaben
- Pflanzenbedarf
- Nährstoffgehalte in den Düngesubstraten
- Wechselspiel von N-P-K und Humus-C
- Ausbringungszeitpunkte
- Ausbringungstechnik
- Richtiges Verhältnis von Gärrestmenge und Ausbringungsfläche

5.1.1 Nährstoffgehalte in Gärresten

Aus Tab. 13 wird deutlich, dass sich große Schwankungsbereiche zwischen Gärresten unterschiedlicher Ausgangssubstrate ergeben und zwar nicht nur zwischen verschiedenen Biogasanlagen, sondern auch in jeder einzelnen Anlage im Jahresverlauf, z. B. durch unterschiedliche Zufuhr an Niederschlags- und Sickerwasser, Schwankungen im Gärprozess und durch die Änderung der Substratzusammensetzung.

Gesamtstickstoff: Die Gesamtstickstoffgehalte schwanken mit Werten zwischen 2,4 und 6,8 kg N/m³ deutlich, wobei bei reiner Biomassevergärung niedrigere Werte auftreten. Beispielsweise steigen durch die Vergärung von Hühnertrockenkot die N-Gehalte im Gärrest deutlich an.

Ammonium: Typisch für Gärreste ist der hohe Anteil an Ammonium-N, der rund 60% des Gesamtstickstoffs ausmacht. Dieser Anteil ist sofort pflanzenverfügbar und kann in seiner Wirkung mit Mineraldüngern verglichen werden. Gärreste eignen sich daher gut zur Bestandesführung, erfordern jedoch einen gezielten Einsatz zeitnah zum Bedarf der Pflanzen. Zu berücksichtigen ist jedoch der frühe Applikationszeitraum zum Mais bei gleichzeitig spätem N-Bedarf. Der restliche Stickstoff ist stabil in der organischen Substanz gebunden, reichert sich bei langjähriger Ausbringung im Boden an und wirkt erst langfristig.

pH-Wert: In Folge des Gärprozesses kommt es zu einem Anstieg des pH-Wertes, wodurch die Gefahr der Ammoniakausgasung im Vergleich zur Rohgülle steigt.

Tab. 13: Trockenmasse- und Nährstoffgehalte von Gärresten aus niedersächsischen Modellbetrieben

Anz.	Anlage/ Substrate	TS [%]	Gesamt-N [kg/m³]	NH_4-N [kg/m³]	NH_4-N [%]	P_2O_5 [kg/m³]	K_2O [kg/m³]
n=4	1 Nawaro	5,2	3,0	2,1	68%	1,2	4,6
	min-max	4,2-6,0	2,4-3,8	1,7-2,7	58-75%	0,9-1,9	3,8-5,2
n=6	2 Nawaro	5,4	3,4	1,4	41%	1,3	3,4
	min-max	4,2-6,9	2,7-5,4	0,9-2,2	30-56%	0,7-1,9	2,4-4,4
n=4	3 Nawaro +Rindergülle	7,1	4,8	2,4	51%	1,9	5,0
	min-max	4,9-8,8	4,2-5,6	2,3-2,6	46-57%	1,4-2,4	4,4-5,7
n=4	4 Nawaro+ Schweinegülle+HTK*[1]	6,2	5,3	3,1	59%	1,8	4,3
	min-max	4,2-9,1	4,6-6,8	3,0-4,0	53-72%	1,3-2,9	3,4-5,4
n=3	5 Kofermentation +Mischgülle +HTK+Mais	4,7	4,6	2,6	56%	1,9	2,6
	min-max	3,6-5,6	3,6-5,6	1,9-3,3	53-59	1,6-2,1	1,8-3,3

*[1] HTK: Hühnertrockenkot

P, K, Mg und Ca: Die Makronährstoffe P, K, Mg und Ca sind in ihrer Wirkung der von Mineraldüngern gleichzusetzen. In reinen NawaRo-Anlagen liegen die P-Gehalte eher niedriger als wenn Gülle mitvergoren wird. Insbesondere Schweinegülle erhöht die P-Gehalte. Bei den stark schwankenden Kaliumgehalten waren keine klaren Beziehungen zum Ausgangssubstrat erkennbar.

Fazit DüV und Nährstoffanalyse:

- Die 170 kg Grenze der DüV für organische Dünger bezieht sich derzeit nur auf tierische Herkünfte. Eine Ausdehnung auf organischen Dünger pflanzlicher Herkunft wie z. B. NawaRo-Gäreste wird empfohlen.
- Vor der Frühjahrs- und der Herbst- Düngegabe ist eine Analyse des Gärrestes durchzuführen, damit die Inhaltsstoffe richtig in der Düngeplanung angerechnet werden können.
- Damit werden N-Austräge vermieden und durch die Einsparung von Mineraldüngern auch Kosten reduziert.

Exkurs: Beim Einsatz von Gärresten sind weiterhin die Gehalte an Schadstoffen zu beachten. So können beim Einsatz von Schweinegüllen erhöhte Schwermetalle (z. B. Kupfer- und Zink) auftreten. Weiter werden beim Einsatz von Kofermenten mit Abfällen Risiken durch pathogene Keime (Clostridien) oder auch organische Schadstoffe genannt (DVGW, 2008 ; Landw. Technologiezentrum Augustenberg 2007).

5.1.2 Ermittlung des Düngewertes der Gärreste (Mineraldüngeräquivalent)

Vom Gesamtstickstoffgehalt der Gärreste ist der mineralisch vorliegende Ammonium-N-Anteil in den Gärresten als kurzfristig wirksam anzurechnen. Im Fall der Beispielbetriebe liegt dieser zwischen 41 und 68% am Gesamt-N, was sich mit den Empfehlungen der LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT BAYERN (2007) deckt, wonach mindestens 60 % des Gesamt-N als anrechenbarer Stickstoff zu berücksichtigen sind und der verbleibende organische Stickstoff-Anteil im Rahmen der Düngeplanung in den Folgejahren als Nachlieferung angemessen zu berücksichtigen ist.

In der Praxis wird derzeit die Stickstoffwirkung der organischen Dünger mit sehr unterschiedlichen Mineraldüngeäquivalenten, die zwischen 50 und 80 % (incl. Ausbringungsverlusten) betragen, in der Düngeplanung angerechnet. Eine N-Anrechnung im Folgejahr erfolgt i. d. R. nicht. Lediglich über Korrekturfaktoren der Sollwertmethode werden N-Nachlieferungen berücksichtigt.

Für den Bilanznachweis nach Cross Compliance hingegen ist genau festgelegt, dass 85 % des Stickstoffes der vor der Ausbringung ermittelten Gesamt–N–Menge, berücksichtigt werden muss.

Die Projektergebnisse zeigen, dass besonders auf Flächen mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr höhere Herbst-N_{min}-Werte nachgewiesen werden bzw. das Mineralisationspotential der Flächen viel stärker angehoben wird als auf mineralisch gedüngten Flächen. Es ist daher davon auszugehen, dass auch bei langjähriger Gärrestausbringung hohe N-Mengen freigesetzt werden.

Im Rahmen eines M&P–Workshops im Juni 2009 wurden die Mineraldüngeräquivalente mit Experten der Wasserschutzberatung und des NLWKN diskutiert und folgende Empfehlungen unterstützt:

Fazit Düngerwert von Gärresten (MDÄ):

- Für Sommerungen sollte auf Standorten mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr der Gesamt-N des Gärrestes mit einem Mineraldüngeräquivalent von 80% angerechnet werden, damit die N-Nachlieferung vollständiger berücksichtigt wird.
- Für Winterungen wird gegenwärtig weiter die 70%ige Anrechnung bei der Frühjahrsdüngung empfohlen. Da dies bei der Herbstgabe schwierig ist, sollte diese vermieden werden.
- Anmoorige Standorte mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr zeigen deutlich höhere und längere N-Freisetzungen, hier sollten Gärreste mit 100 % MDÄ berücksichtigt werden.
- Im MDÄ sind neben der Ammoniumverfügbarkeit auch die Ausbringungsverluste berücksichtigt.
- Um die Gärrestwirkung unter Praxisbedingungen langfristig abschätzen zu können, sollten vorrangig auf Flächen von Marktfruchtbetrieben, die in der Regel ein niedriges N-Mineralisationspotential besitzen, sogenannte 0-Düngefenster standardmäßig eingerichtet werden.
- Phosphat, Kalium, Magnesium und Calcium sind immer mit 100% ihres Nährstoffgehaltes anzurechnen

5.1.3 Düngeplanung mit Gärresten nach Sollwert- und Wasserschutzvorgaben

Grundvoraussetzung für einen optimierten grundwasserschonenden Kulturanbau ist die Erstellung einer schlagbezogenen Düngeplanung über die Fruchtfolge hinweg. Folgende **Kenndaten sind bei der Düngeplanung mit Gärresten** zu berücksichtigen:

- Frühjahrs-N_{min}–Wert,
- bei Bedarf spätes $N_{min,}$
- bei Gärrestdüngung die Kenntnis der Nährstoffgehalte
- Mineraldüngeäquivalent (MDÄ) von 80 % bei Sommerungen bzw. 70% bei Getreide,
- Nachlieferung durch Zwischenfruchtanbau,
- Zu- bzw. Abschläge für Standort- und Bewirtschaftungsverhältnisse,
- Außerdem sind optimale Bedingungen und emissionsarme Technik bei der Ausbringung zu berücksichtigen.

Beratungsbedarf beim Einsatz von Gärresten besteht und wird insbesondere für Betriebe gesehen, die durch die Gärreste erstmalig mit organischen Düngern zu tun haben.

In Tab. 14 sind exemplarisch aus den Leitgebieten die Nährstofffrachten der Gärreste bei einer typischen Ausbringungsmenge zu Mais von 30 m³ und einer Stickstoffanrechnung von 80% des Gesamt-N je ha dargestellt. Die Nährstofffrachten würden in diesem Beispiel zwischen 73 - 127 kg N und 37 - 58 kg P_20_5 betragen.

Tab. 14: Nährstofffrachten unterschiedlicher Gärreste bei einer typischen Ausbringungsmenge von 30 m³

Gärrest [kg bei 30 m³ Gärrest je ha]	Trockenmasse [%]	Gesamt-N (MDÄ 80%) [kg/ha]	NH_4-N [kg/ha]	P_2O_5 [kg/ha]	K_2O [kg/ha]
1.Nawaro	5,2	73	62	37	137
2.Nawaro	5,4	82	43	40	103
3.Nawaro+Gülle	7,1	116	73	58	151
4.Nawaro+Gülle+ HTK	6,2	127	93	54	128
5.Kofermentation + Gülle+HTK+ Mais	4,7	110	78	56	77

MDÄ = Mineraldüngeräquivalent

Beispiele: Das auch bei der Ausbringungsmenge von 30 m³ Gärrest/ha schon die Grenzen des Pflanzenbedarfs überschritten werden können und hier insbesondere der P-Bedarf als begrenzender Faktor auftritt, verdeutlichen die folgenden Beispiele: Es wird in Tab. 15 eine gewässerschonende Maisdüngung von 140 kg N/ha und in Tab. 16 eine Düngung nach Sollwert von 180 kg N/ha unterstellt. Der N_{min}-Wert zur Saat, eine Unterfußdüngung von 1 dt DAP und der Zwischenfruchteffekt werden in Abzug gebracht. Ferner werden 30 m^3 Gärrest zugeführt.

Tab. 15: Beispiel Wasserschutzorientierte Düngung zu Mais und Nährstoffzufuhr von 30m^3 Gärrest

Beispiel: Wasserschutzorientierte Düngung			
	N [kg/ha]	**P_2O_5** [kg/ha]	**K_2O** [kg/ha]
Düngeziel	**140**	**80**	**250**
-Nmin	25		
-Zwischenfrucht	25		
-Unterfussdüngung (~1dt DAP)	18	46	
=Bedarf aus Gärrest:	**72**	**34**	**250**
Nährstoffe einer typischen Gärrestgabe von 30 m³	N (MDÄ 80%) [kg/ha]	P_2O_5 [kg/ha]	K_2O [kg/ha]
Gärrest 1. Nawaro	73	37	137
Gärrest 2: Nawaro	82	40	103
Gärrest 3: Nawaro+Gülle	116	58	151
Gärrest 4: Nawaro+Gülle+HTK	127	54	128
Gärrest 5: Kofermente+ Nawaro+Gülle+HTK	110	56	77

Grün: Gärrestgabe angepasst; Orange: Gärrestgabe zu hoch

Tab. 16: Beispiel Sollwertorientierte Düngung zu Mais und Nährstoffzufuhr mit 30m^3 Gärrest

Beispiel: Sollwertorientierte Düngung			
	N [kg/ha]	**P_2O_5** [kg/ha]	**K_2O** [kg/ha]
Düngeziel	**180**	**80**	**250**
-Nmin	25		
-Zwischenfrucht	25		
-Unterfussdüngung (~1dt DAP)	18	46	
=Bedarf aus Gärrest:	**112**	**34**	**250**
Nährstoffe einer typischen Gärrestgabe von 30 m³	N (MDÄ 80%) [kg/ha]	P_2O_5 [kg/ha]	K_2O [kg/ha]
Gärrest 1. Nawaro	73	37	137
Gärrest 2: Nawaro	82	40	103
Gärrest 3: Nawaro+Gülle	116	58	151
Gärrest 4: Nawaro+Gülle+HTK	127	54	128
Gärrest 5: Kofermente+ Nawaro+Gülle+HTK	110	56	77

Grün: Gärrestgabe angepasst; Orange: Gärrestgabe zu hoch

Wasserschutzvariante (Tab. 15): Das Ergebnis zeigt, dass der Stickstoff nur bei NawaRo- Gärrest (1) mit sehr geringem N- Gehalt nicht zum begrenzenden Faktor wird. Bei allen anderen Gärresten (2-5) müsste also die applizierte Gärrestmenge reduziert werden (bis auf max.17 m³/ha im Gärrest 4). Noch deutlicher wird die limitierende Wirkung beim P- Bedarf. Hier wird, unabhängig von der Gärrestherkunft, der Phosphatbedarf des Maises (80 kg P_20_5/ha) bei einer Ausbringungsmenge von 30 m^3 überschritten. Durch die Wahl eines weniger P-haltigen Unterfussdüngers könnte hier der P-Überhang zumindest in gewissen Grenzen reduziert werden. Der Kaliumbedarf kann dagegen nur zu rund 50% aus dem Gärrest gedeckt werden.

Sollwertvariante (Tab. 16): Wie das Ergebnis zeigt, wird bei 30 m³ Gärrestzufuhr der N Bedarf nur bei Gärrest 4 (NawaRo + Gülle + HTK) überschritten. Hier dürften zur Erreichung des Sollwertes nur 26 m^3 ausgebracht werden. Von den reinen NawaRo- Gärresten könnten dagegen theoretisch bis zu 46 m^3/ha ausgebracht werden um den Sollwert zu erlangen. Allerdings zeigt sich auch hier die limitierende Wirkung beim P-Bedarf, den alle fünf Ausbringungsvarianten übersteigen. Innerhalb der Fruchtfolge muss daher die P-Düngung dem Bedarf angepasst werden. Bei engen Maisfruchtfolgen würde jede weitere Aufstockung der Gärrestmenge die Böden noch weiter mit P anreichern.

Fazit Düngeplanung mit Gärresten:

- Die Beispiele zeigen, dass für eine gute Düngesteuerung eine genaue Kenntnis der Inhaltsstoffe des Gärrestes erforderlich ist und zum Teil nur recht geringe Mengen an Gärrest je Hektar ausgebracht werden können.
- Soll nach Wasserschutzvorgaben gewirtschaftet werden, so werden N- und P-Gehalte schnell zum begrenzenden Faktor für die Gärrestausbringung.
- Nach Sollwertvorgaben mit angenommener Unterfussdüngung ist eher P der begrenzende Faktor.
- Insbesondere für viehstarke Betriebe kann die Einhaltung ausgeglichener P-Bilanzen im Betriebsdurchschnitt problematisch werden.
- Vor allem im Maisanbau ist zu berücksichtigen, dass der Hauptnährstoffbedarf erst ab dem 6. Blattstadium besteht. Bei Gärresten mit hohem NH_4-N-Anteil sollte daher im Maisanbau der N-Bedarf nicht vollständig über die Gärrestdüngung zur Saat abgedeckt werden.
- Gärrest sollte vorrangig dort eingesetzt werden, wo schnell verfügbarer Stickstoff gebraucht wird.

5.1.4 Ermittlung des erforderlichen Flächenbedarfs zur angepassten Gärrestausbringung

Wie in der Tierhaltung sind auch im Biogasprozess die Nährstoffströme durch den Anlagenstandort lokal verortet. Sowohl für die Substratbeschaffung als auch für die Gärrestverwertung bestimmen wirtschaftliche Argumente den Aktionsradius. Daher kommt der Flächenverfügbarkeit für Anbau und Gärrestverwertung ein hoher Stellenwert zu. Der schon bei der Anlagengenehmigung erforderliche qualifizierte Flächennachweis zur Prüfung der mengenmäßigen Substratherkunft und Gärrestverwertung soll hier Planungs- und Rohstoffsicherheit geben. Nicht differenziert berücksichtigt wird derzeit, dass die Gärrestrückführung z. B. bei Nutzungsauflagen wie sie in Wasserschutzgebieten durch freiwillige Maßnahmen bestehen können oder auch bei Mitvergärung von zusätzlichen Substraten (z. B. Zukauf von HTK) nicht immer 1:1 auf die Anbauflächen erfolgen kann, sondern zum Teil auch mit deutlich mehr Ausbringungsfläche gerechnet werden muss.

Beispiel: Dieser Sachverhalt soll nachfolgend exemplarisch am Beispiel eines Leitbetriebes im LK Hildesheim aufgezeigt werden.

- Dazu wird mengenmäßig für die Biogasanlage (740 KW elektr. Leistung, Substrate: Nawaro + Gülle + HTK, Betrieb erfolgt von mehreren landwirtschaftlichen Betrieben gemeinschaftlich) der Substrat- Input und der Gärrest- Output dargestellt.
- Für einen der beteiligten Betriebe werden darüber hinaus die Substratmengen- und Nährstofffrachten auf Betriebsebene beleuchtet.
- Exemplarisch wird die Gärrestrückfuhr auf die NawaRo-Anbauflächen einer Rückfuhr auf die insgesamt verfügbare LN des Betriebes gegenübergestellt.
- Grundlage der Nährstoffströme bilden die Analysen der Gärrestuntersuchungen.

Tab. 17: Musterbeispiel Substratbedarf und Nährstoffrückfuhr einer Biogasanlage (740 KWel) und eines Leitbetriebes

Substratinput in die Biogasanlage							
Eingangssubstrate	Input [t/a]	Output [m³/a]	N [kg/a]*	NH_4-N [kg/a]	P_2O_5 [kg/a]	K_2O [kg/a]	MgO [kg/a]
In- und Output der Biogasanlage, mehrere Substratlieferanten:							
Schweinegülle, HTK, Mais, Getreide-GPS, Grassilage	17.900	13.300	75.544	40.166	30.723	63.441	10.374
In- und Output des Leitbetriebes:							
Mais, Getreide-GPS	1.170	880	4.984	2.600	2.000	4.200	680

* bei 4,3 % N im Substrat

Rückführung der Gärreste des Leitbetriebes:							
Gärreste	[Fläche]	Ausbring-menge [m³/ha]	N [kg/ha]	NH_4-N [kg/ha]	P_2O_5 [kg/ha]	K_2O [kg/ha]	MgO [kg/ha]
Rückführung auf die NawaRo-Anbauflächen des Leitbetriebes							
16 ha Mais + 5 ha Getreide-GPS	21 ha		237	126	97	199	33
Anrechnung N: 80% MDÄ		42	190				
Rückführung auf die Gesamtackerfläche des Leitbetriebes							
56 ha Ackerfläche	56 ha		89	47	36	75	12
Anrechnung N: 80% MDÄ		16	71				

Biogasanlage: Der Jahres-Substratinput von ca. 17.900 t setzt sich aus 28% Schweinegülle, 7% HTK und 65% pflanzlichen Substrate zusammen. Etwa 75.000 kg N fallen jährlich in der Anlage an und es müssen ~13.300m³ Gärrest auf die Flächen gebracht werden.

Einzelbetriebsebene: Der Projektbetrieb baute im Jahr 2007 eine Fläche von 16 ha Mais und 5 ha Getreide-GPS für die Biogasanlage an. Die Gesamt- Inputmenge von 1.170 t floss als Gärrest (880 m³) wieder in den Betrieb zurück. Durch die Mitvergärung von Schweinegülle und HTK erhöhen sich die zurückgeführten Nährstofffrachten je Hektar Anbaufläche. In Bezug auf NawaRo- Anbaufläche von 21 ha würden somit 190 kg N/ha (bei 80% MDÄ) bzw. über 42m³/ha Gärrest zurückgeführt. Bei Düngung nach Sollwertmethode oder nach Grundwasserschutz-

vereinbarung würden diese Mengen schon zu hoch sein, was deutlich macht, dass mehr Ausbringungsfläche für Gärrest als Anbaufläche für Substrat erforderlich wäre.

Wird die übrige Betriebsfläche mit einbezogen, stehen 56 ha Ausbringungsfläche zur Verfügung und es würden lediglich 71 kg N/ha über 16 m³ Gärrest je Hektar zurückgeführt werden. In diesem Beispiel zeigt sich, dass der Betrieb nur dann genug Spielraum zur bedarfsorientierten Gestaltung seiner Düngeplanung zur Verfügung hat, wenn nicht nur die Anbaufläche für Energiepflanzen genutzt wird.

Flächenbedarf am Beispiel Mais: Am Beispiel des Leitbetriebes wird nun für unterschiedliche Düngeansätze geprüft, welcher Flächenbedarf zur Rückfuhr der Nährstoffe von einem Hektar Anbaufläche erforderlich wäre. Gewählte Düngeziele zu Mais:

- 140 kg N/ha (Wasserschutz)
- 180 kg N/ha (Sollwert)
- 200 kg N/ha (Praxisüblich)

Tab. 18: Erforderliche Ausbringungsfläche bei unterschiedlicher Düngestrategie (im Verhältnis zur Anbaufläche des Substrates)

N- Zufuhr:			Düngeziel:	Praxis	Sollwert	GW-Schutz
				200	**180**	**140**
				[kg N/ha]		
Nmin-Wert			[kg N/ha]	20		
Zwischenfr.			[kg N/ha]	keine		
Unterfuß DAP (18/46)	1		[dt/ha]	18		
Mineralischer Dünger			[kg N/ha]	0		
Gärrest von 1 ha Anbaufläche (80% MDÄ)	42		[m³/ha]	190		
Summe N-Zufuhr [kg N/ha]				**228**		
Flächenfaktor *1				**1,1**	**1,3**	**1,6**

*1) Flächenfaktor: erforderliche Ausbringfläche zur Erreichung des Düngeziels, wobei Anbaufläche=1

Durch Schweinegülle und HTK werden die zurückgeführten Nährstofffrachten im Gegensatz zum Pflanzenentzug deutlich erhöht. Dadurch wird bei allen drei Düngeplanungen mit dem Gärrest von 1 ha Anbauflächen (42m³/ha) der berechnete N-Bedarf aus Wirtschaftsdünger überschritten. Die Ausbringungsfläche müsste dementsprechend erweitert werden. Während beim betriebsüblichen Düngeziel 1,1 ha Rückfuhrfläche erforderlich wären, steigt der Flächenbedarf in der Sollwertvariante auf 1,3 ha und in der Wasserschutzvariante auf 1,6 ha erforderliche Rückfuhrfläche. Höhere N_{min}-Werte oder Vorfruchtabschläge können den Faktor weiter erhöhen.

Festzuhalten ist, dass bei einer reinen Nawaro- Verwertung von den eigenen Flächen der Flächenfaktor am geringsten ist. Kommen zusätzlich Nährstoffe aus Gülle, HTK oder Zukaufbiomasse in den Kreislauf, steigt der Flächenbedarf für die Gärrestrückfuhr bis zum zweifachen der Anbaufläche an. Hier bestehen Lösungen in der Hinzunahme weiterer Marktfruchtflächen oder im Export der Gärreste an andere Betriebe. In Wasserschutzgebieten wie auch in Nährstoffballungsgebieten nimmt daher das Interesse an der Steigerung der Transportwürdigkeit von Gärresten, z.B. durch Separierungsverfahren zu. Weiterhin ist wie Eingangs erläutert neben dem Stickstoff auch weiterhin die Einhaltung der P- Bilanz bei der Flächenplanung zu berücksichtigen.

Fazit Substrat- In- und Output; Flächenbedarf:

- Lokal werden durch Biogasanlagen große Nährstoffmengen gebündelt. Eine ausreichende Flächenausstattung für die Gärrestrückfuhr ist aus Wasserschutzsicht unerlässlich.
- Werden zusätzlich zu NawaRos Wirtschaftsdünger, Hühnertrockenkot oder Abfälle vergoren, so kommt es zu einer Erhöhung der hektarbezogenen Nährstofffrachten gegenüber einer reinen NawaRo-Vergärung.
- Bei reinen NawaRo-Gärresten und grundwasserschonender Düngevorgabe von 140 kg N/ha kann die Rückfuhrfläche für die Gärreste 10 - 30% über der Anbaufläche liegen.
- Bei den Mischanlagen zeigt sich jedoch ein erhöhter Flächenbedarf bis zum doppelten der Anbaufläche. Dieser wird in den Beispielen aus dem Flächenpool des Gesamtbetriebs gedeckt werden.
- Zusätzlich ist die P-Bilanzgrenze beim erforderlichen Flächenbedarf zu berücksichtigen.
- Das Beispiel macht die Bedeutung einer differenzierten Flächenplanung für die Gärrestausbringung deutlich. Diese sollte betriebsindividuell erfolgen.
- Durch Gärrestseparierung steigt die Transportwürdigkeit der Gärreste. Damit kann zur Entlastung in Wasserschutzgebieten und Nährstoffüberschussgebieten beigetragen werden.

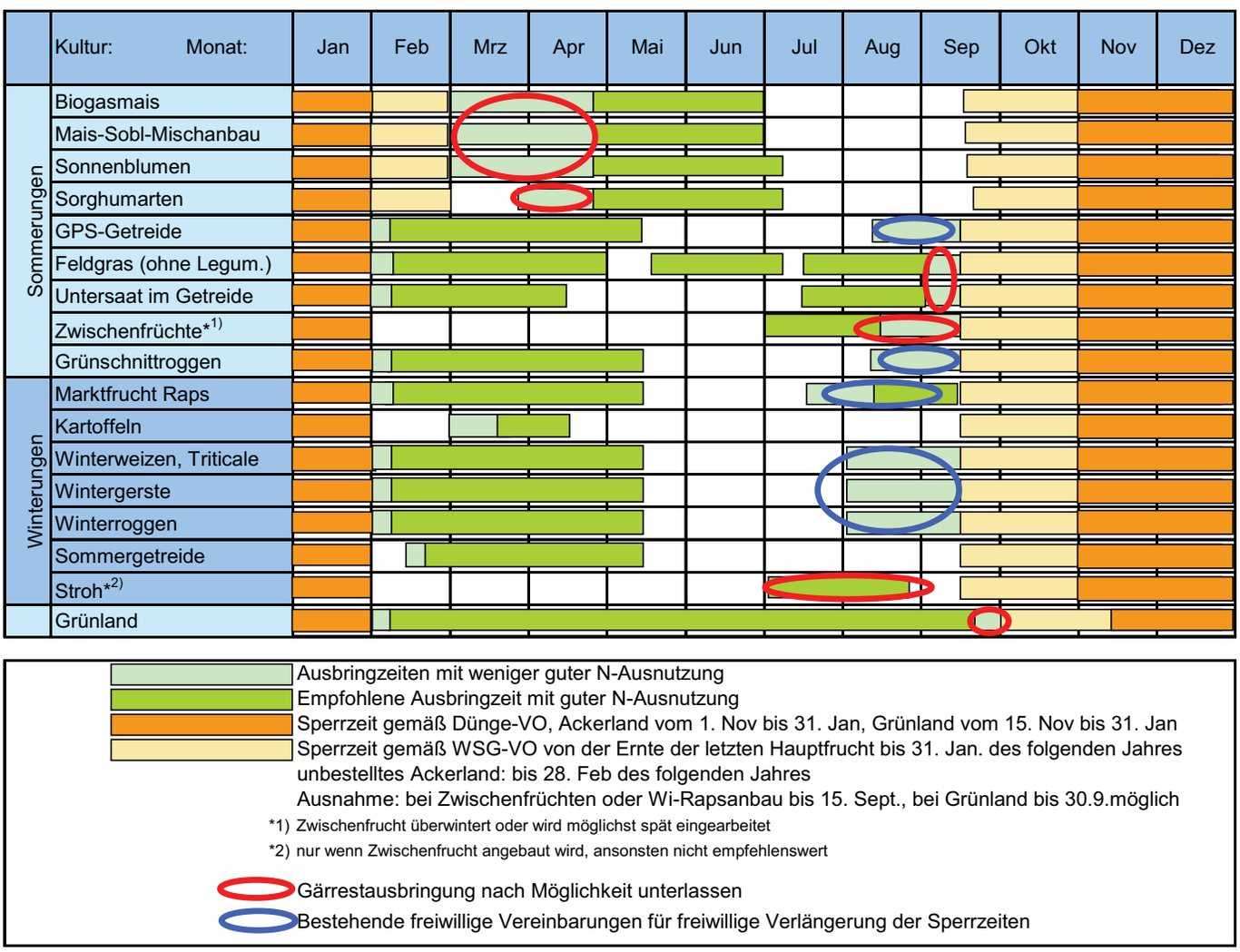
5.1.5 Ausbringungskalender für den Gärresteinsatz nach DüV und SchuVo

Die Stickstoffaufnahme der Kulturen ist abhängig von der Vegetationsentwicklung und sollte Grundlage für die Düngebedarfs- und auch für die zeitliche Ausbringungsplanung sein. Zeiten mit weniger guter N- Ausnutzung wie vor Beginn der Vegetationszeit sollten vermieden werden.

Technik: Die N-Düngewirkung der Gärrestdüngung hängt wesentlich von der Vermeidung der gasförmigen Ammoniakverluste ab. Daher ist der Einsatz entsprechend verlustarmer Geräte wie Schleppschläuche im Getreidebau und Schleppschuhverteiler im Grünland zu empfehlen. Die Ausbringung sollte nach guter fachlicher Praxis bei kühler Witterung und bedecktem Himmel oder in den Abendstunden erfolgen. Denn je niedriger die Verluste, desto höher die N-Effizienz.

Ausbringungszeiten: Tab. 19 zeigt für einzelne Kulturen die möglichen Ausbringungszeiten und gesetzlichen Kernsperrfristen sowie die im Sinne des Wasserschutzes gebotenen, über das gesetzliche Maß hinaus gehenden Ausbringungszeiträume für die organische Düngerausbringung. Dabei wurden Energiepflanzen gesondert berücksichtigt. Deutlich wird, dass die Gärrest- bzw. Gülledüngung laut DüV auch zu Zeiten mit geringem Pflanzenbedarf erfolgen kann. Um auf austragsgefährdeten Standorten die Nitrat-Sickerwasserbelastung durch Gülle- bzw. Gärrestausbringung zu minimieren, empfiehlt sich eine weitergehende Einschränkung der Ausbringungszeiträume. Zu einigen Kulturen bzw. Ackerbaumaßnahmen werden derzeit entsprechende freiwillige Vereinbarungen im Wasserschutz angeboten (blau markiert freiwillige Sperrzeiten, ausgleichspflichtig). Darüber hinaus werden auf Basis der Projekterfahrungen weitere Empfehlungen zur Beschränkung der Ausbringung gegeben (rote Markierung).

Tab. 19: Ausbringungskalender zum Gärrest- und Gülleeinsatz bei Marktfrüchten und Energiepflanzen



Winterungen, Zwischenfrüchte wie Grünroggen und **Untersaaten** sowie **Feldgras** und **Dauergrünland** können bereits früh mit Gärrest gedüngt werden. Mit Vegetationsbeginn können diese Kulturen den über Gärrest ausgebrachten sofort pflanzenverfügbaren Ammonium relativ schnell in Pflanzenmasse umsetzen. Eine zeitige Ausbringung durch Verwendung von Schleppschlauch- bzw. Schleppschuhtechnik mindert u. a. die NH_3-Emission. Die Einzelgabe sollte bei den Winterungen höchstens 60 kg N/ha und im Feldgras max. 100 kg N/ha betragen. Die N-Düngewirkung des Gärrestes ist hier mit einem MDÄ von 70% zu berücksichtigen.

Sommerungen wie Mais, Sonnenblumen und Sorghumarten sollten erst unmittelbar zur Saat und nicht bereits im März mit Gärrest oder Gülle gedüngt werden. Bei früher Gärrestausbringung im März besteht die Gefahr, dass vor allem bei hohem NH_4-N-Anteil am Gesamt-N-Gehalt durch Niederschläge sowie relativ hoher Bodenwassersättigung ein Teil des Ammoniums nach Umwandlung in Nitrat in tiefere Schichten verlagert wird und somit für die Kulturen zu Beginn des Hauptnährstoffbedarfs ab Ende Mai nicht mehr zur Verfügung steht. Voraussetzung einer grundwasserschonenden Bewirtschaftung ist die sofortige Einarbeitung der Gärreste.

Gärrestgaben im Herbst müssen äußerst kritisch gesehen werden. Laut Düngeverordnung dürfen bis zu 40 kg/ha Ammonium-N aus Wirtschaftsdüngern im Herbst nach der letzten Hauptfruchternte gedüngt werden. Auf Flächen mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr sind jedoch häufig ausreichende N-Reserven nach der Hauptfruchternte vorhanden, die u.a. für die Strohrotte und für die vorwinterliche Entwicklung der Folgekultur ausreichen. Nach DITTERT et. al. (1999) werden nach Herbstanwendung zu Winterweizen bis zum Ende der winterlichen Vegetationsruhe 50 % des gesamten Gülle-stickstoffs in Tiefen unterhalb des effektiven Wurzelraumes verlagert. Hingegen wurde zu Frühjahrsanwendung keine Nitratauswaschung festgestellt.

Im **Grünland und beim Feldgrasanbau** verändert sich mit den Ausbringungsterminen die Wirksamkeit von Gülle. Im Frühjahr ist sie am höchsten und lässt direkt vor Winter nach. Daher ist die späte Begüllung nahe der Kernsperrfrist als äußerst kritisch zu sehen, da der Stickstoff nicht mehr in Masse umgewandelt werden kann (BERENDONK, 2006) bzw. zu im Spätherbst nicht mehr benötigten und nicht mehr gewünschten Aufwüchsen führt. Der Schwerpunkt der Gärrestausbringung auf Grünland sollte daher vom zeitigen Frühjahr bis spätestens Mitte September liegen.

Strohdüngung: Eine „Ausgleichsdüngung“ zu auf dem Feld verbleibendem Stroh wird häufig ohne Kenntnis der Restnitratmengen im Boden vorgenommen. I. d. R. reichen diese aber aus, um der Strohrotte die ausreichende Stickstoffmenge zur Verfügung zu stellen, so dass auf eine Ausgleichsdüngung verzichtet werden kann.

Fazit Ausbringung von Gärresten:

- Der Einsatz verlustarmer Ausbringungstechnik (z. B. Schleppschlauch- Schleppschuh) ist durch den leicht flüchtigen Ammoniumanteil von Gärresten unbedingt geboten. Gasförmige N- Verluste wirken nicht nur klimaschädigend, sondern kommen auch unkontrolliert als N- Emissionen wieder in Böden und Gewässer zurück.
- Die nach DüV und aus Wasserschutzsicht empfohlenen Ausbringungszeiträume für Gärreste wurden unter Berücksichtigung neuer Energiepflanzen in einem Ausbringungskalender übersichtlich zusammengestellt. Die Frühjahrsausbringung sollte zum größten N-Bedarf der Kulturen erfolgen…
- …zu Winterungen, Zwischenfrüchten, Feldgras und Dauergrünland vorwiegend zu Vegetationsbeginn um NH_3-Emission zu reduzieren,
- …zu Sommerungen unmittelbar vor deren Saat,
- …zur Ausbringung auf Grünland und Feldgras max. bis Mitte September.
- Auf Flächen mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr ist generell auf die Herbstbegüllung und auf die Strohdüngung zu verzichten.
- Die gesetzlichen Sperrzeiten sind einzuhalten.

Bild 4: Schleppschlauchtechnik mindert gasförmige N-Verluste

5.2 Lagerraum- und Gärrestmanagement

Problematik: Die nötige Lagerkapazität für Gülle und Gärrest ist zum einen von der Kontinuität des Anfalls abhängig und zum anderen von Zeitpunkt und Menge der Ausbringung. Ausbringzeitpunkt und Applikationsmenge sind im gesetzlichen Rahmen nach DüV frei wählbar, sollten jedoch idealer Weise auf die optimale Pflanzenverfügbarkeit abgestimmt sein.

Die verfügbare Nährstoffmenge aus den Gärresten kann nur dann im Pflanzenbestand optimal verwertet werden, wenn der Lagerraum nicht zum begrenzenden Faktor wird. Wurde dagegen die Lagerraumkapazität z. B. aus Kostengründen auf ein nötiges Minimum reduziert, dann ist eine Gärrestausbringung vielfach nicht zum pflanzenphysiologisch optimalen Zeitpunkt möglich. Folge: Wertvoller Dünger wird ineffizient eingesetzt, das Risiko von Nährstoffverlusten steigt.

Bild 5: Vorne: Biogasanlage, Rechts u. Hinten: Nachgärbehälter, Gärrestlager. Gärrestlager sollten ausreichend Volumen für die bedarfsgerechte Ausbringung bieten und eine gasdichte Abdeckung haben.

5.2.1 Einfluss einer wasserschutzorientierten Gärrestausbringung auf den Lageraumbedarf

Eine optimale Verwertung des Gärrestes hängt von der Wahl des Ausbringungszeitpunktes ab. Dieser ist nur bei ausreichender Lagerkapazität frei wählbar. An dem Beispiel einer Biogasanlage im Leitgebiet LK Hildesheim werden diese Zusammenhänge exemplarisch aufgezeigt.

Beispiel: In der Biogasanlage werden 17.900 t Substrat verarbeitet. Unter Berücksichtigung der Fugatfaktoren für den Abbau der organischen Substanz in pflanzlichen Gärsubstraten verbleiben von der Gesamtmenge ca. 13.300 m³ Gärrest für die weitere Berechnung (davon 2.200 m³ Schweinegülle und 11.100 m³ aus den pflanzlichen Gärsubstraten).

In dem folgenden **Gärrestverteilplan** (Tab. 20 (a)) wird eine am Pflanzenbedarf ausgerichtete Verteilung des Gärrestes auf die Früchte geplant. Das heißt, dass in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen frühestens ab Februar mit der Ausbringung begonnen wird und diese zunächst Ende April/Anfang Mai beendet ist. Weiterer Nährstoffbedarf wäre noch im Juni/Juli für die Flächen gegeben, auf denen nach der GPS-Getreide-Ernte z. B. Sonnenblumen als Zweitfrucht angebaut werden. Im August/September kann noch Gärrest zu Zwischenfrüchten (oder Winterraps) ausgebracht werden. Auf eine Herbstausbringung wird verzichtet.

Bei der Planung eines Gärrestlagers ist zu beachten, dass zumindest einmal im Jahr der Saldo von Zufluss und Abfluss annähernd 0 m³ beträgt. In diesem Beispiel ist das Ende April der Fall. Wie sich diese Gärrestausbringung auf den Füllstand des Gärrestlagers bei Annahme der Mindestlagerkapazität von 6 Monaten darstellt, wird in Tab. 20 (b) gezeigt. Es wird deutlich, dass die oben geplante Ausbringung mit dem vorhandenen Lagerraum nicht möglich ist, sondern nur bei 8-monatiger Lagerkapazität umgesetzt werden kann.

Sollen 6 Monate Lagerkapazität reichen, so muss die Ausbringung in einer Größenordnung von 2.000 m³ Gärrest auf den Herbst verschoben werden, damit es im Frühjahr auch bei ungünstigen Witterungsbedingungen noch ausreichend Lagerraumreserven (Ziel > 3 Wochen) gibt (siehe Tab. 20 (c)). Auswaschungsverluste über Winter würden in Kauf genommen werden und der Düngewert der Herbstgabe, hier rund 11 t N, würde nur unzureichend pflanzenbaulich wirksam. Im Frühjahr müsste zudem ein Teil des Pflanzenbedarfs anstatt aus dem Gärrest durch Mineraldüngerzukauf ergänzt werden.

Tab. 20: Gärrestverteilplan (a) für eine 740 kWel. Biogasanlage, Lagerraumfüllstände bei wasserschonender (b) und betriebsüblicher (c) Gärrestverteilung

(a) Gärrestverteilplan bei Verzicht auf die Herbstausbringung

Substratbedarf Biogasanlage: ~ 17.900 t FM/Jahr (von 320 ha Anbaufläche)	Substratoutput nach Abzug der Verluste (Fugatfaktor): ~ 13.300 t FM/Jahr mittlerer N Gehalt im Gärrest 4,3%

Gärrestverteilplan **ohne** Herbstausbringung

Frucht	Fläche	Gärrestgabe [m³ / ha]			Gesamtmenge [m³ je Kultur]			
	[ha]	Aug.-Sept.	Feb.-Mai	Juni-Juli	Aug./Sept.	Feb./März	Apr./Mai	Jun./Jul.
Winterweizen (Marktf.)	140		20			2.800		
GPS-Roggen	60		20			1.200		
Silomais	230		30				6.900	
Sonnenblume	30			30				900
Zwischenfrucht	100	15			1.500			
Summe	**320** ha Energiepflanzen				**13.300**			

(b) Jahresgang des Füllstandes und erforderlicher Lagerraum **bei Verzicht** auf die Herbstausbringung

frühe Ausbringung zu Zwischenfrucht

Verzicht auf Herbstausbringung (durch Lagerung Nutzbarmachung von zusätzlich ~ 11 t N im Frühjahr)

Pflanzenphysiologisch sinnvolle Frühjahrsausbringung.

Gärrestmengen:	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Summe
Zufluss in m³	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	13.300
Abfluss in m³	1.500	0	0	0	0	0	2.000	2.000	6.900	0	900	0	13.300
Saldo in m³	2.033	3.142	4.250	5.358	6.467	7.575	6.683	5.792	0	1.108	1.317	2.425	
Füllstand bei x Monaten Lagerkapazität:													
6 Monate	31%	47%	64%	81%	97%	**114%**	**101%**	87%	0%	17%	20%	36%	
7 Monate	26%	40%	55%	69%	83%	98%	86%	75%	0%	14%	17%	31%	
8 Monate	23%	35%	48%	60%	73%	85%	75%	65%	0%	12%	15%	27%	

(c) Jahresgang des Füllstandes und erforderlicher Lagerraum **unter Berücksichtigung** einer Herbstausbringung

frühe Ausbringung zu Zwischenfrucht

Herbstausbringung zu Getreide in verlustträchtigen Zeiträumen

Pflanzenphysiologisch sinnvolle Frühjahrsausbringung. Aber: es muss mineralisch ergänzt werden.

Gärrestmengen:	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Summe
Zufluss in m³	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	1.108	13.300
Abfluss in m³	1.500	**2.000**	0	0	0	0	1.000	1.000	4.792	1.000	900	0	12.192
Saldo in m³	1.033	142	1.250	2.358	3.467	4.575	4.683	4.792	0	108	317	1.425	
Füllstand bei x Monaten Lagerkapazität:													
6 Monate	16%	2%	19%	35%	52%	69%	70%	72%	0%	2%	5%	21%	

Legende:

	markiert die Zeiten, wo die vorhandene Lagerraumkapazität überschritten wird
	markiert den erforderlichen Lagerraum

Die folgende Abb. 19 stellt anhand der obigen Daten die Füllstandsverläufe mit und ohne Herbstausbringung dar:

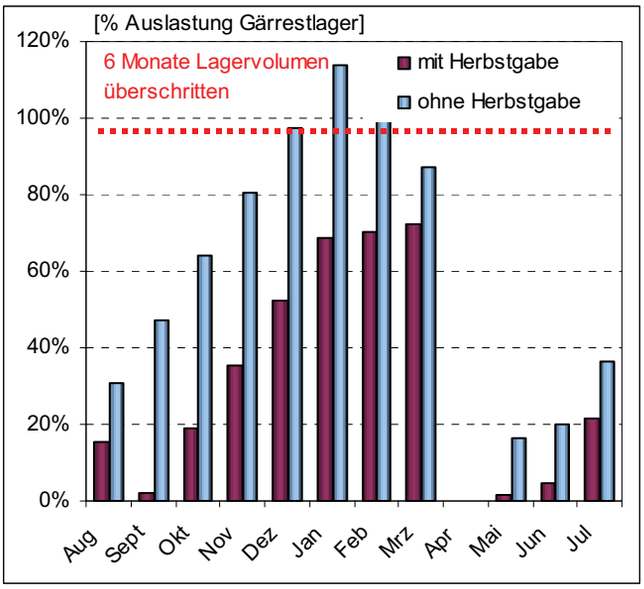


Abb. 19: Beispiel Lagerraumfüllstände mit und ohne Herbstausbringung

Das Beispiel zeigt exemplarisch, das die gesetzlich geforderten 6 Monate Lagerraumkapazität nicht reichen, wenn z. B. auf eine Herbstausbringung verzichtet wird.

Eine weitere Schwachstelle in den gesetzlichen Regelungen besteht darin, dass die Lagerraumpflicht von sechs Monaten nur die tierischen, nicht aber die pflanzlichen organische Reststoffe umfasst und somit für NawaRo Gärreste nicht den Mindeststandard darstellt. In der Planung und auch in der Genehmigungspraxis werden jedoch in der Regel die sechs Monate Lagerraum geschaffen. Welche Anforderungen an eine optimierte Lagerraumplanung zu stellen sind, wird im nächsten Abschnitt erläutert.

Fazit Lagerraumbedarf bei gewässerschonender Ausbringung:

- Aus Wasserschutzsicht und auch, um die betrieblichen Nährstoffe möglichste effizient zu nutzen, sollten mindestens 8 Monate Lagerraum empfohlen werden.
- Bei enger Fruchtfolge und fehlenden Ausweichflächen für die Ausbringung kann der Bedarf aus Wasserschutzsicht bis auf 10 Monate ansteigen.
- Die Vorgaben zum Mindestlagerraum sollten auch in der VaWS auf die Lagerung pflanzlicher organischer Reststoffe ausgeweitet werden.

5.2.2 Optimierte Gärrestlagerplanung

Der beschriebenen Problematik sollte schon bei der Planung der Biogasanlage begegnet werden, indem ausreichend Lagerraum für eine auf den Pflanzenbedarf abgestimmte Applikation geschaffen wird. In der derzeitigen Genehmigungspraxis für Biogasanlagen wird eine Mindestlagerkapazität von 6 Monaten vorgeschrieben. Nach den Anforderungen des (Trink-) Wasserschutzes sind diese Auflagen jedoch häufig zu gering. Längere Sperrzeiten, Mengenbegrenzungen, eine eingeschränkte Herbstausbringung o. ä. können auch längere Lagerkapazitäten erforderlich machen.

In der Praxis gilt es dann, mit den vorhandenen Ressourcen optimal zu wirtschaften und zu planen. Folgende Gesichtspunkte sind zur Entwicklung individueller Düngestrategien zu berücksichtigen:

- Flächenverfügbarkeit
- Pflanzenverfügbarkeit
- Betriebsbedarf u. Vorgaben (z. B. Wasserschutz)
- Ausbringungszeitpunkt
- Ausbringungsmengen

Ziel sollte es dabei sein, dass

- jedes Jahr die gesamte anfallende Gärrestmenge verbracht werden kann,
- zum jeweiligen Zeitpunkt genügend Gärrest für die geplante Applikation zur Verfügung steht,
- und dabei die Lagerkapazitäten nicht zum begrenzenden Faktor werden.

Die Abb. 20 verdeutlicht, welche unterschiedlichen Einflussgrößen bei der Auslegung der Lagerkapazität beachtet werden sollten.

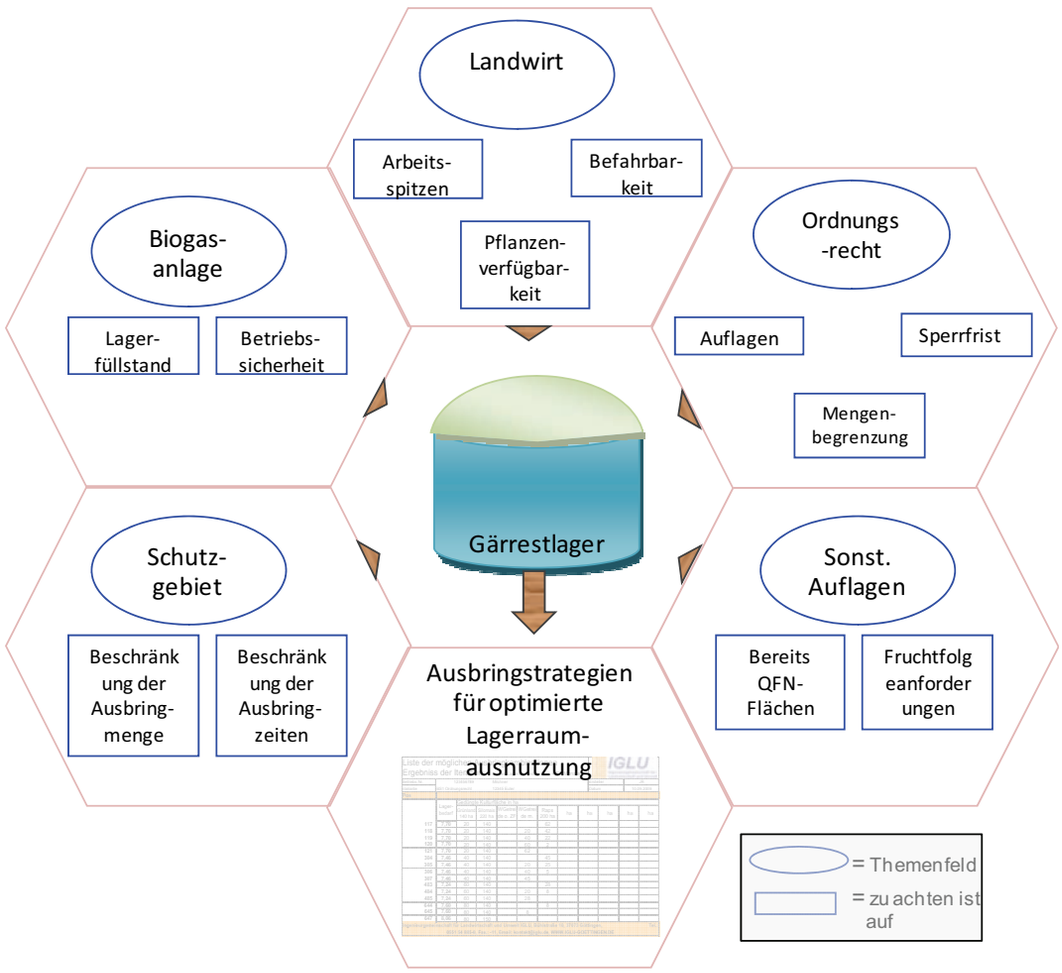


Abb. 20: Einflussfaktoren bei der Auslegung der Lagerraumkapazität für Biogasanlagen oder Güllebehälter

Anlage: Für den Anlagenbetreiber ist es in erster Linie wichtig, dass der Gärrest immer rechtzeitig so ausgebracht wird, dass der vorhandene Lagerraum nicht überbelegt wird. Im ersten Betriebsjahr der Anlage aus dem Beispiel musste zusätzlicher Lagerraum für Gärreste angemietet werden, obwohl der anlageneigene Lagerraum den Gärrestanfall von ca. 8 Monaten fassen kann.

Landwirt: Demgegenüber steht der Bedarf der Landwirte, die den Gärrest gerne als preisgünstigen Dünger einsetzen, vegetationsbedingt jedoch mit unterschiedlicher Nachfrageintensität. Ob diese Nachfrage ausreichend bedient werden kann, ist dann immer abhängig von der zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Gärrestmenge.

Ordnungsrecht: Das Ordnungsrecht (v. a. DüV) regelt im Allgemeinen, dass Düngemittel nach Bedarf eingesetzt werden müssen und bei der Applikation auf die mögliche Pflanzenverwertbarkeit zu achten ist.

Schutzgebiet: Beschränkungen der Ausbringmengen und Ausbringzeiten sollten schon bei der Planung von Biogasanlagen berücksichtigt werden. Gerade bei Anlagen mit einer Vielzahl von Substratlieferanten ist zudem bei der Gärrestrückführung auf Beschränkungen zu achten

Optimierung der Planung: Ziel sollte es sein, schon bei der Planung und Genehmigung von Anlagen verstärkt kulturenabhängig den erforderlichen Lagerraum zu berechnen.

In der derzeitigen Genehmigungspraxis, gleichwohl für Biogasanlagen und Lagerstätten für organische Dünger tierischer Herkunft werden in Niedersachsen Qualifizierte Flächennachweise (QFN) gefordert. Diese Nachweise, die in der Regel von der Landwirtschaftskammer erstellt und vom Planer bei der genehmigenden Behörde vorgelegt werden, beinhalten die zur Verfügung stehende Flächenausstattung und die in der Zukunft geplanten (zu erwartenden) Fruchtfolgen auf diesen Flächen. Jeder Kultur ist dabei eine gewisse Verwertungsmenge von flüssigen organischen Düngern zugeordnet, woraus sich aufsummiert aus den Produkten Verwertungsmenge mal Fläche die maximal verwertbare Substratmenge ergibt.

Der **zeitliche** Aspekt der Ausbringung, also die Verfügbarkeit von Substrat und die optimale Verwertbarkeit, fließen nicht in die Betrachtungen des QFN ein. Die daraus abzuleitenden Schlüsse können gerade bei Anlagen, die sehr nahe an den QFN-Obergrenzen liegen, recht weit vom Optimum entfernt sein.

5.2.2.1 Programmgestützte Lagerraumberechnung

Programmentwicklung: Im M&P-Vorhaben wurde als Prototyp ein Tabellenkalkulationsprogramm zur Unterstützung bei der Lagerraumplanung- und Gärrestverwaltung entwickelt. Ziel war es, die betriebsindividuellen Anforderungen und Besonderheiten schon bei der Lagerraumplanung transparent zu machen und später im Anlagenbetrieb ein Instrument zur Verfügung zu haben, das eine einfache Übersicht über Lagerraumfüllstände in Anhängigkeit von Ausbringungsvorgaben ermöglicht.

Durch eine Iterationsschleife können im Programm komfortabel alle möglichen Kombinationen von Fruchtartenverhältnissen und Ausbringzeiten gegeneinander verglichen und auf ihre Plausibilität hin geprüft werden. Die Angabe der Kulturen, des jeweiligen Flächenumfanges und der für die Kultur vorgesehenen Düngestrategie sind dabei Voraussetzung. Dabei können die selben Kulturen gleichzeitig mit unterschiedlichen Applikationsstrategien eingegeben werden, was durch entsprechendes Setzen der Filterung in den Ergebnissen zu einer direkten Vergleichbarkeit der Ergebnisse führt.

Ergebnis: Die Programmauswertungen dokumentieren, in welchem Flächenumfang bei entsprechender Düngestrategie die jeweilige Kultur gedüngt werden kann, bei vollständiger Ausbringung der Jahresmenge. Zudem wird für jede dieser Kombinationen die nötige Lagerraumkapazität ausgewiesen. Durch entsprechendes Setzen von Filtern lassen sich dann Ergebnisse für unterschiedlichste Fragestellungen und Anforderungen generieren.

- In der Planungsphase kann damit der nötige Lagerraumbedarf bei einem vorausgesetzten Kulturartenverhältnis, auch unter Einbezug von Nutzungsauflagen wie sie mit Wasserschutz bestehen, ermittelt werden.
- In der Genehmigungspraxis kann mit den Ergebnissen die Plausibilität der angeführten Flächennachweise verifiziert werden.
- In der Praxis können Düngestrategien getestet und verglichen werden.
- Es kann zu jeder Zeit ein guter Überblick über den Lagerraumfüllstand in Anhängigkeit von der Ausbringungsplanung geschaffen und so der vorhandene Lagerraum optimal genutzt werden.
- Gerade, wenn ein externer Betreiber mit mehreren Zulieferern zu tun hat, wird ein vorausschauender Planungsprozess vereinfacht.

In der Praxis sehen die Genehmigungsbehörden zwar den Bedarf zur genaueren Deklaration der Gärrestverwertung, es liegen dafür aber keine rechtlichen Grundlagen vor, die zum Einsatz einer derartigen Software verpflichten würden oder zumindest die Verwendung als Kontroll- und Beratungsinstrument ermöglichen würden. Derzeit kann demnach nur der Weg über die Beratung von Planer und Betreiber führen, um die durch den QFN gewonnenen Daten zu verifizieren und den entsprechenden Personenkreis durch das Aufzeigen der möglichen Konfliktsituationen in diesem Punkt zu sensibilisieren. Eine Weiterentwicklung des Programms zur Praxisreife wäre wünschenswert.

Fazit: Optimierte Lagerraumplanung

- Die landwirtschaftlichen Vorgaben zur Wirtschaftsdüngerausbringung sind komplex und insbesondere in WSG können zusätzliche Einschränkungen hinzukommen. Diese komplexen Sachverhalte gilt es schon bei der Lagerraumplanung zu berücksichtigen.
- Eine nachhaltige Lagerraumplanung sollte so ausgerichtet werden, dass Gärrestgaben immer zum pflanzenphysiologisch optimalen Zeitpunkt erfolgen können. Insbesondere Herbstgaben sind daher aus Wasserschutzsicht kritisch zu sehen und 8 Monate Lagerkapazität mindestens zu fordern.
- Mit Hilfe des Lagerraumprogramms können Applikationsstrategien entwickelt und damit vorhandener Lagerraum besser nutzbar gemacht werden.
- Eine effiziente Lagerraumbewirtschaftung wirkt neben den umwelttechnischen Vorteilen auch deutlich positiv auf den wirtschaftlichen Ertrag einer Anlage.
- Es eignet sich zur Überprüfung, ob der vorhandene oder geplante Lagerraum ausreichend zur Umsetzung der gewünschten Ausbringungsmengen und Zeitpunkte ist.
- Beim späteren Anlagenbetrieb unterstützt das Programm bei der Ausbringungsplanung und weist je nach Nutzungsauflagen monatsbezogen die Füllstände aus.

6 Ergebnisse der Feldversuche zum grundwasserschonenden Energiepflanzenanbau

Ein zentrales Thema des M&P- Vorhabens war die Durchführung von Feldversuchen zur Überprüfung und Entwicklung grundwasserschonender Anbauverfahren für den Energiepflanzenanbau sowie deren Verbreitung in die landwirtschaftliche Praxis zur Reduzierung diffuser Stoffeinträge aus der Landwirtschaft. Die wichtigsten Ergebnisse werden im folgenden standortbezogen wiedergegeben.

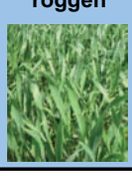
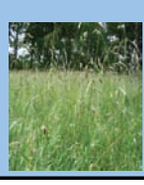
6.1 Versuchstandorte und Methodik

Lage und Kenndaten der Versuchsstandorte: In enger Abstimmung mit dem NLWKN Aurich und Vertretern des niedersächsischen Umweltministeriums wurden repräsentativ für Niedersachsen sechs Versuchsregionen, Wasserschutzgebiete, Biogasanlagenbetreiber und landwirtschaftliche Leitbetriebe zur Versuchsanstellung ausgewählt, so dass die Praxisversuche in agrarisch sehr unterschiedlich geprägten Regionen erfolgten (Karte, siehe Kap.1). Bei der Auswahl der Standorte für die Feldversuchsanstellungen wurden unterschiedliche Lagen, Bodentypen und Witterungsbedingungen berücksichtigt. Die Spannweite der Böden reicht von leichten Sandböden bis hin zu Lössparabraunerden. Auch die Jahresniederschläge sowie die Durchschnittstemperaturen zeigen deutliche Unterschiede der Wachstumsbedingungen zwischen den Standorten. Die beteiligten Biogasanlagen in den Leitgebieten unterscheiden sich in der Anlagengröße, Anlagenform und in ihrer Betriebsweise. Neben reinen NawaRo-Anlagen wurden Gemischtanlagen (NawaRo + Gülle-Anlagen) und eine Kofermentationsanlage im Projektzeitraum begleitet.

Beschreibung der Prüfvarianten:
Zum Anbau sollten sowohl die derzeit vorrangig angebauten Kulturen Silomais und Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS) als auch neue Kulturarten wie Sonnenblumen und Sorghumarten kommen. Ferner wurde darauf Wert gelegt, das der Feldgrasanbau in die Untersuchungen einbezogen wird und Optimierungsmaßnahmen wie Untersaaten und verschiedene Düngestufen im Maisanbau getestet werden können.

Die Versuchsfragestellungen wurden standortangepasst entwickelt und in Form von Streifenversuchen in den einzelnen Versuchsgebieten gemeinsam mit den Bewirtschaftern umgesetzt. Jeder Bewirtschafter sammelte dadurch eigene Erfahrungen im technischen Bereich und in der pflanzenbaulichen Bestandesführung. Darüber hinaus wurde im jeweiligen Wasserschutzgebiet (WSG) bzw. Wassergewinnungsgebiet (WGG) der Maßnahmeeffekt verdeutlicht. Die untersuchten Prüfvarianten sind in Tab. 21 dargestellt.

Tab. 21: Übersicht der Prüfvarianten 2007 bis 2009

Versuchsjahr: 2007 ● 2008 ● 2009 ● Fragestellung:	Grün-roggen 	Getreide-GPS	Mais	Gras 	Sonnenblumen Sorghumarten
Optimierung Düngesteuerung	● ● ●	● ● ●	● ● ●		● ● ●
Optimierte Gärrestausbringung	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ●	● ● ●
Etablierung von Untersaaten		● ●	● ● ●		
Trockenstresstolerante Kulturen	● ● ●	● ● ●			● ● ●
Zweikultur-Nutzung/Z-Fruchtanbau	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ●	● ● ●
Mischanbau			● ●		● ●
Brache-/Grünlandumbruch			●		
Getreidenachbau/Kartoffelnachbau					● ●
Reduzierte Bodenbearbeitung			● ●		

Weiterführende Angaben enthält Tab. 22. Schwerpunkte wurden bei der Optimierung der Düngesteuerung und des Gärresteinsatzes im Mais sowie bei der Etablierung von Untersaaten in Mais und Wintergetreide gesetzt. Auch

neue Kulturpflanzen, wie Sonnenblumen, Mais- Sonnenblumen im Mischanbau und Sorghumarten wurden getestet. Der Anbau erfolgte als Hauptfrucht mit und ohne Zwischenfrucht (Grünroggen, Gräser) sowie exemplarisch im Zweikultur-Nutzungssystem. Zusätzlich wurde die Nachnutzung von Umbruchflächen begleitet und verschiedene Bodenbearbeitungsmaßnahmen zur Herbst-N_{min}–Reduzierung geprüft.

Tab. 22: Angaben zur Versuchsumsetzung

Versuchsfragen	**Maßnahme und Umsetzung**
Optimierte Düngesteuerung:	
Ziel: Vermeidung von N-Überhängen	▪ Grundwasserschonende N-Stufe (~140kgN/ha) ▪ Sollwert N-Stufe (~180kgN/ha) ▪ Betriebsübliche N-Stufe (>180kgN/ha) ▪ N-Staffelung über gestaffelte Gärrestausbringung bzw. über mineralische N-Düngung
Grasuntersaaten in Mais:	
Ziel: Vermeidung von Erosion und Auswaschung, bessere Befahrbarkeit, Nachnutzung	▪ Frühe Untersaaten (Rasenrotschwingel) ohne Nachnutzung; Aussaat mittels Saatbettkombination oder Breitsaat vor bzw. direkt nach Maisaussaat. ▪ Späte Untersaaten (Weidelgrasgemenge) mit Nachnutzung; Aussaat als Breitsaat durch Schneckenkornstreuer bzw. als Striegelaussaat.
Winterungen im Energiepflanzenanbau:	
Ziel: Bessere Flächendeckung, Erosionsminderung, geringere N-Intensität	▪ Grünroggen vor Mais zur Aufweitung der Fruchtfolge ▪ Optimierte N-Düngesteuerung
Ziel: Fruchtfolgeaufweitung, geringere N-Intensität, Erosionsminderung, Ertragssicherheit	▪ Roggen- GPS, Triticale- GPS, Ernte BBCH 73-75
Grünland und Ackergras Umbruch vor Mais:	
Ziel: Optimierte Düngesteuerung, Auswaschung mindern. Beobachtung der Sickerwasserdynamik	▪ Begleitende Erhebungen von Brache-, extensivem Grünland- und Ackergras- Umbruch auf Grenzstandorte ▪ Optimierte N-Düngesteuerung
Anbau alternativer Sommerungen:	
Ziel: Reduktion des Maisanteils in der Fruchtfolge, bessere Trockenresistenz, weniger Wasserbedarf, geringeres Düngeniveau, Akzeptanz	▪ Sorghumhirsen, 20-36 cm Reihenabstand ▪ Sonnenblumen, Mais-Sonnenblumen Mischanbau, 75 cm Reihenabstand, 9 Pfl./m², Mischanbau in Streifen zu jeweils 4 Reihen
Anbau alternativer Kulturen zu Mais im Zweitfruchtanbau:	
Ziel: Reduktion des Maisanteils in der Fruchtfolge, bessere Trockenresistenz, weniger Wasserbedarf, geringeres Düngeniveau, Akzeptanz	▪ Grünroggen/ Getreide- GPS + Sorghumarten ▪ Getreide- GPS + Sonnenblumen ▪ Getreide GPS + Wiesenschwingel als Untersaat ▪ Sonnenblumen nach Frühkartoffeln ▪ Sorghum nach Frühkartoffeln ▪ Marktfruchtgetreide + Nachsaat Weidelgras für Biogasnutzung
Dauergrünland als Alternativ-Kultur zu Mais:	
Ziel: Umbruchvermeidung, Reduktion des Maisanteils in der Fruchtfolge, Akzeptanz	▪ Extensiv und intensiv geführtes Grünland

Untersuchte Parameter und Sortenwahl: Während der Vegetation wurden begleitend Bonituren zu Feldaufgang, Bestandesdichte, Bestandesentwicklung, Unkrautdruck und Krankheitsdruck durchgeführt. N_{min}-Untersuchungen erfolgten im Frühjahr, als spätes N_{min} im Mais und Sonnenblumen, als Nachernte-N_{min} sowie als Herbst-N_{min}. Ferner fanden Ertragserhebungen einschließlich der TS-Gehalte in den Pflanzen statt. In den Pflanzenproben wurden gleichzeitig die Nährstoffgehalte zur Berechnung des Nährstoffentzuges ermittelt. Ausgewählte Pflanzenproben wurden auf Inhaltsstoffe mittels einfacher und erweiterter Weender Analyse untersucht, um Aussagen über den Methangehalt treffen zu können. Die Mais- und Wintergetreidesorten wurden von jedem Betrieb individuell ausgewählt und ausgesät. Das Pflanzenschutzmanagement erfolgte betriebsüblich. Im Mais-Sonnenblumen Mischanbau, Sonnenblumen- Reinanbau, bei den Sorghumarten und bei den Untersaaten im Mais sowie im Getreide wurden den Betrieben kulturverträgliche Pflanzenschutzmittel empfohlen. Für Sonnenblumen, Sudangras und Zuckerhirse sowie für die Untersaaten wurde den Betrieben das Saatgut einheitlich zur Verfügung gestellt. Die Beerntung erfolgte unmittelbar vor der betriebsüblichen Ernte (Tab. 23).

Tab. 23: Übersicht der untersuchten Parameter

Untersuchte Parameter:	
N- Düngeplanung:	▪ Frühjahrs-N_{min} Wert,
	▪ ggf. später N_{min} Wert
	▪ Nitrachek exemplarisch
N-Erfolgskontrolle:	▪ Nachernte-N_{min} Wert
	▪ Herbst-N_{min} Wert
	▪ N-Flächenbilanz
	▪ Tiefenprofile und Bodenansprache einmalig zur Standortcharakterisierung
Pflanzen-untersuchungen:	▪ Bestandesbeurteilung zu ausgewählten Zeitpunkten: Feldaufgang, Bestandesdichte, BBCH-Stadien, Krankheitsbefall, Unkrautbesatz, Wuchshöhe
	▪ Ernteermittlungen in 3 Wiederholungen, Frisch- und Trockenmasseermittlung
	▪ Bestimmung der C und N Gehalte im Erntegut
	▪ Methangehalte: Exemplarisch wurde der Energiegehalt im Erntegut auf Basis der Weender Analyse bzw. der NIRS Analyse bestimmt.
Weitere:	▪ Deckungsbeitragsrechnungen wurden für alle Varianten auf Basis der Richtwertdeckungsbeiträge der LWK Hannover durchgeführt.

6.2 Standortspezifische Ergebnisse auf schweren Böden

Die Untersuchungen zur Optimierung des Energiepflanzenanbaues unter grundwasserschonender Bewirtschaftung erfolgten in sechs unterschiedlichen Leitgebieten innerhalb Niedersachsens. Als bedeutendste Kriterien für die Bewertung der Prüfvarianten hinsichtlich ihrer Wasserschutzleistung werden Herbst-N_{min}-Werte, Trockenmasseerträge und N-Flächenbilanzen für die Ergebnisdarstellung herangezogen.

6.2.1 Versuchsstandort „WGG Sehlde-Wellopquelle“ im Landkreis Hildesheim

Der Marktfrucht- und Milchviehbetrieb wirtschaftet vorwiegend auf guten Lössparabraunerden und hat 2006 als Betriebsgemeinschaft mit mehreren Landwirten eine Biogasanlage auf Basis von NawaRo und Gülle in Betrieb genommen. Als Substrat werden derzeit vorrangig Silomais und Grünroggen angebaut. Sie ersetzen z. T. die Zuckerrüben in der Fruchtfolge, verdrängen zum Teil Wintergerste und Raps und werden zum Teil auf neugepachteten Flächen angebaut.

Kenndaten des Versuchsstandortes, des Betriebes und der Biogasanlage:

Gebietskenndaten									
Region	Wasser-schutzgebiet	Klima					Boden		
			langj. Mittel	2007	2008	2009	Bodentyp	Bodenart	Boden-punkte
Landkreis Hildesheim	WGG Sehlde-Wellopquelle	Niederschlag	650 mm	1014 mm	718 mm	700 mm	Lößpara-braunerde mittel-tiefgr.-Auenböden	Ut (toniger Schluff)	80
		Temperatur	8,8°C	10,7°C	10,2°C	10,9 °C			

Betriebs- und Anlagenkenndaten					
Biogasanlage	Substrate	Betriebsgröße	Betriebstyp	Fruchtfolge des Betriebes	
				Fruchtfolge vor Biogas	derzeitige Energie-fruchtfolge
750 KW Gemeinschafts-anlage	Nawaro + Gülle (53% Mais, 28% Schweinegülle, 7% HTK, 12% Getreide-GPS+ Grassilage)	80 ha	ehem. Marktfrucht u. Milchvieh; durch Biogas Umstellung auf reinen Marktfruchtbetrieb	MA-WW und MA-ZR-WW	MA-WW und MA-ZR-WW

Ergebnisse zum Einfluss einer langjährigen Wirtschaftsdüngung:

Für eine grundwasserschonende Bewirtschaftung ist eine Differenzierung der Flächen nach deren Zufuhr an Wirtschaftsdünger maßgeblich. D. h. bei grundwasserschonender Bewirtschaftung sollte zwischen Standorten, die regelmäßig mit organischem Dünger gedüngt werden und denen, die nie bzw. nur sporadisch eine Wirtschaftsdüngerzufuhr erhalten, unterschieden werden.

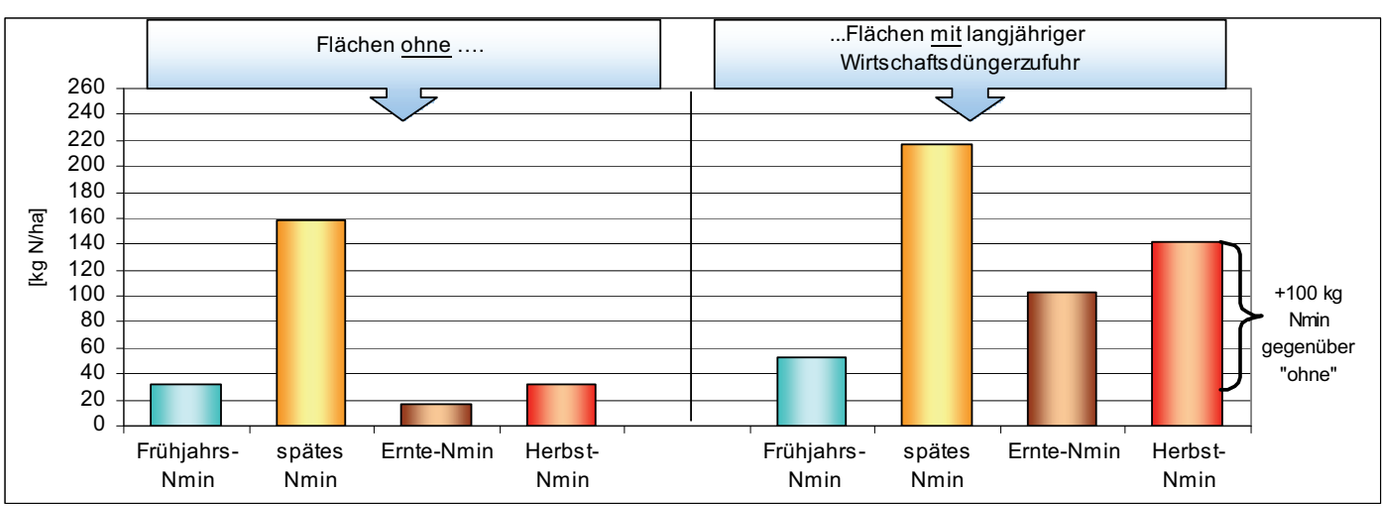


Abb. 21: N_{min}–Gehalte auf Maisflächen ohne und mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr zu unterschiedlichen Probenahmeterminen im WGG Sehlde-Wellopquelle, im Mittel der Jahre 2007 und 2008

Zweijährige N_{min}-Erhebungen im Jahresverlauf in der Abb. 21 verdeutlichen, dass durch langjährige Wirtschaftsdüngung, hier vorwiegend durch Rindergülle, das Niveau der N_{min}-Gehalte im gesamten Jahresverlauf deutlich ansteigt. Das späte N_{min} auf der Fläche ohne langjährige Wirtschaftsdüngung entspricht der N-Düngungshöhe zum Mais, während auf der Fläche mit langjähriger Wirtschaftsdüngung bereits mineralisierter Stickstoff mit erfasst wurde.

Wiederholte Gärrestdüngung ist ähnlich wie Gülledüngung zu bewerten und führt ebenfalls längerfristig zu einem Anstieg des Mineralisationspotenzials von Standorten. Durch die Substratrückfuhr in Form von Gärresten werden in Zukunft auch Flächen, die derzeit ein geringes Mineralisationspotential aufweisen, wie z. B. Marktfruchtregionen, davon betroffen sein.

Bei der Düngeplanung sollte daher, vor allem auf ausreichend feuchten und nährstoffreichen Standorten, die N- Wirkung des Gärrestes mit einem MDÄ in Höhe von 80 % angerechnet werden, um die N- Nachlieferung aus der Bodensubstanz annähernd zu berücksichtigen. Zusätzlich müssen weitere grundwasserschonende Maßnahmen wie Zwischenfruchtanbau ohne Herbstdüngung durchgeführt werden, um die hohen Ernte- und Herbst-N_{min}-Werte zu reduzieren. Diese lagen auf der langjährig organisch gedüngten Fläche bei 100 kg N/ha und mehr, während sich auf der mineralischen Vergleichsfläche Werte unter 50 kg N/ha einstellten.

Ergebnisse auf Standorten ohne langjährige organische Düngung:

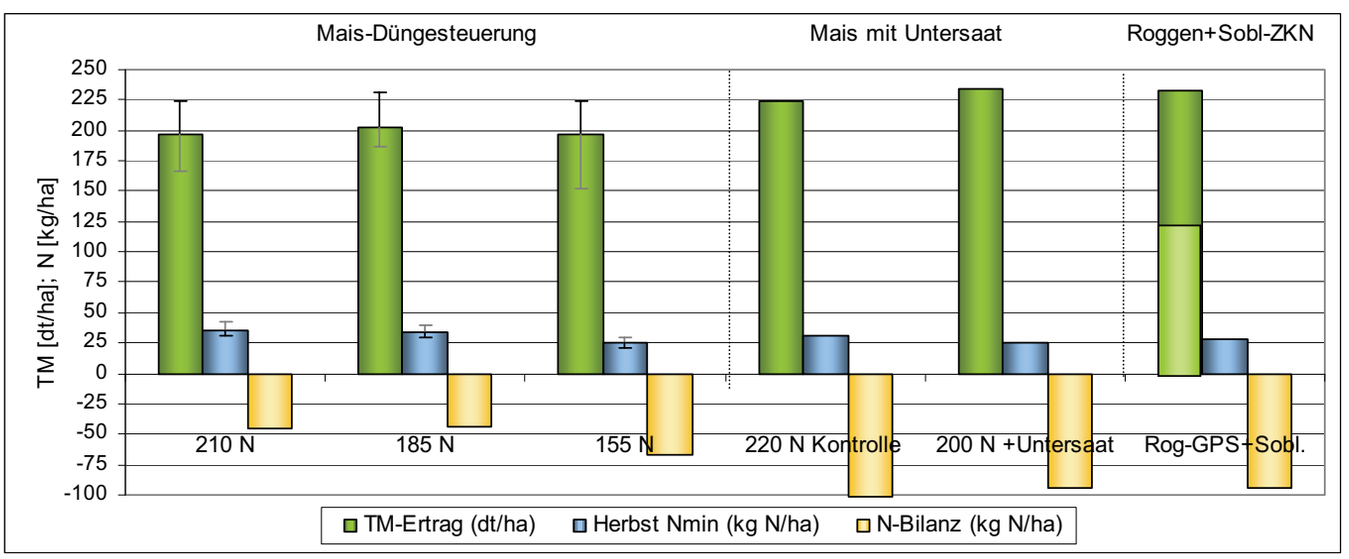


Abb. 22: Trockenmasseerträge, Herbst-N_{min} und N-Bilanzen der Prüfvarianten Mais mit Düngesteuerung im Mittel der Jahre 2007-2009 sowie Mais mit Untersaat und ZKN mit Wi-Roggen-GPS+Sonnenblumen 2007 am Standort „WGG Sehlde-Wellopquelle“ ohne langjährige Wirtschaftsdüngerzufuhr

Mais–Düngesteuerung: In der Sollwertvariante (180 kg N/ha incl. $N_{min,}$) wurde mit 203 dt TM/ha der höchste Maisertrag erreicht. Im dreijährigen Mittel liegt der Ertragsunterschied der drei N-Düngestufen bei nur 0,8 dt TM/ha. Die niedrigste N-Stufe zeigte die niedrigste N-Bilanz (-66 kg N/ha) auf. Auf dem vorwiegend mineralisch gedüngten Standort wurden niedrige Herbst-N_{min} Werte (26 und 36 kg N_{min}/ha) gemessen, wobei mit zunehmender N-Düngung auch die Herbst-N_{min}-Werte ansteigen.

Mais mit Grasuntersaat: Die frühe Rotschwingel-Untersaat (als Drillsaat) sowie die spätere Weidelgrasuntersaat (als Breitsaat) beeinflussten den Trockenmasseertrag positiv. Es konnte 10 dt/ha Mehrertrag erzielt werden (235 dt TM/ha). Die N-Bilanz war jeweils stark negativ. Die Herbst-N_{min} Werte lagen auf niedrigem Niveau, und konnten durch die Untersaat weiter gesenkt werden.

Zweikultur-Nutzung: Entscheidend in der Zweikultur-Nutzung ist der Ganzjahres-Ertrag. Der Winterroggen-GPS auf dem Standort Sehlde erzielte 130 dt TM/ha, während die im Juni ausgesäten Sonnenblumen noch einen Ertrag von 104 dt TM/ha erreichten. Der Ganzjahresertrag aus Wi-Roggen und Sonnenblumen lag somit bei 233 dt TM/ha und verglichen mit reiner Mais-Hauptfruchtnutzung auf gleicher Ertragshöhe. Parallel

wurde 2007 Sudangras (Sorte Susu) in Zweitfruchtstellung getestet, wegen der geringen Aufwuchsleistung erfolgte jedoch keine Beerntung.

Ergebnisse auf Standorten mit langjähriger organischer Düngung:

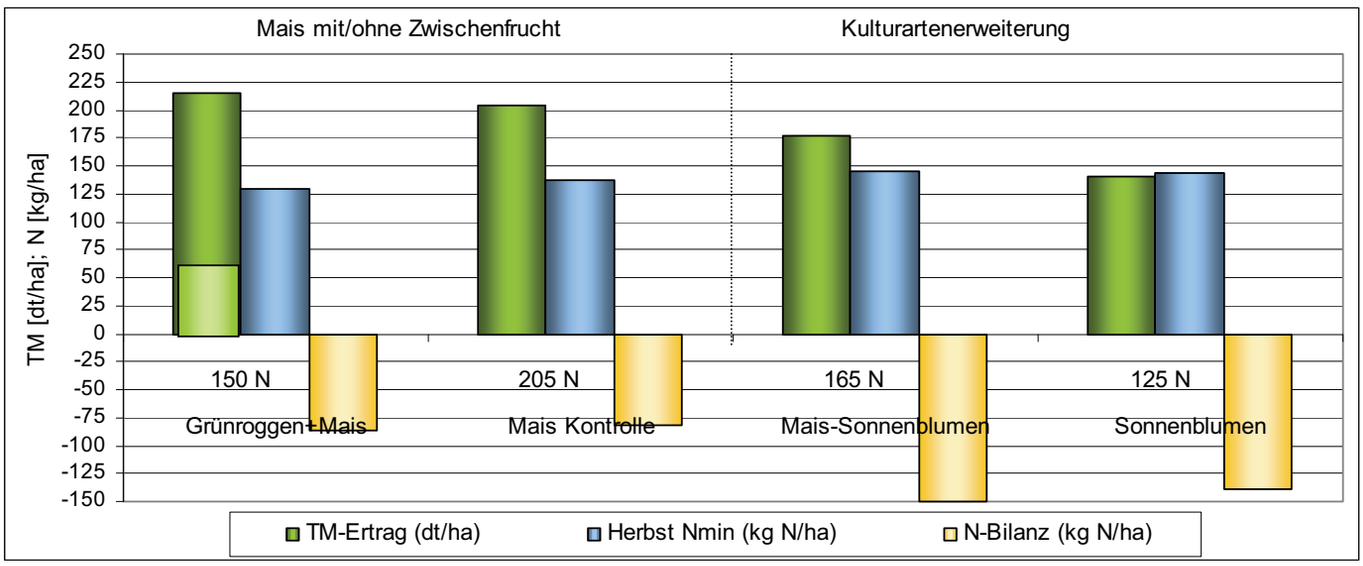


Abb. 23: Trockenmasseertrag, Herbst-N_{min} und N-Flächenbilanz der Prüfvarianten Grünroggen plus Mais 2009 sowie Mais Kontrolle, Mais-Sonnenblumen Mischanbau und Sonnenblumen Reinanbau im Mittel der Jahre 2007+2008 am Standort „WGG Sehlde-Wellopquelle“ mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr

Die Fläche mit den Prüfvarianten Grünroggen als Zwischenfrucht und Hauptfrucht Mais, Mais-Sonnenblumen Mischanbau, Sonnenblumen Reinanbau und Mais Solo wurde langjährig mit Rindergülle gedüngt. In der Abb. 23 wird deutlich, dass durch die langjährige organische Düngung das Herbst N_{min}- Niveau mit Werten um 100 kg N/ha deutlich erhöht ist.

Zwischenfrucht Grünroggen vor Hauptfrucht Mais: Der Jahresertrag von Grünroggen plus Mais lag in 2009 bei 215 dt TM/ha. Der am 01.05.09 geerntete Grünroggen erzielte 65 dt TM/ha und der anschließend am 15.05.09 ausgelegte Mais erzielte aufgrund fehlender Niederschläge im April, Mai und ab Mitte August nur 150 dt TM/ha. Der mangelnde N- Entzug drückte sich trotz reduzierter Düngung in hohen Herbst-N_{min}-Werten von 125 kg N/ha aus.

Sonnenblumen Reinanbau und Mais-Sonnenblumen Mischanbau: Im Mais- Sonnenblumen Mischanbau wurden Erträge von 177 dt TM/ha und im Sonnenblumen-Hauptfruchtanbau von 140 dt TM/ha erzielt. Das Ertragsniveau von Mais im Hauptfruchtanbau (203 dt TM/ha) konnte nicht erreicht werden. Im Mais-Sonnenblumen-Mischanbau war der Mais der ertragsstärker als die Sonnenblume. Der Mischungspartner Mais erzielte Trockenmasseerträge von 199 dt TM/ha (bei 29 % TS). Der Mischungspartner Sonnenblume erzielte Erträge von 140 dt TM/ha, mit einem recht niedrigen TS-Gehalt von 21,5 %. Gute Standortbedingungen, wie sie im Landkreis Hildesheim gegeben sind, wirken sich deutlich positiv auf den Sonnenblumenertrag aus. Die Prüfvarianten zeigten durchgängig negative N-Bilanzen.

Interessant ist die Betrachtung der Ernte-N_{min} Werte. Durch Sonnenblumen im Reinanbau wurde das Ernte-N_{min} (44 kg N_{min}/ha) deutlich gegenüber dem Maisanbau (110 kg N_{min}/ha) und dem Sortengemenge (117 kg N_{min}/ha) reduziert. Im Herbst-N_{min} hingegen konnte der deutliche Unterschied zwischen den Kulturen nicht mehr nachgewiesen werden.

Fazit für den Standort im LK Hildesheim:

- Langjährige organische Düngung erhöht den Herbst-N_{min}-Wert wesentlich gegenüber mineralisch gedüngten Flächen. Dies ist auch bei Gärrestdüngung zu erwarten. Das erhöhte Mineralisationspotenzial dieser Standorte muss bei der Düngeplanung berücksichtigt werden.

- Auf organisch gedüngten auswaschungsgefährdeten Standorten sollte mit einem Mineraldüngeäquivalent (MDÄ) von 80 % gerechnet werden. Eine Teilung der N-Düngung in mindestens 2 Gaben ist sinnvoll: 1. N-Düngung Gärrestdüngung, 2. N-Düngung mineralische Ergänzungsdüngung zum 6-Blattstadium des Maises.
- Beim Anbau von Sommerungen werden frühe Untersaaten, die unmittelbar vor bzw. nach der Maissaat zwischen den Maisreihen gesät werden, empfohlen. Beim Einsatz einer Saatbettkombination empfiehlt sich die Untersaat-Aussaat vor der Maisaussaat, da sich die Aussaatkosten lediglich um die Saatgutkosten erhöhen.
- Als Zwischenfrucht und Substratlieferant ist Grünroggen gegenüber einer späten Untersaat vorzuziehen, da mit dem Grünroggen sicherere Erträge erzielt werden, als mit den Untersaaten. Auf Standorten mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr sollte jedoch auf eine Gärrestgabe im Herbst zu Grünroggen verzichtet werden.
- Eine relativ frühe Grünroggenernte (bis spätestens Mitte Mai) ist entscheidend, um hohe Erträge im nachfolgenden Maisanbau zu erzielen. Die Sortenwahl und N-Düngung muss entsprechend dem Aussaattermin angepasst werden, um niedrige Herbst-N_{min}-Werte zu erzielen.
- Kulturartenerweitung: Zur Verbesserung der Humusbilanz und zur Reduzierung der Nachernte-N_{min}-Werte kann Roggen gefolgt von Sonnenblumen, auch im Zweikultur-Nutzungssystem, empfohlen werden. Das Ertragsniveau von Mais im Hauptfruchtanbau wird dabei jedoch nicht erzielt.
- Bei Sonnenblumen ist das Nacherntemangement zur Sicherung niedriger Herbst-N_{min}-Werte entscheidend. Bodenruhe oder eine reduzierte Bodenbearbeitung nach der Ernte wird empfohlen.
- Sorghum zeigte in den Versuchen keine befriedigenden Erträge und zu niedrige Trockensubstanzgehalte. Mehr Anbauerfahrung, sowie Züchtungsfortschritte zur Erhöhung der Ertragsstabilität und der TS- Gehalte sind erforderlich.

Bild 6: LK Hildesheim, Mais ohne und mit Untersaat, 9/2007

Bild 7: LK Hildesheim, Maisuntersaat Rotschwingel als Zwischenfrucht, 4/2008

Bild 8: LK Hildesheim, Mais-Sonnenblumen Mischanbau, 9/2007

6.2.2 Standort „Leinetal“ im Landkreis Göttingen

Der Marktfruchtbetrieb bewirtschaftet gute Lößböden und betreibt seit 2003 eine eigene Biogasanlage auf Basis von NawaRos. Mais und Grünroggen dominieren und haben Zuckerrüben und Marktfruchtgetreide in der Fruchtfolge ersetzt. Seit der Novellierung des EEG 2009 wird auch Gülle in der Anlage vergoren.

Kenndaten des Versuchsstandortes, des Betriebes und der Biogasanlage:

Gebietskenndaten								
Region	Wasser-schutzgebiet	Klima				Boden		
			langj. Mittel	2007	2008	Bodentyp	Bodenart	Boden-punkte
Landkreis Göttingen	nicht im WSG gelegen	Niederschlag	644 mm	1013 mm	561 mm	Lößparabraunerden	Ut (toniger Schluff)	80
		Temperatur	9,4°C	10,1°C	9,8°C			

Betriebs- und Anlagenkenndaten					
Biogasanlage	Substrate	Betriebsgröße	Betriebstyp	Fruchtfolge des Betriebes	
				Fruchtfolge vor Biogas	derzeitige Energie-fruchtfolge
110 KW, Einzelanlage	100% Nawaro (78% Mais, 22% Grünroggen, Getreide-GPS). Seit 2009 auch 30% Gülle	220 ha	Marktfrucht	Z-Rüben-WW-WW	MA-MA-WW

Ergebnisse:

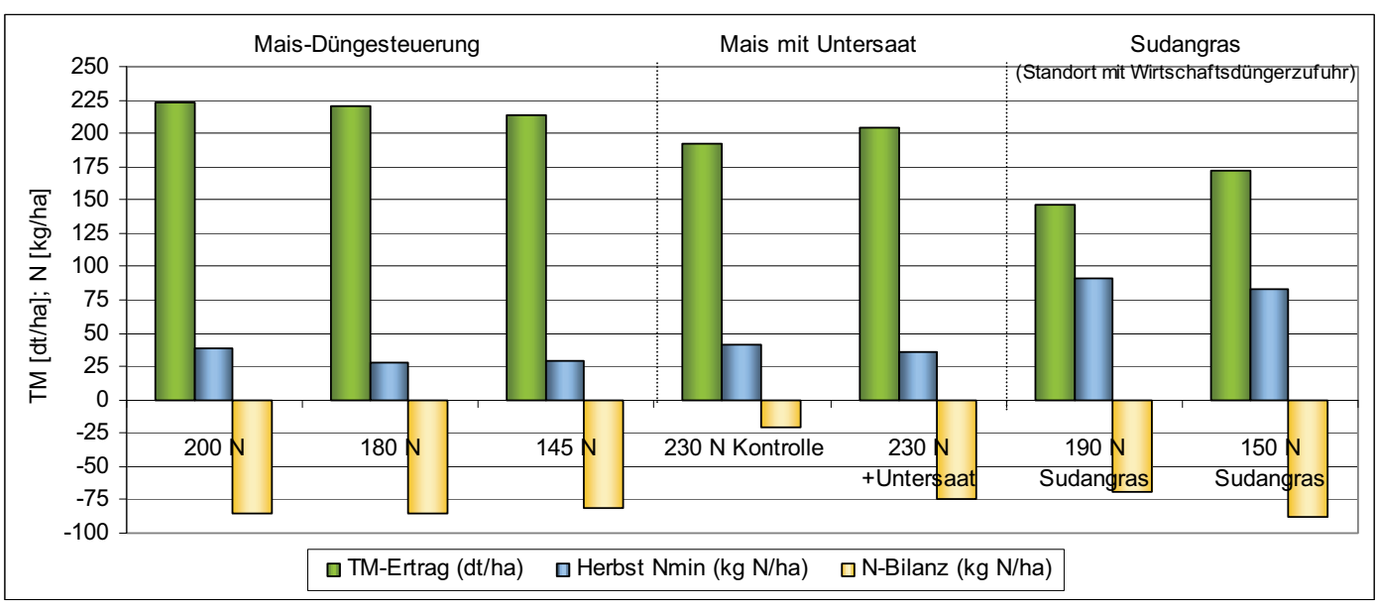


Abb. 24: Trockenmasseerträge, Herbst-N_{min} und N-Flächenbilanzen aller Prüfvarianten im Mittel der Jahre 2007 und 2008 am Standort „Leinetal“

Mais–Düngesteuerung: Zweijährige Ergebnisse zeigen beim Silomais ein sehr hohes Ertragsniveau. In der betriebsüblichen und der sollwertorientierten N-Düngestufe wurden jeweils rund 222 dt TM/ha geerntet. Die grundwasserschonende N-Düngestufe lag 8 dt TM/ha darunter (214 dt TM/ha). Die drei N-Stufen zeigten ähnlich negative N-Bilanzen (–81 bis –86 kg N/ha). Die Herbst-N_{min}-Werte der hohen N-Stufe lagen bei 38 kg N_{min}/ha, die niedrige und mittlere N-Stufe bei 25 kg N_{min}/ha. Auch zeigt sich an den moderaten Werten, das der klassische Marktfrucht-Standort erst seit kurzem organisch gedüngt wird.

Mais mit Untersaat: Die als Breitsaat ausgebrachte frühe Untersaat (Rotschwingel) sowie späte Untersaat (Weidelgrasgemenge) konnten durch die hohen Niederschläge in 2007 relativ gut unter dem Mais auflaufen und führten zu keiner Beeinträchtigung der Mais – Trockenmasseerträge (192 und 204 dt TM/ha). Die N-Bilanzen wurden durch die Untersaaten weiter gesenkt. Der Herbst-N_{min} Werte lagen bei Mais mit Untersaat mit -4 kg N_{min}/ha nur geringfügig niedriger. Der positive Effekt auf den N_{min}-Wert kann auf diesem Standort aufgrund der folgenden Herbstbestellung nicht gezeigt werden, wird aber am Standort im LK Wittmund bei Nachnutzung durch eine Sommerung deutlich gemacht (Abb. 31).

Sudangras: Die für Sorghumarten frühe Drillsaat der Sorte Susu am 28.04.2007, führte zu ähnlich hohen TM-Erträgen wie beim Mais. Mit einer grundwasserschonenden N-Düngungshöhe von 150 kg N/ha wurden 172 dt TM/ha erzielt und somit ein um 26 dt TM/ha höheres Ertragsniveau gegenüber einer N-Düngung in Höhe von 190 kg N/ha. Der Trockensubstanzgehalt war mit 22% jedoch niedrig. Sudangras zeigt ein hohes N-Entzugspotenzial, was sich auch in den deutlich negativen N-Bilanzen (–69 bis –88 kg N/ha) ausdrückt. Die reduzierte N-Düngung führte zu einem tendenziell geringeren Herbst-N_{min}. Das insgesamt hohe N_{min} Nieveau an diesem Standort ist auf die im Gegensatz zu den anderen Flächen langjährige Wirtschaftsdüngerzufuhr zurückzuführen.

Fazit für den Standort im LK Göttingen:

- Auf den wasser- und nährstoffreichen Lößstandorten am Standort Leinetal wird mit einer N-Düngehöhe von 180 kg N/ha incl. N_{min} zu Mais im Hauptfruchtanbau das Ertragsoptimum bei niedrigen Herbst-N_{min}-Werten erreicht. Höhere Düngeniveaus werden nicht mehr in zusätzlichen Ertrag umgesetzt. Vielmehr waren die Standortgegebenheiten entscheidend für die Ertragsbildung.
- Bei mehrjährigem Maisanbau eignen sich auf diesen Standorten vor allem frühe Untersaaten, die unmittelbar vor bzw. nach der Maissaat zwischen den Maisreihen gesät werden. Sie fördern die Befahrbarkeit zur Ernte, dienen zum Schutz gegen Erosion, zur Humusmehrung sowie zur Minimierung der Nitratverlagerung während der Sickerwasserperiode.
- Als Zwischenfrucht mit Schnittnutzung ist Grünroggen gegenüber einer späten Untersaat in diesem Gebiet vorzuziehen.
- Ergänzend zum Mais bietet sich auf diesen guten Standorten der Anbau von Sorghumarten an. Pionierarbeit bei den Pflanzenbau- und Pflanzenschutzmaßnahmen sowie durch Züchtung klimabeständigerer Sorten mit höheren Trockensubstanzgehalten ist jedoch erforderlich.

Bild 9: LK Göttingen, Sudangras Ende 8/2007 bildet an diesem Standort ertragsstarke Bestände

Bild 10: LK Göttingen, Sudangras 9/2007 (Sorte Susu)

6.2.3 Versuchsstandort im Landkreis Osnabrück „WSG Gattberg-Nettetal“

Der Mischbetrieb betreibt seit 2003 eine Kofermentationsanlage mit Beimischung geringer Maissilageanteile und wirtschaftet auf mittleren Pseudogley-Parabraunerden.

Kenndaten des Versuchsstandortes, des Betriebes und der Biogasanlage:

Gebietskenndaten								
Region	Wasser-schutzgebiet	Klima				Boden		
			langj. Mittel	2007	2008	Bodentyp	Bodenart	Boden-punkte
Landkreis Osnabrück	WGG Gattberg-Nettetal	Niederschlag	769 mm	1211mm	888 mm	Pseudogley-Parabraunerde	Sl (sandiger Lehm)	55
		Temperatur	9,1 °C	10,2 °C	9,7 °C			

Betriebs- und Anlagenkenndaten					
Biogasanlage	Substrate	Betriebsgröße	Betriebstyp	Fruchtfolge des Betriebes	
				Fruchtfolge vor Biogas	derzeitige Energie-fruchtfolge
360 kW Kofermentationsanlage	Fettabscheiderabfälle + Gülle+ HTK + Mais	145 ha	Mischbetrieb	MA-WW-WG	WRaps-WW-WG und MA-WW-WG

Ergebnisse:

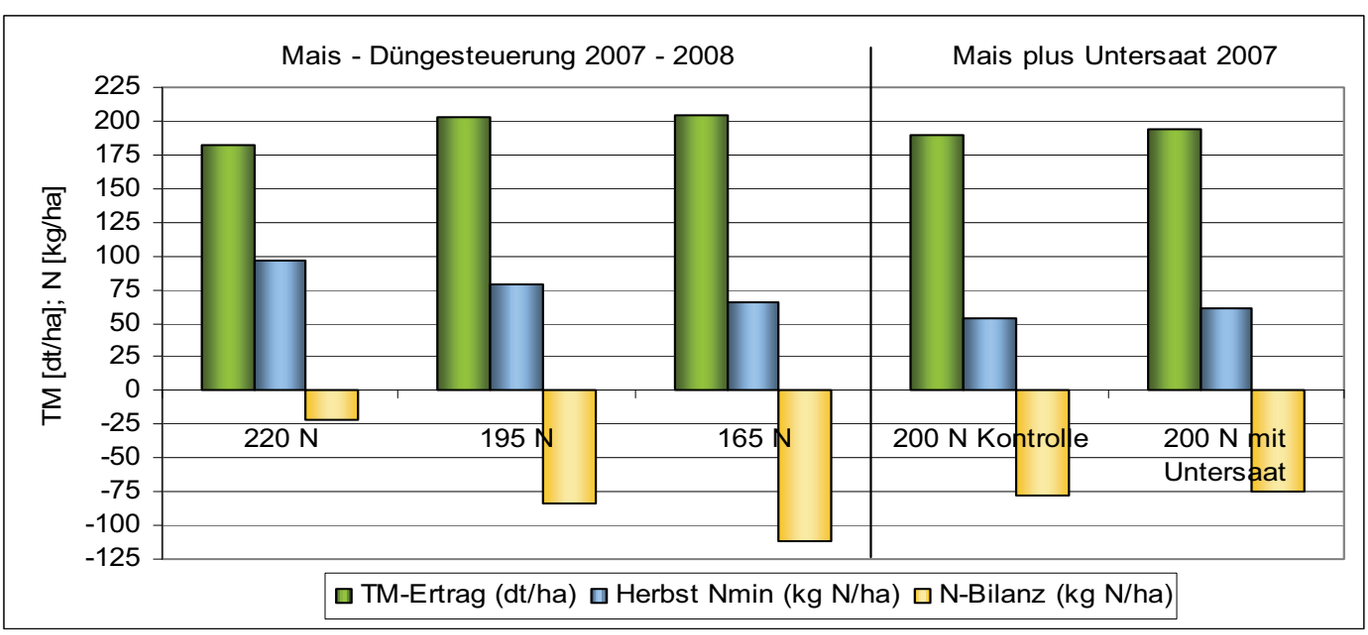


Abb. 25: Trockenmasseertrag, Herbst-N_{min} und N-Flächenbilanz der Prüfvarianten im „WSG Gattberg-Nettetal“ im Mittel der Jahre 2007 bis 2008

Mais–Düngesteuerung: Auf dem Standort im Landkreis Osnabrück wurden mit der niedrigen N- Stufe (165 kg N/ha) die höchsten TM-Erträge bei gleichzeitig niedrigsten N- Salden und Herbst-N_{min}-Werten erzielt. Durch die Düngereduktion konnte ohne Ertragsminderung der Herbst-N_{min} um 30 kg N/ha gesenkt werden.

Mais mit Untersaat: Die frühe Rotschwingel- Untersaat und die spätere Breitsaat des Weidelgrases hatten keinen negativen Einfluss auf den Trockenmasseertrag. Die N-Bilanz ist bei beiden Prüfvarianten auf relativ gleichem Niveau (~-75 kg N/ha) negativ. Durch wendende Bodenbearbeitung und Bestellung mit einer Winterung kam der erwartete positive Effekt der Untersaat im Herbst-N_{min} nicht zur Geltung.

Fazit für den Standort im LK Osnabrück:

- Mit einer N-Düngehöhe von 165 kg N/ha zum Silomais wird bereits das Ertragsoptimum erreicht und die Herbst-N_{min}-Werte deutlich gesenkt.
- Zu den Sommerungen werden auf den langjährig organisch gedüngten sowie auf hängigen Standorten frühe Untersaaten zur N- Fixierung und Verbesserung der Befahrbarkeit empfohlen.

Bild 11: LK Osnabrück, Wiesenschwingel-Untersaat im Mais, 9/2007

Bild 12: LK Osnabrück, Rotschwingel-Untersaat im Mais, 9/2007

Bild 13: Grasuntersaat mit Bodenanhang am Wurzelballen

6.3 Standortspezifische Ergebnisse auf sandigen Böden

6.3.1 Versuchsstandort im Landkreis Gifhorn „WGG Eischott / Westerbeck“

Der Marktfrucht- und Futterbaubetrieb mit Mutterkuhhaltung ist seit 2007 Substratlieferant für eine große NawaRo basierte Biogasanlage in der Region. Er wirtschaftet auf mittleren Sandböden mit Abwasserverregnung und hat den Körnermais durch Silomais ersetzt.

Kenndaten des Versuchsstandortes, des Betriebes und der Biogasanlage:

Gebietskenndaten									
Region	Wasserschutzgebiet	Klima					Boden		
			langj. Mittel	2007	2008	2009	Bodentyp	Bodenart	Bodenpunkte
Landkreis Gifhorn	WV Vorsfelde und Gemeinde Westerbeck	Niederschlag	616 mm	795 mm	721 mm	667 mm	Sandböden	Su (schluffiger Sand)	50
		Temperatur	9,9 °C	10,8 °C	10,7 °C	10,5 °C			

Betriebs- und Anlagenkenndaten					
Biogasanlage	Substrate	Betriebsgröße	Betriebstyp	Fruchtfolge des Betriebes	
				Fruchtfolge vor Biogas	derzeitige Energiefruchtfolge
2 MW Biogasanlage Substratlieferant	100 % Nawaro	280 ha	Marktfrucht - Mutterkuhhaltung	MA-WR-WG; ZR-WR-WG; Grünland	statt Körnermais-Energiemais

Ergebnisse

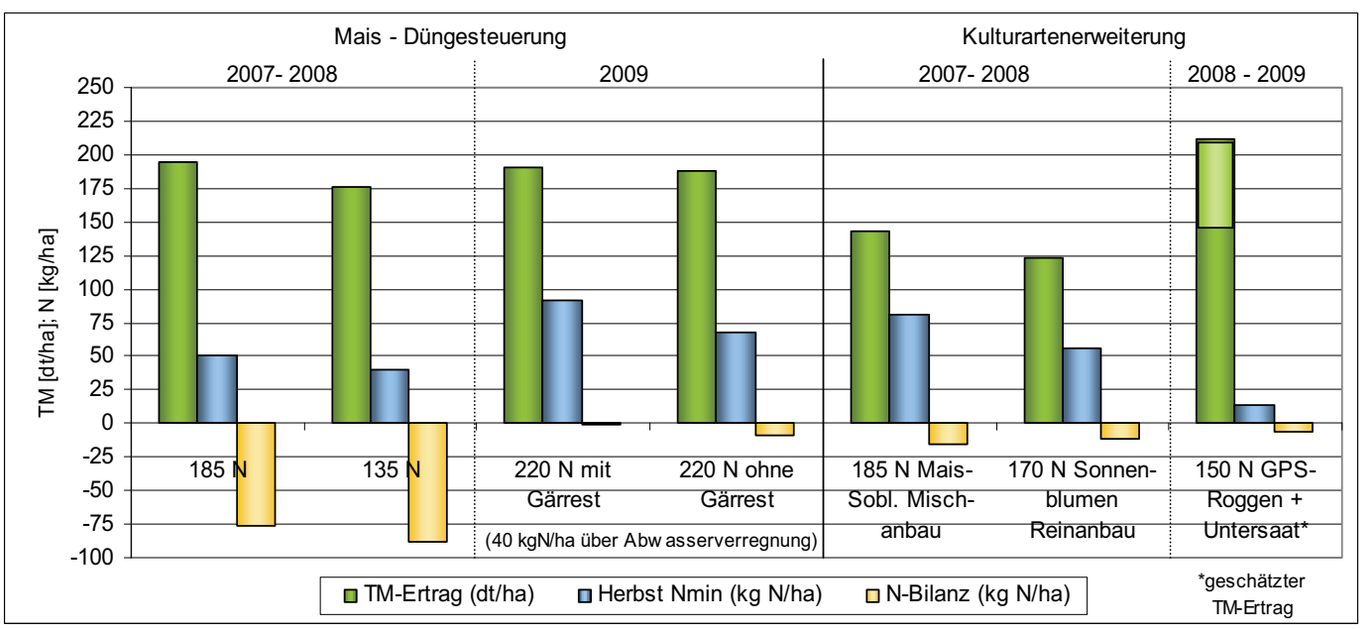


Abb. 26: Trockenmasseertrag, Herbst-N_{min} und N-Flächenbilanz der Prüfvarianten Mais–Düngesteuerung im Mittel der Jahre 2007 bis 2008 und 2009, Mais–Sonnenblumen-Mischanbau, Sonnenblumen Reinanbau sowie Untersaat Wiesenschwingel im Winterroggen im zweijährigen Mittel im „WGG Eischott / Westerbeck

Mais–Düngesteuerung: An diesem Standort im WSG Eischott/ Westerbeck wurden 2007 und 2008 unterschiedliche N-Düngestufen getestet, während in 2009 ein Schwerpunkt auf die Düngewirkung von Gärrest zu Mais gelegt wurde. Im Mittel der zweijährigen Erhebungen wurde bei Sollwertdüngung ein Biomasseertrag um ~19 dt

TM/ha höherer Ertrag gegenüber der niedrigen N-Stufe erzielt (195 dt gegenüber 176 TM/ha). Der Herbst-N_{min} konnte in der reduzierten N-Stufe um 10 kg N/ha gesenkt werden (auf 40 kg N_{min}/ha).

2009 wurde eine Gärrestdüngung mit einer rein mineralischen N-Düngegabe verglichen. Die Gärrestdüngung (30 m³ mit 69 kg N/ha), erfolgte unmittelbar vor der Maisbestellung mittels Schleppschlauchausbringung. Zum 4-Blattstadium erfolgte die rein mineralische N-Düngung. Über die Abwasserverregnung wurden beiden Prüfvarianten zusätzlich 40 kg N/ha zugeführt.

Beide Prüfvarianten erzielten gleich hohe Biomasseerträge von 190 dt TM/ha. Durch die Abwasserverregnung liegt das Niveau der Herbst-N_{min}-Werte insgesamt hoch. Die Gärrestgabe führte gegenüber der mineralischen N-Düngung zu 25 kg N_{min}/ha höheren Herbst-N_{min} Werten im ersten Jahr. Zur Festigung der ersten Ergebnisse empfiehlt sich eine mehrjährige Fortsetzung der Versuchsreihe.

Mais-Sonnenblumen-Mischanbau: Im Mischanbau konnte ein Ertragsniveau von 143 dt TM/ha erzielt werden. Der Ertragsanteil der Sonnenblumen war mit ~112 dt TM/ha geringer als der Ertragsanteil vom Mais (~172 dt /ha). Die Nachernte N_{min}-Werte lagen auf sehr geringem Niveau (28 kg N/ha) stiegen aber zum Herbst noch deutlich an (N_{min}-Wert 81 kg N_{min}/ha), was die Notwendigkeit eines Nacherntemanagements zu Sonnenblumen verdeutlicht (Abb. 27).

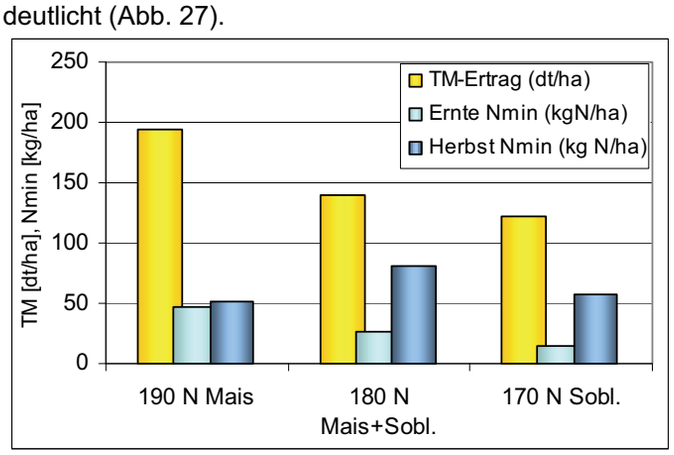


Abb. 27: Vergleich von Ertrag und N_{min} von Mais, Mais- Sonnenblumengemenge und Sonnenblumen in Hauptfruchtstellung

Sonnenblumenanbau: Der Sonnenblumen Reinanbau wies einen Biomasseertrag von 123 dt TM/ha auf. Die für Sonnenblume hohe N-Düngung war Folge der einheitlichen Flächendüngung. Im Wuchsverhalten der verschiedenen Testsorten gab es deutliche Unterschiede in der Standfestigkeit und im Krankheitsanfall. Auch hier ist der Nachernte-N_{min} mit 17 kg N/ha sehr gering gewesen, stieg aber bis zum Herbst noch auf 57 kg N_{min}/ha an, was den Bedarf eines Nacherntemangements unterstreicht.

Winterroggen-GPS mit Grasuntersaat: Die Beprobung von Winterroggen- Ganzpflanzensilage (GPS) erfolgte zum Zeitpunkt der Teigreife. Mit Roggen-GPS (146 dt TM/ha) konnten hohe Biomasseerträge bei gleichzeitig negativen N-Bilanzen erzielt werden. Parallel wurde auch Triticale-GPS untersucht, die jedoch mit 84 dt TM/ha deutlich niedrigere Erträge erzielte und den zugeführten Stickstoff nicht ausnutzen konnte. Die Aussaat von Wiesenschwingel erfolgte im Herbst als Untersaat im Winterroggen und entwickelte sich positiv, ohne die Hauptfrucht negativ zu beeinflussen. Der äußerst niedrige Herbst-N_{min}–Wert von 14 kg N_{min}/ha zum Zeitpunkt der Sickerwasserneubildung zeigt das hohe Grundwasserschutzpotential von Winterroggen in Kombination mit Feldgras auf. Wird alternativ eine Körnernutzung des Roggens vorgesehen, so sind durch die verkürzte Vegetationszeit für die Grasuntersaat im Herbst nur noch Erträge von ~ 25 dt/ha zu erwarten, die keine kostendeckende Ernte ermöglichen. Hier bietet sich für den Betrieb mit Mutterkuhhaltung das Abweiden an.

Fazit für den Standort im LK Gifhorn:

- Mit dem Zweikultur-Nutzungssystem einer Roggen-GPS Erstkultur gefolgt von als Untersaat eingebrachtem Feldgras als Zweitkultur konnten die höchsten Trockenmasseerträge bei gleichzeitig sehr niedrigen Herbst N_{min}-Werten am Standort erzielt werden. Bei der Vergärung ist jedoch zu berücksichtigen, das Roggen-GPS und Feldgras einen hohen Rühraufwand erfordern, um Schwimmschichten zu vermeiden.
- Der Mais-Sonnenblumen Mischanbau erzielte gegenüber Mais deutlich niedrigere TM-Erträge. Der Mischanbau stellte sich als schwierig in der Umsetzung heraus, da u. a. die Aussaattechnik, das Düngeniveau und der Pflanzenschutzbedarf der Kulturen unterschiedlich sind.
- Auch im Hauptfruchtanbau von Sonnenblumen konnte das Ertragsniveau von Mais nicht erreicht werden. Sonnenblumen bieten hingegen Potential als Ergänzungsanbau zum Mais, z.B. um durch die Fruchtfolgeaufweitung den Maiszünslerbefall einzuschränken. Im Ernte-N_{min} liefert sie deutlich niedrigere Werte gegenüber Mais. Um ein Ansteigen der Mineralisation bis zum Herbst zu vermeiden, sollten ergänzende Maßnahmen wie Untersaaten oder ein gezieltes Nacherntemanagement geprüft werden.

- Die Sonnenblumen sollten vorwiegend auf den Standorten ohne Abwasserverregnung angebaut werden, da durch die „Kopfdüngung“ die Gefahr besteht, dass die Sonnenblume zu große Körbe ausbildet und ins Lager geht.
- Das Gebiet eignet sich für den Testanbau von Sorghumarten, vor allem, um den zunehmenden Insektenbefall durch aufgelockerte Fruchtfolgen zu reduzieren.
- Mais bietet bei Sollwertdüngung hohe Erträge. Die Herbst-N_{min}-Werte lassen sich durch eine reduzierte Düngung mindern, wobei Ertragsverluste einhergehen.
- In dieser Region mit geringem organischem N-Anfall aus Wirtschaftsdüngern sollte der Gärrest zur Grundversorgung bis max. 100 kg N eingesetzt werden und die Nachdüngung (Bedarfsermittlung durch spätes N_{min}) als mineralische N-Gabe ergänzt werden, um so hohe Herbst-N_{min}-Werte zu vermeiden.
- Um auf Standorten mit Abwasserverregnung und Gärresteinsatz hohe Herbst-N_{min}-Werte zu reduzieren bietet es sich an, frühe Maissorten mit der Folgefrucht Wi-Roggen anzubauen, um den pflanzenverfügbaren Stickstoff zu binden bzw. zu verwerten.

Bild 14: LK Gifhorn, Sonnenblumen Reinanbau, 9/2008

Bild 15: LK Gifhorn, Wiesenschwingel-Untersaat in Wi.-Roggen, 3/2008

Bild 16: LK Gifhorn, Wiesenschwingel-Untersaat nach Marktfruchtgetreideernte, 9/2008

6.3.2 Versuchsstandort im Landkreis Hannover „WSG Fuhrberger Feld“

Der Marktfruchtbetrieb mit Schwerpunkt Kartoffelbau ist seit 2008 Substratlieferant für die nahe gelegene Biogasanlage und baut auf einem Teil seiner leichten Sandböden Energiepflanzen an. Winterroggen und Sommerhafer wurde durch den neu hinzugekommenen Energiemais substituiert. 2009 erfolgte aufgrund der Trockenheit eine Beregnung zum Mais.

Kenndaten des Versuchsstandortes, des Betriebes und der Biogasanlage:

Gebietskenndaten									
Region	Wasser-schutzgebiet	Klima					Boden		
			langj. Mittel	2007	2008	2009	Bodentyp	Bodenart	Boden-punkte
Landkreis Hannover	WSG Fuhrberger Feld	Niederschlag	597 mm	731mm	411mm	414 mm	Gley aus Talsand	mS (mittlerer Sand)	35
		Temperatur	9,9 °C						

Betriebs- und Anlagenkenndaten					
Biogasanlage	Substrate	Betriebsgröße	Betriebstyp	Fruchtfolge des Betriebes	
				Fruchtfolge vor Biogas	derzeitige Energie-fruchtfolge
750 KW Biogasanlage Rohstofflieferant	Nawaro + Stallmist (66% Mais, 28% Grassilage, 6% Stallmist)	80 ha	Marktfrucht, Kartoffeln mit Beregnung	WRaps-Kart.-WR-WG	MA-WR-WRaps-WG-Kart.

Ergebnisse

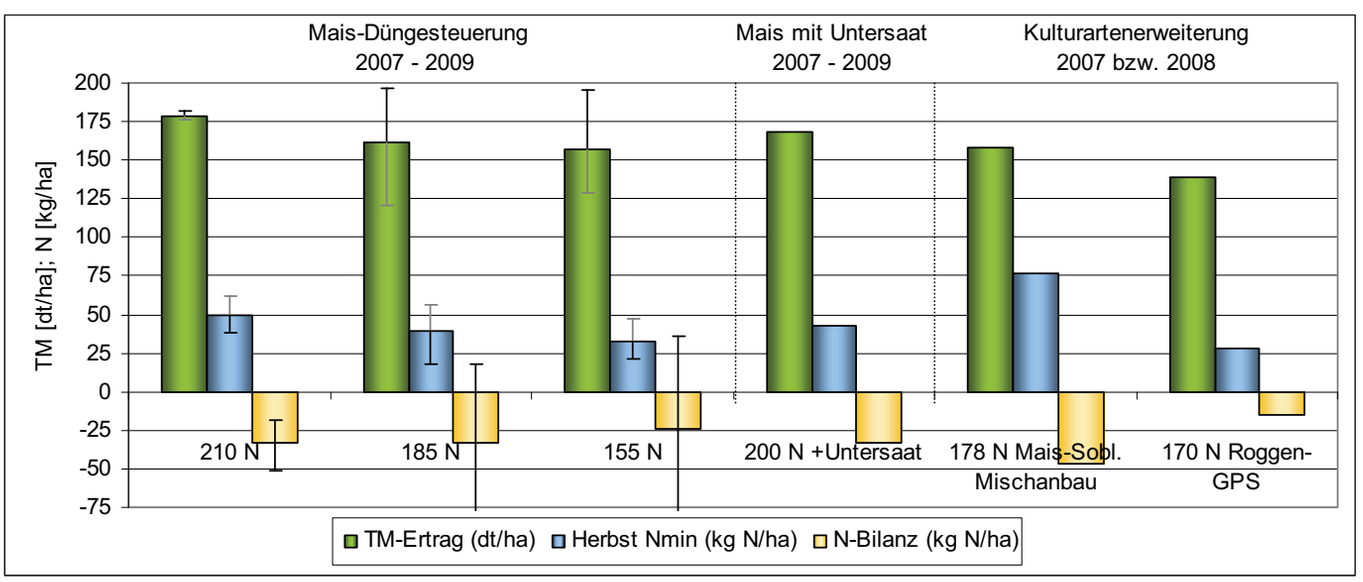


Abb. 28: Trockenmasseertrag, Herbst N_{min} und Flächenbilanz der Prüfvarianten im „WSG Fuhrberger Feld“ im Mittel der Jahre 2007 bis 2009

Mais–Düngesteuerung: Auf diesem Grenzstandort für den Maisanbau liegt das Ertragsniveau zwischen 125 und 190 dt TM/ha. In trockenen Jahren wie 2009 muss eine Ertragsabsicherung durch Beregnungsgaben erfolgen. Im Mittel der Jahre erzielen die Sollwertvariante und die niedrige N-Stufe Erträge von 165 dt/ha, die hohe Düngestufe lag ~ 12 dt/ha darüber (Abb. 28). Wird nicht beregnet, so sichert eine hohe N- Versorgung das Ertragspotenzial ab (maximale Ertragsunterschiede), wohingegen die niedrig gedüngten Bestände nach einer Trockenperiode stark in sich zusammenfielen. Auf diesen schwachen, wasser- und nährstoffarmen Böden ist die mikrobiologische Bodenaktivität durch Wassermangel eingeschränkt, so dass nicht genügend Nährstoffe freigesetzt werden. Wird jedoch beregnet, so zeigt sich, dass auch die reduzierten N-Stufen vergleichbare oder sogar bessere Erträge erbringen (2009). Im Mittel der Jahre wiesen alle drei N-Düngehöhen negative N-Bilanzen auf.

Der Herbst-N_{min} konnte durch die reduzierte N-Düngung von 50 kg N/ha auf 30 kg N/ha reduziert werden.

Mais mit Untersaat: Der Rotschwingel wurde kurz vor der Maissaat gedrillt. 2008 und 2009 wurde der Mais in Engsaat gesät, was keinen negativen Einfluss auf die Jugendentwicklung des Rotschwingels hatte. Der Maisertrag wurde durch die Untersaat nicht negativ beeinträchtigt und erreichte jeweils 170 dt TM/ha. Die N-Bilanz ist bei beiden Prüfvarianten negativ. Der Herbst-N_{min} der Untersaat unterscheidet sich im Mittel der Jahre nur geringfügig von der Kontrollvariante, weil die Fläche nach der Maisernte durch wendende Bodenbearbeitung mit einer Winterung bestellt wurde und so der Effekt der Untersaat nicht zur Geltung kam. Der positive Effekt von Untersaaten auf den Herbst-N_{min} und die N-Verlagerung über Winter zeigen die Ergebnisse am Standort Sandelermöns (Kap. 6.3.3).

Mais-Sonnenblumen-Mischanbau: Der Mais-Sonnenblumen Mischanbau erzielte 2007 ein hohes Trockenmasseniveau von 158 kg TM/ha. Die N-Bilanz war deutlich negativ. Der Herbst N_{min} lag mit 76 kg N_{min}/ha jedoch deutlich über N_{min} Werten im Mais. Auch hier in diesem WSG ist der N_{min} zwischen Ernte (46 kg N_{min}/ha) und Herbst deutlich angestiegen. Problematisch stellte sich zudem der starke Melde- und Hirsedruck auf den sandigen Standorten dar, der im Mischanbau nicht ausreichend bekämpft werden kann. Erschwerend kommt hinzu, das in der Region auch Raps zum Anbau kommt, zu dem durch die Übertragungsgefahr der Pilzkrankheit Sclerotinia sclerotiorum (Stängelfäule) eine Anbaupause von mindestens 4 Jahren erfolgen muss.

Getreideganzpflanzensilage (Getreide-GPS): Die Winterroggenernte zur Ganzpflanzensilagereife erfolgte am 16.06.2008 im BBCH 73-75. Der sandige Standort erzielte trotz starkem Niederschlagsdefizit im Monat Mai und Juni (~60 % weniger NS) und ohne Beregnung einen hohen Ertrag von 139 dt TM/ha. Das Getreide-GPS ermöglichte eine nahezu ausgeglichene N- Bilanz und einen niedrigen Herbst- N_{min} von 26 kg N/ha.

Bild 17: LK Hannover, Silomais ohne (links) und mit (rechts) Beregnung, 28.8.2009

Bild 18: LK Hannover, Zweitfrucht Sonnenblumen und Sorghum nach Frühkartoffeln ohne Beregnung, 28.8.2009

Bild 19: LK Hannover, Zweitfrucht Sonnenblumen und Sorghum nach Frühkartoffeln mit Beregnung, 28.8.2009

Fazit für den Standort im LK Hannover:

- Die Ergebnisse aus dem WSG Fuhrberger Feld zeigen, dass auf einem Grenzstandort für Maisanbau ohne langjährige Wirtschaftsdüngerzufuhr die N-Zufuhr und die Beregnung die entscheidenden Ertragsfaktoren sind. Soll verhalten gedüngt werden, ist eine Beregnung zur Ertragssicherung unumgänglich. Vielfach wird das knappe Wasser durch eine höhere N- Gabe „ersetzt“ um den Ertrag zu sichern.
- Besteht die Möglichkeit den Maisbestand zu beregnen, kann eine reduzierte N-Düngestufe zu Höchsterträgen und niedrigen Herbst-N_{min}-Werten führen.
- Die angepasste Sortenwahl ist an diesen Standorten ein weiterer wesentlicher Faktor für die grundwasserschonende Bewirtschaftung.
- Die Maßnahme „Mais mit Rotschwingeluntersaat“, wurde als freiwillige Grundwasserschutz-Vereinbarung in 2009 in den Maßnahmenkatalog für Bewirtschafter im Wasserschutzgebiet aufgenommen. Eine freiwillige Vereinbarung für Untersaaten ist vor allem dann sinnvoll, wenn der Umbruch der Untersaat erst im Folgejahr erfolgt.
- Der Mais-Sonnenblumen-Mischanbau eignet sich derzeit trotz der relativ positiven Ertragshöhe auf diesen sandigen Standorten nicht für einen grundwasserschonenden Energiepflanzenanbau in Winterraps- und Kartoffel- Fruchtfolgen (hoher Meldedruck, hohes N_{min}, unsichere Erträge, Anbau nur alle 4 Jahre möglich).
- Um Maisfruchtfolgen aufzuweiten und ggf. die Humusbilanz auszugleichen empfiehlt es sich eher, Sonnenblumen im Reinanbau anzubauen, wobei die N- Gabe 100 kg nicht überschreiten sollte und ein Nacherntemangement erforderlich ist.
- Der Anbau von Getreideganzpflanzensilage eignet sich besonders auf diesen leichten Grenzstandorten. In trockenen Frühjahren kann jedoch auch hier eine Beregnung notwendig sein. Zusätzlich sollte auf den sandigen und teils steinigen Standorten ein Anwalzen des Winterroggens spätestens im Frühjahr zu Vegetationsbeginn erfolgen, damit beim Häckseln aus dem Schwad Verunreinigungen minimiert werden.
- Nach Wintergetreide und nach Frühkartoffeln könnte auf diesen Standorten künftig der Anbau von Sorghumhirsen als Zweitfrucht eine grundwasserschonende Ergänzung sein, die die verbleibende Vegetationszeit nutzt und Stickstoff bindet.

Bild 20: LK Hannover, Sonnenblumen-Silomais-Mischanbau ohne Beregnung am 13.6.2007

Bild 21: LK Hannover, Sonnenblumen- Silomais-Mischanbau zur Ernte am 17.9 2007

6.3.2.1 Nacherntemanagement nach Silomais auf Umbruchflächen

N-Austräge unter Gründlandumbruchflächen stellen eine besondere Gefährdung für das Grundwasser dar (siehe auch Kap.3.3.4). Um den Stickstoffaustrag von Umbruchflächen im WSG Fuhrberger Feld über Winter zu reduzieren wurden daher im Herbst 2008 auf einem anmoorigen Standort verschiedene Nacherntemanagements auf einer 2007 umgebrochenen Praxis -Ackergrasfläche getestet, die im Anschluss mit Silomais für die Biogasanlage bestellt wurde.

Tab. 24: Varianten des Nacherntemanagements nach Grünlandumbruch

Varianten des Nacherntemanagements:			
Fruchtfolge: bis 2007 Ackergras; 2008 Umbruch und Mais; 2009 Mais			
Variante		Maßnahmen	Zwischenfrucht
1	Bodenruhe über Winter	Mulchen der Maisstängel	keine
2	Bodenbearbeitung vor Winter	Mulchen der Maisstängel, 1mal Saatkombination	keine
3	Bodenbearbeitung und Zwischenfruchtanbau vor Winter	Mulchen der Maisstängel, Zwischenfruchtaussaat mittels Pneumatikstreuer, 1mal Saatkombination, Walze	Weidelgras

Die Abb. 29 zeigt deutlich den positiven Effekt einer Bodenruhe nach Silomais:

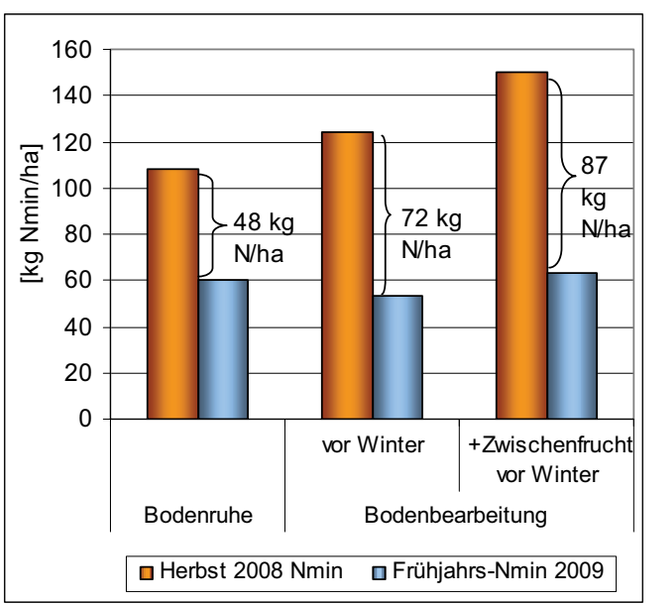


Abb. 29: Herbst 2008- und Frühjahr 2009 N_{min}-Werte verschiedener Nacherntemanagements nach Mais auf einer zweijährigen Ackergras- Umbruchfläche im „WSG Fuhrberger Feld“

Zum Zeitpunkt der Probenahme im Herbst (11.11.2009) lag bei allen Prüfvarianten ein hohes N_{min}-Niveau vor. Durch jede zusätzliche Bodenmaßnahme stiegen die N_{min}–Werte um 17 bzw. 42 kg N_{min}/ha an. Bei Betrachtung der Frühjahrs-N_{min}–Werte (18.02.2009) wird deutlich, dass die geringsten Verluste über Winter unter der Variante ohne Bodenbearbeitung erfolgten (48 kg N/ha), während die Variante mit Bodenbearbeitung einen mittleren N-Verlust und die Variante mit Bodenbearbeitung und Zwischenfruchtanbau den höchsten N-Verlust aufwies (87 kg N/ha).

Der Frühjahrs-N_{min} pendelte sich zwischen den Varianten auf ein Niveau von 53 bis 63 kg N_{min}/ha ein. Durch die relativ spät räumende Vorfrucht Silomais im Jahr 2008 konnte die spät bestellte Zwischenfrucht nicht den ihr zur Verfügung stehenden Stickstoff in Pflanzensubstanz umwandeln. Gut entwickelte Zwischenfrüchte nehmen sehr hohe Mengen an Stickstoff aus dem Boden auf (EICHLER und ZACHOW, 2002). Falls die Aussaat der Zwischenfrucht erst nach dem 15. September erfolgen kann, sollte aus grundwasserschonender Sicht kein Zwischenfruchtanbau mehr erfolgen sondern diese besser schon als Untersaat im Frühjahr ausgebracht werden. Alternativ ist der reduzierten Bodenbearbeitung der Vorzug zu geben.

Fazit Nacherntemangements für Mais nach Grünlandumbruch:

- Die Herbst- N_{min} Werte nach Umbruch überschritten 100 kg N/ha.
- Die Herbst- N_{min} Werte als Indikator für die potenzielle Sickerwasserbelastung waren nach Bodenruhe niedriger als nach Bodenbearbeitung.
- Die Zwischenfrucht nach Mais konnte den Herbst- N_{min} sowie die winterliche N- Verlagerung nicht senken. Zielführender ist eine frühe Aussaat als Untersaat.
- Geeignet und kostengünstig stellt sich auch die Bodenruhe oder reduzierte Bodenbearbeitung nach der Maisernte dar.

6.3.3 Versuchsstandort im Landkreis Wittmund „WSG Sandelermöns“

Der Futterbaubetrieb mit Milchviehhaltung betreibt seit 2007 mit mehreren Landwirten gemeinschaftlich eine Biogasanlage auf Basis von NawaRos und Gülle. Grünlandflächen dominieren, während der Ackerbau nur eine untergeordnete Stellung einnimmt. Der Betrieb setzt als Substrat vornehmlich Mais und Grassilage ein. Maisanbaufläche wurde durch einen Rückgang von Silomais zur Fütterung und durch Flächenzupacht geschaffen. Vom Grünschnitt werden die ersten Schnitte der Milchviehfütterung vorbehalten, während i. d. R. der dritte Schnitt als Gärsubstrat eingesetzt wird.

Kenndaten des Versuchsstandortes, des Betriebes und der Biogasanlage:

Gebietskenndaten								
Region	Wasser-schutzgebiet	Klima					Boden		
			langj. Mittel	2007	2008	2009	Bodentyp	Bodenart	Boden-punkte
Landkreis Wittmund	WGG Sandelermöns	Niederschlag	862 mm	1090 mm	997 mm	870 mm	Podsol über Anmoor	Sl / Ut (sandiger Lehm / schluffiger Ton)	35
		Temperatur	8,4 °C						

Betriebs- und Anlagenkenndaten					
Biogasanlage	Substrate	Betriebsgröße	Betriebstyp	Fruchtfolge des Betriebes	
				Fruchtfolge vor Biogas	derzeitige Energie-fruchtfolge
1,25 MW Gemeinschafts-anlage	Nawaro + Rindergülle (75% Mais + 15% Grassilage + 8% Rindergülle)	150 ha	Futterbaubetrieb	Grünland und Silomais	Grünland und Energiemais und Silomais

Ergebnisse:

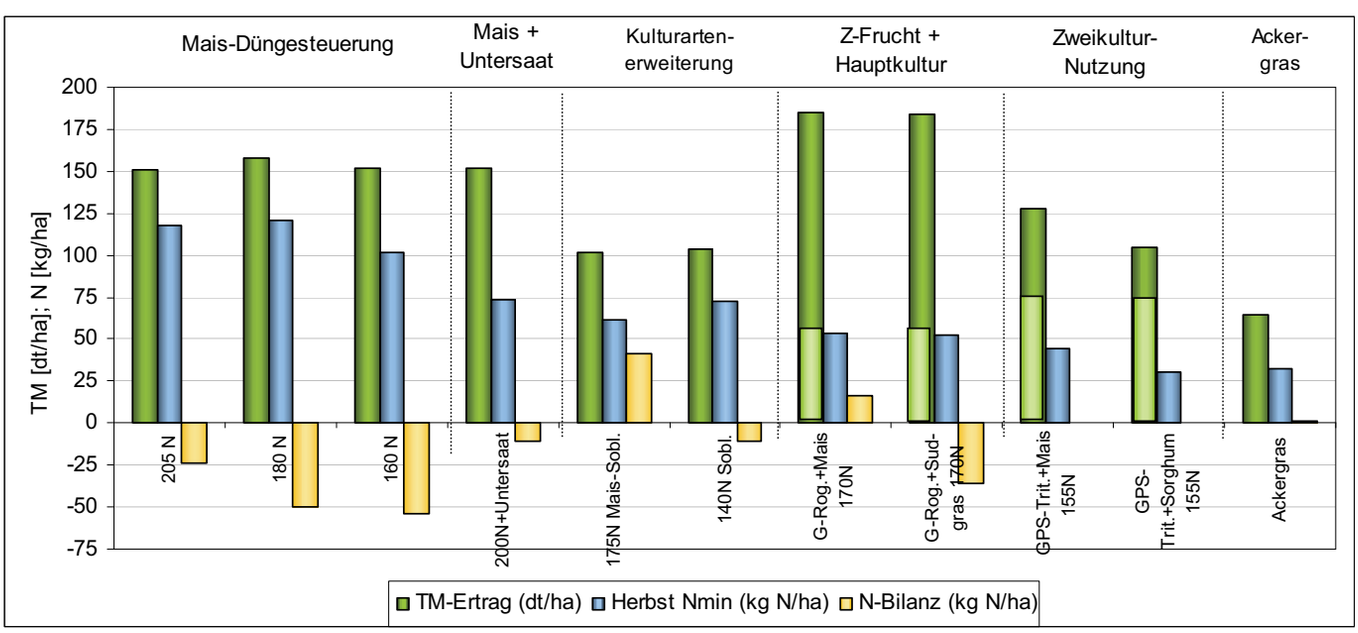


Abb. 30: Trockenmasseerträge, Herbst-N_{min} und N-Flächenbilanzen aller Prüfvarianten im Mittel der Jahre 2007 bis 2009 am Standort „WSG Sandelermöns“

Mais–Düngesteuerung: In der viehstarken Region Ostfrieslands erfolgte die N-Düngung in der Prüfvariante Mais-Düngesteuerung ausschließlich über eine gestaffelte Gärrestdüngung und eine einheitliche mineralische Unterfußdüngung. Die vorliegenden dreijährigen Ertragsergebnisse zeigen nur geringe Unterschiede zwischen den drei N-Düngestufen auf. Die mittlere N-Stufe (180 kg N/ha) erzielte mit 158 dt TM/ha den höchsten Ertrag. Die

hohe und die niedrige N-Stufe hatten je um 32 dt/ha geringere Erträge (152 dt TM/ha). Die N-Bilanz fällt in allen Varianten negativ aus und steigt mit Zunahme der Düngehöhe. Die Herbst N_{min}- Werte sind insgesamt hoch (>100 kg N/ha). Durch die reduzierte N-Gabe konnte der Herbst-N_{min} um 20 kg gegenüber der Sollwertvariante gesenkt werden.

Mais mit Untersaat: Der Mais mit Untersaat erzielte ebenfalls eine Ertragshöhe von rund 152 dt TM/ha. Die Untersaat hatte keinen negativen Einfluss auf den TM-Ertrag. Die N-Bilanz (-11 kg N/ha) ist leicht negativ. Die Untersaatmaßnahme hatte einen äußerst positiven Effekt auf den Herbst-N_{min}, der gegenüber der betriebsüblichen N-Stufe um 45 kg N_{min}/ha auf ein Niveau von 74 kg N_{min}/ha gesenkt werden konnte.

Mais-Sonnenblumen im Mischanbau und Sonnenblumen im Reinanbau erzielten rund 102 dt TM/ha. Der Mais-Sonnenblumen Mischanbau schöpfte das vorhandene N-Angebot nicht aus, während die N-Salden in der Sonnenblume negativ waren. Gegenüber dem reinen Maisanbau konnte der Herbst-N_{min}-Wert sowohl durch den Sonnenblumen Mischanbau als auch durch den Sonnenblumen Reinanbau deutlich reduziert werden (um 25 – 40 kg N/ha).

Mais und Sudangras nach Grünroggen: Beim Anbau von Grünroggen als Zwischenfrucht vor Mais und Sudangras wurden (am 15.05.08) 74 dt TM/ha geerntet. Die nachfolgende Mais- und Sudangrasaussaat erfolgte am 26.05.08. Im Jahr 2008 erzielten beide Prüfvarianten eine Jahres-Ertragsleistung von rund 185 dt TM/ha. Gegenüber Mais in Hauptfruchtstellung wurde bei vergleichbarem Düngeniveau ein Mehrertrag von 30 dt TM/ha erzielt. Die N-Bilanz-Salden bewegen sich zwischen +30 und –25 kg N/ha und zeigen, dass die Kulturen in 2008 ihr Ertragspotential nicht optimal ausschöpfen konnten. Die Herbst-N_{min}-Werte nach Mais bzw. Sudangras lagen mit 52 kg N_{min}/ha vergleichsweise niedrig.

Zweikulturnutzung von Triticale + Mais bzw. Sorghum: Triticale-GPS erzielte im Mittel der Jahre eine Ertragshöhe von 83 dt TM/ha. Die nachfolgenden Hauptfrüchte Mais (45 dt TM/ha) und Sorghum (22 dt TM/ha) erzielten nur ein unterdurchschnittliches Ertragsniveau. Der Herbst-N_{min} wurde durch die ZKN auf ein äußerst niedriges Niveau von 45 bzw. 31 kg N_{min}/ha abgesenkt. Dennoch ist derzeit für diesen Standort eine Zweikultur-Nutzung von GPS-Triticale und Mais bzw. Sorghum nicht zu empfehlen, da das vorhandene Sortenspektrum nicht hinreichend für relativ kurze Vegetationszeiten ausgelegt ist.
Vergleichsweise erfolgte in 2009 eine Ertragserhebung von Winterroggen-GPS auf einem Praxisschlag, der ein mit Silomais vergleichbares Ertragsniveau in Höhe von 150 dt TM/ha erzielte.

Ackergras: Das extensiv bewirtschaftete Ackergras wurde zweimal pro Jahr geschnitten und erzielte im Mittel einen TM-Ertrag von 64 dt TM/ha. Die N-Bilanz war ausgeglichen. Unter Ackergras wurden niedrige Herbst-N_{min} von 32 kg nachgewiesen.

6.3.3.1 Effekt von Untersaaten auf den Herbst- und Frühjahrs-N_{min} am Beispiel WSG Sandelermöns

Sehr deutlich zeigte sich der positive Effekt von Untersaaten auf den Herbst-N_{min} und die N-Verlagerung über Winter am Standort Sandelermöns, der daher vertiefend dargestellt werden soll (Abb. 31).

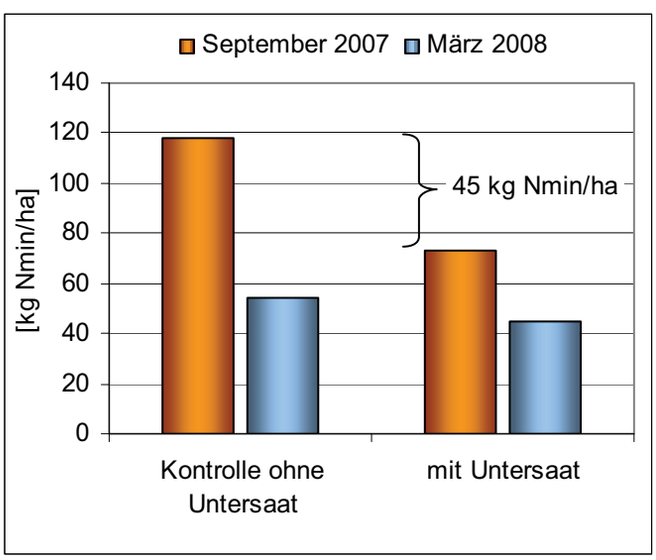


Abb. 31: Herbst- und Frühjahr-N_{min}-Werte nach Mais mit und ohne Untersaat am Standort „WSG Sandelermöns“

Im WSG Sandelermöns erfolgte am 23.10.2007 und am 20.03.2008 vor Umbruch der Prüfvariante 2007 „Untersaat“ eine N_{min}-Probenahme. Bei Betrachtung der Herbst-N_{min}-Werte 2007 wird deutlich, dass im Herbst 2007 durch die Untersaat der Bodenstickstoff um etwa 45 kg N_{min}/ha reduziert wurde. Das Auswaschungspotenzial unter Untersaat war deutlich geringer. Auf der Fläche mit Zwischenfrucht in Form von Untersaat gingen nur 29 kg N_{min}/ha über Winter verloren, während die Fläche ohne

Untersaat einen Verlust von 64 kg N_{min}/ha über Winter aufzeigte.

Durch die Integration von Zwischenfrüchten in Fruchtfolgen u. a. in Form von Untersaaten werden durch den Biomasseaufbau Nährstoffe festgelegt und vor Verlagerung geschützt. Diese Aussagen werden auch durch weitere Untersuchungen gestützt. So ermittelte LÜTKE ENTRUP (2001) im Spätherbst auf Sandböden (Viehbetrieb, Mittel von 4 Jahren) eine Ertragsleistung von Welschem Weidelgras in Höhe von 17 dt TM/ha und einen N_{min} –Wert in Höhe von 52 kg/ha, während auf der Vergleichsfläche Brache ein NO_3-N-Gehalt von 163 kg/ha gemessen wurde.

Fazit für den Standort im LK Wittmund:

- Für den in Ostfriesland gelegenen Standort im Landkreis Wittmund, eine durch Grünland geprägte Region mit Milchviehhaltung, kann festgehalten werden, dass die Ackerflächen durch langjährige Wirtschaftsdüngerausbringung und intensiven Maisanbau relativ hohe Herbst-N_{min-}-Werte aufweisen.
- Für die Biomasseproduktion liefert derzeit der Mais die höchsten Erträge, führt jedoch zu hohen Herbst-N_{min} Werten. Durch reduzierte N-Düngung (160 kg N/ha) kann das Herbst N_{min}-Niveau gesenkt werden.
- Durch Untersaaten im Mais sowie durch den Anbau von Sonnenblumen im Mischanbau und im Reinanbau kann der Herbst-N_{min} weiter gesenkt werden. Sie sollten vor allem auf langjährig mit organischen Düngern gedüngten Flächen angebaut werden.
- Durch die Einbindung von Grünroggen als Zwischenfrucht gefolgt von Hauptfrüchten wie Mais bzw. Sorghumhirse sind niedrige Herbst-N_{min} Werte möglich. Um gute Erträge zu erzielen, muss die Wasserversorgung sicher gestellt werden (siehe auch FNR 2008).
- Beim Anbau im Zweikulturnutzungssystem (verkürzte Wachstumszeiten bei Erst- und Zweitfrucht) mit Sorghumhirsen können zwar sehr niedrige Rest-N_{min} Werte zum Herbst erzeugt werden, es werden jedoch derzeit keine in der Praxis akzeptablen Ertragshöhen erreicht.
- Im LK Wittmund wird vorwiegend Weidelgras als Untersaat verwendet. Die Aussaat erfolgt in der Regel über Lohnunternehmen in Form von Striegelaussaat bis zum 6-Blattstadium des Maises. Aufgrund der engen Maisfruchtfolgen und langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr besteht im Gebiet ein relativ hoher Hirsedruck und hoher Besatz an Einjähriger Rispe, so dass die Akzeptanz der Untersaatmaßnahme in der Praxis relativ gering ist. Neben der begleitenden Beratung hinsichtlich Pflanzenbau- und Pflanzenschutzmaßnahmen muss hier eine Aufweitung der Fruchtfolgeglieder erfolgen, um den Ungrasdruck zu reduzieren.
- Durch die Integration von GPS-Getreide (Wi-Roggen) können enge Maisfruchtfolgen aufgelockert werden. Durch eine Ernte schon im Frühsommer ist ein Nachbau u. a. mit Ackergras mit guter Bestandesentwicklung bis zum Herbst möglich.

Bild 22: LK Wittmund, Striegel mit pneumatischem Säschar u.a. für Untersaaten im Mais

Bild 23: LK Wittmund, Feldgras für die Biogasanlage 9/2008

6.4 Beziehungen von Düngung, Ertrag und N_{min} am Beispiel Mais

Aufgrund der vorhandenen Datendichte konnten für Mais die Beziehungen zwischen Düngeniveau (inkl. N_{min}), Ertrag und N_{min}–Werte über alle Standorte hinweg geprüft werden. Hierbei wurde jeweils nach Standorten mit und ohne langjährige Wirtschaftsdüngergaben differenziert. Die folgenden Korrelationen bestätigen die an den einzelnen Standorten getroffenen Aussagen und zeigen Zusammenhänge auf:

Ernte-N_{min} in Abhängigkeit vom Düngeniveau: Deutlich zeigt sich in Abb. 32, dass auf Wirtschaftdünger-Standorten bei Düngegaben größer 150 kg N/ha die Ernte-N_{min} Werte 50 kg N /ha überschreiten und mit steigender Düngung stark ansteigen. Düngegaben oberhalb des Sollwertes führten fast ausnahmslos zu Ernte-N_{min}Werten über 100 kg N/ha. Anders stellen sich die langjährigen Mineraldüngerstandorte dar. Hier sind i. d. R. auch bei Düngegaben bis 200 kg N/ha noch Ernte-N_{min}-Werte von <50 kg N/ha möglich.

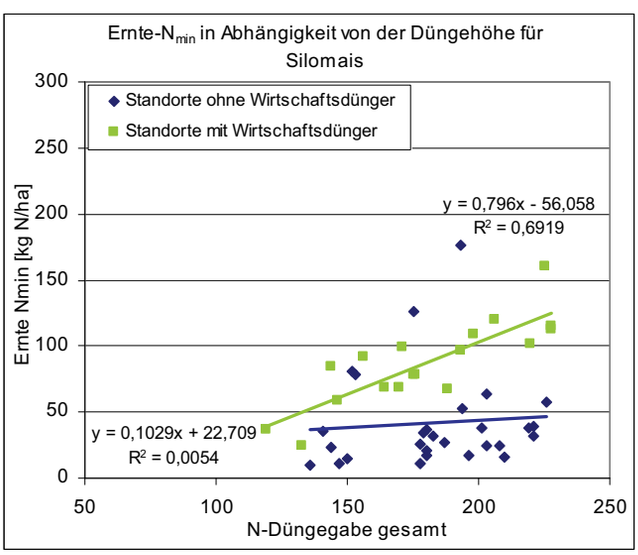


Abb. 32: Ernte-N_{min} in Abhängigkeit von der N-Düngehöhe für Silomais. Daten von 6 Standorten im Zeitraum 2007-09.

Trockenmasseertrag in Abhängigkeit vom Düngeniveau: Über alle Standorte hinweg zeigt sich, dass sich der Biomasseertrag von Mais zwischen den Düngestufen nur leicht und nicht signifikant unterscheidet (Abb. 33). In der hohen Düngestufe deutet sich jedoch eine etwas höhere Ertragssicherheit an (geringere Streuung). Eine höhere Wirtschaftlichkeit muss damit nicht einhergehen (siehe auch Abb. 35). Unterschiede zwischen den organisch und den mineralisch gedüngten Standorten konnten nicht festgestellt werden.

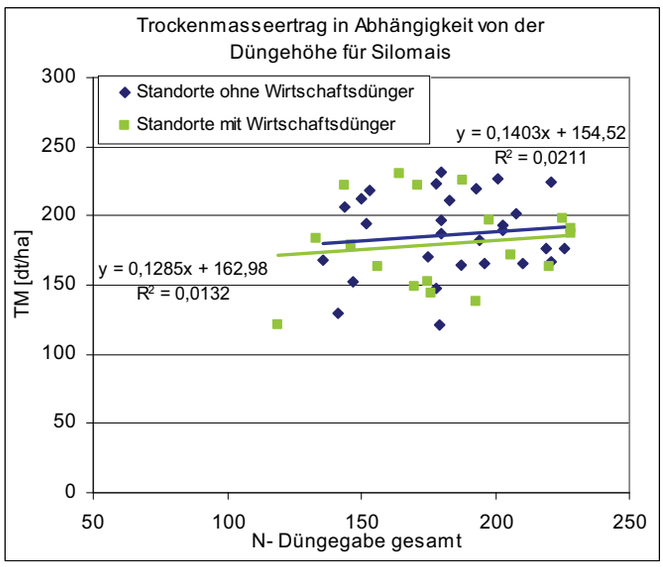


Abb. 33: Trockenmasseertrag in Abhängigkeit von der N- Düngehöhe bei Silomais. Daten von 6 Standorten im Zeitraum 2007-09.

Ernte-N_{min} in Abhängigkeit vom Ertrag: Die ausgewerteten Daten zeigen lediglich eine leichte Tendenz zu steigenden Ernte-N_{min}-Werten bei steigenden Biomasseerträgen, die jedoch nicht signifikant ist (Abb. 34). Da über alle N-Stufen hinweg gute Erträge erzielt werden konnten, ist es folgerichtig, dass vom Ertrag nicht auf N-Überhänge geschlossen werden kann. Dies sähe anders aus, wenn in der Düngeplanung ein höherer Ertrag unterstellt würde als tatsächlich geernet wird.

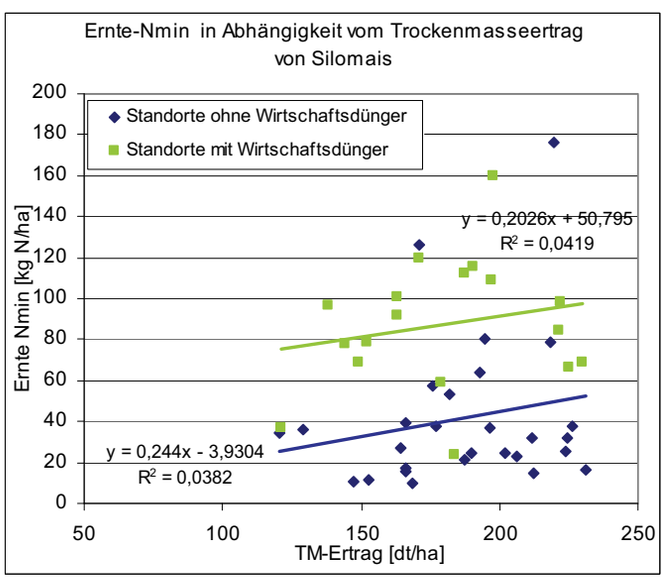


Abb. 34: Ernte-N_{min} in Abhängigkeit vom Trockenmasseertrag von Silomais. Daten von 6 Standorten im Zeitraum 2007-09.

6.5 Spezifischer Methanertrag und ökonomische Bewertung

Die einzelnen Prüfvarianten und Kulturen wurden im Jahr 2008 auf ihr Methanbildungspotential untersucht. Bestimmt wurde der spezifische Methanertrag durch Pflanzenanalyse mittels NIRS-Untersuchung und Berechnung nach der Formel von BASERGA (1998) bzw. durch den Hohenheimer Biogasertragstest. Darüber hinaus erfolgte die ökonomische Bewertung der Prüfvarianten im Mittel der Standorte. Im folgenden werden die Ergebnisse des spezifischen Methanertrages und die Hektarmethanerträge sowie die Ergebnisse der Deckungsbeitragsrechnung verschiedener Prüfvarianten im Mittel der Standorte exemplarisch für das Jahr 2008 wiedergegeben.

Spezifische Methanerträge: Abb. 35 (brauner Punkt) zeigt, dass die Höhe des spezifischen Methanertrages vorwiegend durch die Kulturart bestimmt wird. Mais im Hauptfruchtanbau weist unabhängig von der N-Düngestufe ein Niveau von ~295 l CH_4/kg oTM auf. Grünland, Grünroggen und GPS-Roggen erzielen Werte >300 l CH_4/kg oTM, während Mais- Sonnenblumen-Mischanbau, Sonnenblumen-Reinanbau und Sudangras deutlich unter 265 l CH_4/kg oTM liegen.

Hektarmethanerträge: Die Höhe des Hektarmethanertrages (gelbe Säule) hingegen ist vorwiegend vom Trockenmasseertrag der jeweiligen Kulturart (grüner Punkt) abhängig. Die Prüfvariante extensives Grünland plus Mais erzielte 6160 m³ CH_4/ha, Mais in der mittleren N-Düngestufe (5730 m³ CH_4/ha) und in der höchsten und niedrigsten N-Stufe je 5690 bzw. 5410 m³ CH_4/ha. Bedingt durch die niedrigeren TM-Erträge erzielten GPS-Roggen, Mais-Sonnenblumen Mischanbau, Sudangras und Sonnenblumen sowie Grünland (2. Schnitte) und Grünroggen auch geringere Gaserträge je Hektar (4180 bis 2000 m³ CH_4/ha).

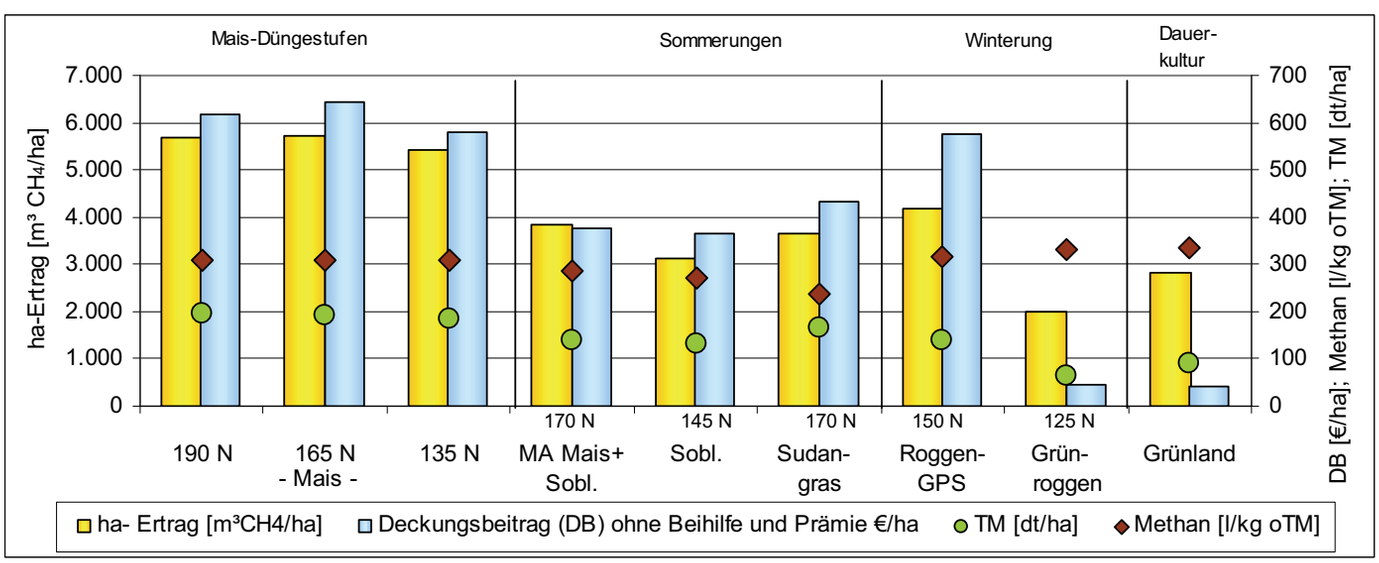


Abb. 35: Spezifischer und Hektarbezogener Methanertrag sowie Deckungsbeitrag verschiedener Prüfvarianten im Mittel der Standorte im Jahr 2008

Deckungsbeiträge: Zur ökonomischen Bewertung wird der Deckungsbeitrag herangezogen. Er ergibt sich aus der Differenz zwischen Umsatz und variablen Kosten und wurde ohne Beihilfe und Prämie berechnet.

- In der Abb. 35 (blaue Säule) ist zu erkennen, dass unabhängig von der N-Düngestufe die höchsten Deckungsbeiträge von ~600 €/ha durch Mais (ohne Zwischenfruchtanbau) erzielt werden.
- Auch durch GPS-Roggenanbau können ebenfalls hohe Deckungsbeiträge von ~577 €/ha erzielt werden. Sie sind somit auch wirtschaftlich eine relativ gute Alternative für Maisgrenzstandorte bzw. für Standorte mit einem hohen stofflichen Austragspotential.
- Sudangras, Mais-Sonnenblumen-Mischanbau und Sonnenblumen liegen hingegen mit~390 €/ha deutlich darunter.
- Der Ernteschnitt der Zwischenfrucht Grünroggen erbrachte einen positiven Deckungsbeitrag von ~44 €/ha.
- Bei Grünlandnutzung mit 2 Schnitten wurden Deckungsbeiträge von lediglich ~40,-€/ha realisiert.

6.6 Standortbezogene Empfehlungen

6.6.1 Tiefgründige, gut wasserführende Standorte

- Auf guten Böden mit ausreichender Wasserversorgung zeigt sich hinsichtlich der Ertragsleistung die Überlegenheit von Mais. Die betriebsüblichen Ertragsniveaus konnten auch bei einer N-Düngehöhe von 180 kg N/ha incl. N_{min} erreicht werden. In guten Maisjahren ist auch mit einer reduzierten N-Düngung von 150 kg N/ha und einer gezielten, nach Möglichkeit in zwei Gaben aufgesplitteten N-Düngung in Form von organischer und mineralischer Düngung ein hohes Ertragspotential mit deutlich niedrigeren Herbst-N_{min}- Werten zu erzielen.
- Auf Standorten mit langjähriger organischer Zufuhr wird der N-Düngeeffekt durch die natürliche Mineralisation der organischen Substanz und durch die jahresspezifischen Witterungsverhältnisse überlagert und es zeichnen sich häufig relativ hohe Herbst-N_{min}-Werte ab. Ein Zwischenfruchtanbau mit bzw. ohne Abfuhr sowie ohne Herbstbegüllung sind hier wesentliche Maßnahmen, um die Stickstoffauswaschung nach Mais über Winter zu reduzieren.
- Die Ergebnisse einzelner Jahre weisen auf die Ertragsstärke anderer Kulturen wie Sorghumhirse und GPS-Getreide hin. Während Sorghumarten eine hohe Nährstoffeffizienz aufweisen, benötigen Winterungen eine frühe und bedarfsgerechte Stickstoffdüngung die optimal in Pflanzenmasse umgesetzt wird für eine hohe Ertragsbildung.
- Durch die Kulturartenerweiterung kann der Krankheits- und Unkrautdruck gesenkt und die Herbst-N_{min}-Werte reduziert werden.
- Unabhängig vom Standort erfordert jede neue Kultur auch eine optimale Technik und Erfahrungen im Anbau, d.h. in der Praxis werden Einsparpotentiale erst nach mehrjähriger Erfahrung realisiert werden können.

6.6.2 Leichte Standorte mit geringem Wasserspeichervermögen

- Der begrenzende Faktor für hohe Biomasseerträge ist hier vor allem das geringe Wasserspeichervermögen des Bodens, kombiniert mit niedrigen Niederschlägen während der Hauptwachstumszeit. Die Abstimmung zwischen N-Düngehöhe und Sorteneigenschaft ist der wesentliche Faktor für einen reduzierten Produktionsmitteleinsatz und zur Erzielung niedriger N- Überhänge. Unter Beregnung können auch mit einer reduzierten N-Düngestufe Höchsterträge bei gleichzeitig niedrigen Herbst-N_{min}-Werten erzielt werden.
- Die langjährige Zufuhr von Wirtschaftsdüngern führt zu einem deutlich höheren N_{min}-Niveau gegenüber vorwiegend mineralisch gedüngten Flächen. Solche Standorte bedürfen zur Stickstoffbindung den Einsatz von Untersaaten im Mais. Bei dieser Maßnahme erfolgt zum einen keine weitere Bodenbearbeitung nach der Maisernte, was den Anstieg der N-Mineralisation mindert und zum anderen nimmt die Untersaat den ihr zur Verfügung stehenden Stickstoff über Winter auf und reduziert Stickstoffausträge ins Grundwasser. Voraussetzung sind ausreichende Niederschlagsmengen.
- Ergänzend bzw. alternativ zu Mais sollte eine Gräser- oder Getreide- betonte Biomasseproduktion angestrebt werden. Das Walzen nach der Aussaat des GPS-Getreides ist entscheidend für die Verwertung in der Biogasanlage, damit der Schmutzanteil im Erntegut und Maschinenschäden durch aufgenommene Steine minimiert wird.

7 Bewertung von Energiepflanzen und möglichen Optimierungsmaßnahmen aus Sicht des Wasserschutzes

7.1 Methodik der Maßnahmenbewertung

Der im folgenden vorgestellten zusammenfassenden Bewertung der Wasserschutzleistung/risiken von Energiepflanzen sowie möglicher Optimierungsmaßnahmen liegen die Ergebnisse und Erfahrungen der dreijährigen Feldversuche zugrunde. Um weitgehend allgemeingültige Aussagen treffen zu können, wurden die eigenen Ergebnisse im Hinblick auf Repräsentativität geprüft und durch Literaturangaben (z.B. FNR 2008 u. 2009) ergänzt. Da bislang speziell für Energiepflanzen kein Bewertungsschema existiert, was sowohl die wasserschutzrelevanten als auch die anbaurelevanten und ökonomischen Parameter zusammenführt, wurde im Rahmen des M&P Vorhabens eine dahingehende Methode entwickelt. Das gewählte Vorgehen wird im Folgenden beschrieben.

Tabellarische Kurzbewertungen: Für jede der untersuchten Kulturen wurde eine Übersichtstabelle mit Parametern zur Bewertung der Wasserschutzleistung sowie weiterer ökologischer und ökonomischer Parameter erstellt, um eine möglichst vollständige Beurteilung der Umweltwirkung zu ermöglichen. So wurden z.B. auch Transpirationskoeffizienten recherchiert, die nicht nur zur Bewertung der Standorteignung, sondern auch im Zusammenhang mit der Diskussion um die Trockenheitsresistenz, bzw. den Bewässerungsbedarf sowie hinsichtlich einer Beurteilung der Kulturen vor dem Hintergrund des Klimawandels von Relevanz sind. Die Übersichtstabellen in Kap 7.3 geben mittlere Werte wieder und sollen Orientierungscharakter für durchschnittliche Anbauverhältnisse haben. Standortunterschiede werden an dieser Stelle nicht aufgezeigt, auf Besonderheiten wird jedoch im Text verwiesen. Unter Kap. 7.4 werden Fruchtfolgebeispiele und deren Wasserschutzbewertung differenziert für schwache und gute Standorte vorgenommen.

Textliche Erläuterungen: Die Bewertung erfolgt nach Kulturarten. In den textlichen Erläuterungen werden Aussagen zur Eignung der jeweiligen Kultur und zum Ziel möglicher Optimierungsmaßnahme zusammengefasst. Ferner werden Hinweise und Optimierungsvorschläge zum Anbau gegeben und eine Wasserschutzbewertung vorgenommen.

Klassifizierung von Ergebnissen/Parametern: Um den Vergleich der Wasserschutzleistung/risiken von Kulturen und Maßnahmen zu vereinfachen, wurden jeweils drei Klassen gebildet und farbig gekennzeichnet. Dabei bedeutet:

- **Grün:** eine vergleichsweise positive bzw. günstige Merkmalsausprägung,
- **Gelb**: eine mittlere Merkmalsausprägung und
- **Rot:** eine negative bzw. ungünstige Merkmalsausprägung.

Auf die Methodik der Klassenbildung wird nachfolgend näher eingegangen.

Tab. 25: Klassifizierungsschema für Wasserschutzkriterien

Bewertungsschema Wasserschutz				
Wasserschutzkriterien:	Klasse:	positiv	mittel	negativ
Stickstoffbedarf (Sollwert)	[kg N/ha]	<100	100-150	> 150
Herbst Nmin-Wert	[kg N/ha]	<35	35-55	> 55
N-Bilanz	[kg N/ha]	<40	40-60	> 60
N-Konzentration im Sickerwasser*1	[NO_3 mg/l]	<50	50-70	>70
Humusvorrat anbauspezifisch u. Humusbilanz *2	[kg C/ha]	-75 bis +100 und Grünland (+600)	+101 bis +300 -200 bis -76	>300 <-200
Transpirationskoeffizient	[l H_2O/kg TM]	<400	401-600	> 600
Pflanzenschutzmittelaustrag *3	[Text]	Kein oder geringer PSM-Einsatz; Bs: Roggen, GL	Keine langwirksamen PSM; Bs: Gerste, Weizen	Bodenbürtige und blattwirksame, deren Methabolite häufig im GW nachgewiesen werden; Bs: Mais, Raps
PSM-Gefährdungsstufe		1	2	3
Erosion	[Text]	WG,WR (Saat vor 1.10.), Grünbrache, WRaps, Dauerbegrünung, Futterpflanzen, Ackergras, Roggen-GPS	WW, WGemenge, WR (Saat nach 1.Okt.),	Mais, Hirsen, Hackfrüchte, Hülsenfrüchte, Gartenbau, Sommergetreide, Ölfrüchte, Sonnenblumen
Erosion Schutzwirkstufe *4		3	2	1

*1 Die N-Konzentration im Sickerwasser wird aus Herbst Nmin berechnet. Daher werden die Grenzen höher als nach TVO gelegt.
Pot. Nitratkonz. im Sickerwasser = Herbst-N_{min} [kg N_{min}/ha] * 443 * Austauschfaktor/ jährl. Sickerwasserspende [mm]
*2 Humussaldo: nach VDLufa Standpunkt, verändert, um von 5 auf 3 Gruppen zu gelangen. Zur Einteilung die kulturartenspezifischen Änderungen sowie der N-Salden genutzt.
*3 Pflanzenschutzmittelaustrag: Einteilung in Anlehnung an Studie des Bundesumweltamtes (UBA)
*4 Bodenerosion: in Anlehnung an die Schutzwirkstufen nach Thiermann, (Quelle: Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen 2001).

Angabe des Stickstoffbedarfs: Es wird der von der LWK Niedersachsen empfohlene Sollwert der Kulturen angegeben.

Angabe des Herbst- N_{min} Wertes: Die Herbst-N_{min}-Werte basieren auf den Versuchsergebnissen dieses Projektes und wurden mit weiteren Versuchsergebnissen und Veröffentlichungen, sowie Beratungserfahrungen abgeglichen. Wenngleich in der Praxis standort- und anbaubedingt Werte-Spannen normal sind, wurde der Ansatz gewählt, einen mittleren, repräsentativen Wert anzugeben. Zu berücksichtigen ist, dass die Datenbasis bei den neuen Kulturen im Vergleich zu den etablierten Kulturen noch gering ist. Außerdem wird darauf hingewiesen, dass die Auswirkungen einer langjährigen Gärrestdüngung hier noch nicht abgebildet werden können.

Berechnung der N- Flächenbilanz: die Berechnung der N-Bilanz erfolgte nach folgender Formel:

*N-Bilanz = N-Sollwert [kg N/ha] – 10 kg/ha Frühjahrs-N_{min} – (Biomasseertrag [dt TM/ha] * N-Gehalt im Erntegut [% von TM])*

Berechnung der potenziellen Sickerwasserbelastung: Die N-Konzentration im Sickerwasser beschreibt den potenziellen Austrag aus der Wurzelzone und wurde aus dem Herbst-N_{min}-Wert (Ergebnisse der Feldversuche und Literaturwerte) sowie differenziert nach Standortgruppen nach folgender Formel berechnet:

*pot. Nitratkonz. im Sickerwasser = Herbst-N_{min} [kg N_{min}/ha] * 443 * Austauschfaktor / jährl. Sickerwasserspende [mm]*

Standorteinordnung: Folgende Annahmen zur Standorteinordnung wurden zugrunde gelegt:

Bewertungsschema Standort					
Standort	Austauschhäufigkeit* AF	Sickerwasserbilanz SW [mm]	Beschreibung SW Anfall	Repräsentativer Standort	Typische Region
guter Standort	0,5	200	gering	Sehlde/Börde	Hildesheimer Börde
mittlerer Standort	1,3	350	mittel	Osnabrück/Hügelland	Münsterland
schlechter Standort	2,5	400	hoch	Fuhrberger Feld/ Geest	Geest

* bei Berechnung der AF werden Werte >1 gleich 1 gesetzt
Quelle: NLÖ Niedersachsen 2003, Vorläufige Empfehlungen zur Durchführung von Herbst-Nmin Programmen und Bodenkundl. Kartieranleitung KA5

Bewertung des Humussaldos: Die Bewertung des Humussaldos erfolgte nach den Richtwerten des VDLUFA Standpunktes und wurde in der Klassifizierung von 5 auf 3 Gruppen vereinfacht.

Die Richtwerte wurden sowohl zur Einteilung der rein kulturartenspezifischen Änderungen als auch zur Berechnung der C-Salden bei Gärrestrückfuhr genutzt. Folgende Einteilung wurde vorgenommen:

Bewertungsschema Humus			
Humussaldo nach VDLUFA		Bewertung nach VDLUFA	Anpassungen
kg Humus-C ha-1 a $^{-1}$	Gruppe		Gruppe
< -200	A sehr niedrig	ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertragsleistung	negativ (gering)
-200 bis - 75	B niedrig	mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus angereicherten Böden	mittel
-75 bis +100	C optimal	optimal hinsichtlich Ertragssicherheit bei geringerem Verlustrisiko. Langfristige Einstellung standortangepasster Humusgehalte.	gut, ergänzt um Grünland (Wert 600)
+101 bis +300	D hoch	mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus verarmten Böden	mittel
>300	E sehr hoch	erhöhtes Risiko für Stickstoffverluste, niedrige N-Effizienz	negativ (hoch)

Quelle: Verband deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, 2004

Humusreproduktion bei Gärrestrückführung: bei mittleren TS- Gehalten von 30% wurde ein Fugatfaktor von 0,75 angenommen. Für Sonnenblumen liegen derzeit keine Werte vor, so dass die Werte für Mais übernommen wurden.

Transpirationskoeffizienten: Die Angaben der Transpirationskoeffizienten wurden aus diversen Literaturstellen zusammengestellt. Sie stellen Größenordnungen dar. Auf Basis der Transpirationskoeffizienten und des Ertragspotenzials wurde der Wasserbedarf der Kulturen je Hektar und Jahr berechnet, um einen Eindruck über die kulturartenbezogene Beanspruchung des Wasserhaushaltes eines Standortes zu erhalten.

Pflanzenschutzmittelaustrag: Die Einteilung erfolgte in Anlehnung an eine Studie des Bundesumweltamtes (UBA, 2008) in drei Gruppen.

Bodenerosion: Die Bewertung der Bodenerosion erfolgte für die Kulturen und die genannten Optimierungsmaßnahmen in Anlehnung an die Schutzwirkstufen nach THIERMANN (2001). Dabei wurden die Klassen wie folgt zusammengelegt:

Bewertungsschema Erosion			
Klasse nach Thiermann (2001)	Klasse neu	Kulturen nach Thiermann (Auswahl für Bioenergie)	Kulturen ergänzt
1 sehr gering	1 negativ	Mais, Hackfrüchte, Hülsenfrüchte, Gartenbau,	Hirsen
2 gering		Sommergetreide, Ölfrüchte, Sonnenblumen	
3 mittel	2 mittel	WW,WGemenge, WR (Saat nach 1.Okt.)	Grünroggen, Mais Engsaat (bis 37,5 cm)
4 gut	3 positiv	WG,WR (Saat vor 1.10.), Grünbrache, WRaps	RoggenGPS
5 sehr gut		Dauerbegrünung, Futterpflanzen, Ackergras	

Quelle: Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen 2001, verändert

Deckungsbeitragsberechnung: Die Berechnung der Deckungsbeiträge für die zusammenfassende Übersicht und Fruchtfolgebeispiele erfolgte auf Basis der Angaben zu den variablen Kosten aus der Standard-Deckungsbeitragsrechnung nach LWK Niedersachsen 2008 unter Berücksichtigung der Ertragsniveaus hoch, mittel und gering. Die Erlöse für Biomasse wurden ohne Unterscheidung der Kulturen repräsentativ für 2010 mit 9,40 €/ dt TM angesetzt, die Erlöse für Marktfrüchte basieren auf Angaben der Zeitschrift Land und Forst vom Jan. 2010. Prämien und Beihilfen wurden nicht berücksichtigt.

7.2 Kulturenbezogene Bewertung der Wasserschutzleistungen und -risiken

7.2.1 Mais-Hauptfruchtnutzung

Ziel der Maßnahme: Die Optimierung des Silomaisanbaus als derzeit bedeutendster Kultur zur Biogaserzeugung unter Wasserschutzgesichtspunkten ist ein zentrales Anliegen. Es werden mögliche Maßnahmen der Bestandesführung und Düngesteuerung beschrieben. Auf die pflanzenbaulichen Möglichkeiten der Untersaat wird unter 7.2.2 gesondert eingegangen.

Hinweise zur Düngung: In den Untersuchungsjahren zeigte sich, dass die Standortgegebenheiten und die Witterungsverhältnisse die standortbedingte Ertragshöhe maßgeblich beeinflussen, während die Höhe der N-Düngung einen relativ geringen Einfluss auf den Biomasseertrag hatte. Die besten Maiserträge werden auf tiefgründigen Böden mit guter Krümelstruktur und ausreichendem Wasser- und Nährstoffspeichervermögen erzielt.

Während in der Praxis oft deutlich über dem von der Landwirtschaftskammer empfohlenen N-Sollwert gedüngt wird, zeigen die dreijährigen Versuchsergebnisse, dass das betriebsübliche Ertragsniveau i.d.R. bei einer N-Düngegabe von 180 kg N/ha (incl. N_{min}) erreicht wird. In guten Maisjahren kann bereits bei einer N-Düngegabe von 150 kg N/ha das Ertragsoptimum erreicht werden.

Aus Wasserschutzsicht sollte die **Düngegabe** nach Möglichkeit in zwei Gaben aufgesplittert werden. Die Grundversorgung sollte in organischer Form erfolgen. Auf Basis einer späten N_{min} -Beprobung kann dann das N-Niveau der Ergänzungsdüngung bestimmt werden. Diese sollte vorzugsweise als mineralische Düngung erfolgen, um Ausgasungsverluste bei der Ausbringung zu vermeiden.

Anders ist in Wirtschaftsdünger-Überschussgebieten zu verfahren. Hier sollte der Mineraldüngerzukauf möglichst weitgehend reduziert und duch den Gärrest ersetzt werden.

Auf Mais-Grenzstandorten wie z.B. im WSG Fuhrberger Feld und WSG Sandelermöns ist neben der Höhe der N-Düngung auch die **Sortenwahl** maßgeblich für eine grundwasserschonende Bewirtschaftung. Es sollten N-effiziente und robuste, wenig trockenheitssensible Sorten gewählt werden. Auf diesen Standorten ist eine späte N_{min}-Beprobung zur Überprüfung der N-Gabe empfehlenswert.

Für niedrige Herbst-N_{min}-Werte ist ein organisches Düngemanagement ausschlaggebend. Auf Flächen mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr sollte daher aus gegenwärtiger Sicht eine **Anrechnung** von mindestens 80% des N- aus dem Wirtschaftsdünger/Gärrest in der Düngeplanung erfolgen.

Es sei darauf verwiesen, das der Prozess der N-Freisetzung und N-Anrechnung langjähriger Gärrestdüngung ist nicht abschließend geklärt ist und weiterer Untersuchungen bedarf. Da Gärreste i. d. R. höhere pH-Werte sowie ein engeres C:N-Verhältnis als Gülle aufweisen, bestehen auch im Nährstoffaneignungsvermögen Unterschiede zur Gülle.

Hinweise zum Pflanzenschutz: Aus phytosanitärer Sicht ist die Maispflanze mit sich selbst verträglich. Aufgrund ihrer langsamen Jugendentwicklung, dem weiten Reihenabstand (37,5 – 75 cm) sowie des relativ späten Bestandesschlusses herrscht auf Maisflächen häufig ein starker Unkraut- und Ungrasdruck, worauf der Mais mit Ertragsausfällen reagiert.

Um früh und nachhaltig die Unkraut- und Ungraskonkurrenz auszuschalten, werden u.a. glyphosathaltige Produkte vor der Saat, sowie boden- und blattwirksame Pflanzenschutzmittel, wie Terbuthylazin-, S-Metolachlor- und Bentazonhaltige Präparate bis zum 6-Blattstadium des Maises eingesetzt. Diese Mittel gehören nach einer Umfrage bei DVGW-Mitgliedsunternehmen zu den am häufigsten genannten **Pflanzenschutzmittelwirkstoffen** mit Befunden in Gewässern (STURM et al., 2007). Aus Aspekten des Wasserschutzes wird empfohlen, auf vorwiegend blattaktive Präparate wie mit höherer Gewässerverträglichkeit auszuweichen.

Mit dem zunehmenden Maisanteil in der Fruchtfolge steigt derzeit auch die Gefahr eines Befalls mit dem Maiszünsler sowie dem Maiswurzelbohrer, der sich von Jahr zu Jahr weiter im südlichen Deutschland ausbreitet. Beim Maiszünsler sollte durch eine gute Zerkleinerung und Einarbeitung der Erntereste der weiteren Verbreitung entgegengewirkt werden. Aus **phytosanitären Aspekten** kommt der Einhaltung der Fruchtfolge zunehmend auch eine wirtschaftliche Bedeutung zu.

Kurzbewertung Wasserschutz: In der Praxis sind die Herbst-N_{min}-Werte aufgrund überhöhter N-Düngegaben und hohem Wirtschaftsdüngeranteil i. d. R. zu hoch. Die N-Düngung sollte, je nach Standort 150 bis max. 180 kg N/ha incl. N_{min} und Anrechnung der Vorfruchtwirkung nicht überschreiten. Instrumente wie die späte N_{min} -

Beprobung im 4-6 Blattstadium und die N- Bestimmung im Rohprotein sollten ergänzend bei der Düngeplanung zum Einsatz kommen. N- Sickerwasserkonzentrationen unterhalb des Grenzwertes können langfristig nur durch ergänzende weitere Maßnahmen, u. a. Fruchtfolgegestaltung, Begrenzung Wirtschaftsdünger/Gärrestanteils eingehalten werden. Die beim Mais in der Regel negative N-Flächenbilanz eignet sich nicht zur Bewertung des N-Auswaschungsrisikos. Hinsichtlich des Pflanzenschutzmitteleinsatzes sollten glyphosat- und terbutylazinhaltige Mittel vermieden und auf blattaktive Mittel mit hoher Wasserverträglichkeit ausgewichen werden.

Tab. 26: Kurzbewertung: Mais-Hauptfruchtanbau

Kurzbewertung: Mais-Hauptfruchtanbau	
Parameter:	**Bewertung:**
Angepasste Düngung	▪ auf 150 kg N/ha (incl. N_{min}) ohne Ertragsverluste auf guten Standorten möglich ▪ an Standort angepasste Sortenwahl erforderlich ▪ 80% N-Anrechnung bei Gärrestdüngung auf Flächen mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr
N-Flächenbilanzsaldo	▪ durch Ganzpflanzenernte i. d. R. negative Salden vorhanden, auch bei deutlich erhöhten Herbst-N_{min}-Werten ▪ N-Bilanz ist nicht geeignet zur Bewertung des Auswaschungsrisikos ▪ weitere Absenkung meist möglich ohne Unterversorgung der Bestände
Herbst-N_{min}-Wert	▪ hohe Herbst-N_{min}-Werte insbesondere unter Praxisbedingungen ▪ Senkung auf 50-75 kg N/ha möglich durch: ▪ …-angepasste Düngung, ▪ …-Gärrestdüngung auf ein Minimum beschränken und über mineralische N-Düngung den N-Bedarf ausgleichen, ▪ …durch Zwischenfruchtanbau und Flächen mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr ohne Gärrestdüngung im Herbst.
Potentielle N-Konzentration im Sickerwasser	▪ N-Austräge um 100 mg NO_3/l bei betriebsüblichem Anbau ▪ Senkung durch reduzierte Herbst-N_{min}-Werte zu erwarten (s.o)
Wasserbedarf	▪ Transpirationskoeffizient: gering, 300 – 400 l H_2O/kg TM ▪ Wachstumsprobleme bei Sommertrockenheit
Ertrag	▪ hohes Ertragsniveau von 14 – 23 t TM/ha, TS-Gehalt zu Ernte 30-32 %, standortangepasste Sorten vorhanden
Produktionskosten	▪ ~900,- €/ha ohne Flächenprämie (bei 17 t TM/ha, TS 32 %)
Bodenschutz	▪ Erosionsanfälligkeit: hoch. Maßnahmen: reduzierte Bodenbearbeitung, Engsaat, Untersaat
Humusabfuhr Erntegut	▪ hohe C-Zehrung (-560 kg C/ha/a) bei enger Fruchtfolge. Ziel: max. 50% Anteil = ausgeglichene C-Bilanz
Akzeptanz	▪ Bevölkerungsakzeptanz: gering, insb. bei hohem regionalem Maisanteil ▪ Bewirtschafterakzeptanz: hoch

Tab. 27: Übersicht: gewässerschonende Optimierungsmaßnahmen für den Maisanbau

Mais - Hauptfruchtanbau								
Parameter	**Bewertung**			**Mögliche Optimierungsmaßnahmen**			**Ergebnis nach Optimierungs-maßnahme**	
Stickstoffbedarf (Sollwert)	N-Bilanz deutlich höher als N-Düngung. Jedoch mit steigender N-Zufuhr erhöhte N-Austragung.	180 kg/ha		organ.Dünger-N mit MDÄ 80% berechnen, Sollwertreduzierung, Düngesteuerung, Sortenwahl	20-40 kg/ha		N- Reduzierung bis 150 kg N/ha	
Herbst-Nmin	Mit zunehmender N-Düngung und langjähriger Wirtschafsdüngerzufuhr erhöhte Herbst Nmin-Werte.	>55 kg/ha		Geringen organ. Düngeanteil, Untersaat, früher Z-Fruchtanbau, Bodenruhe, Fruchtfolgeauf-weitung	15-30 kg/ha		mittlere Effizienz	
N-Bilanz	Deutliche negative N-Salden, auch bei hohen Herbst-Nmin-Werten	-60 kg N/ha		Düngesteuerung	20-40 kg/ha		weitere Absenkung ohne Unterversor-gung möglich	
Humuswirkung	Stark humuszehrend, da Gesamtpflanze abgefahren wird.	-560 kg C/ha		Fruchtfolge, Untersaat, Zwischenfruchtanbau, Gärrestdüngung	>120-380 kgC/ha		mittlere Effizienz, limitierender Faktor P Bodenversorgungs-klasse	
Wasserbedarf	Benötigt wenig Wasser, jedoch gleichbleibend über die gesamte Vegetationszeit.	300-400 l H_2O/kg TM		Fruchtfolgegestaltung, reduzierte Bodenbearbei-tung, Sortenwahl, Bestandesdichte, Saatzeit	~50 l/kg TM		Verbesserung möglich	
Pflanzenschutz-austrag	Anwendung bodenbürtige langwirksame Herbizidwirk-stoffe, Metabolithe oder über Bodenabtrag.	hoch		Fruchtfolge, Engsaat	mittel		geringe Effizienz	
Bodenerosion	Durch langsames Auf-laufen und Jugendentwick-lung nur geringe Bodenbe-deckung, Reihenabstand >45cm, Starkregen in den Sommermonaten, Hanglagen	hoch		hohe Effizienz: Standort-wahl; geringere Effizienz: Förderung der Jugendent-wicklung, Engsaat, gute Pflanzenverteilung, redu-zierte Bodenbearbeitung	mittel		geringe Effizienz; bei Standortwahl hohe Effizienz	

Skala zur Bewertung des Wasserschutzpotenzials:

- geringes Wasserschutzpotenzial
- mittleres Wasserschutzpotenzial
- hohes Wasserschutzpotenzial

7.2.2 Gräseruntersaaten im Mais

Ziel der Maßnahme: Ziel ist eine bessere Stickstofffixierung im Oberboden und somit die Verminderung N-Auswaschung unter und nach Mais. Weitere positive Effekte werden in der Minderung von Bodenerosion und von Bodenverdichtungen sowie in einer Verbesserung der Humusbilanz gesehen.

Hinweise zum Anbau: Grundsätzlich kommen Gräseruntersaaten mit und ohne Nachnutzung für einen Anbau im Mais in Frage.

Als Untersaat ohne Nachnutzung bietet sich z.B. Rotschwingel an, der durch die Bildung eines ausgedehnten Wurzelwerks Stickstoff gut binden kann, aber dem Mais durch seine eher geringe oberirdische Pflanzenmasse wenig Konkurrenz macht. Untersaaten ohne Nachnutzung eignen sich als Alternative zur Zwischenfrucht gerade dann, wenn die Maisernte so spät erfolgt, das die Aussaat einer Zwischenfrucht nicht mehr den zur N- Bindung erforderlichen Massenwuchs vor Winter erzielen kann.

Eine Nachnutzung der Untersaat bietet sich z. B. an, wenn die Folgefrucht eine spät gesäte Sommerung ist, der Aufwuchs als Gärsubstrat genutzt werden soll oder wenn noch ein Weidegang vorgesehen ist. Als Untersaaten mit Nachnutzung eignen sich z.B. massenwüchsige Weidelgräser.

Untersaaten benötigen einen guten Bodenschluss und sollten daher in den Boden abgelegt werden. Gute Resultate zeigen frühe Aussaaten mit Saatbettkombination. Späte Untersaaten können zum späteren 4-6-Blattstadium des Maises mit dem Striegel ausgesät werden. Auch beim Mais Engsaatverfahren (35 cm Reihe) ist eine frühe Aussaat von Untersaaten möglich. Die Untersaaten hatten in den Versuchen keinen negativen Einfluss auf den Maisertrag.

Hinweise zum Pflanzenschutz: Der Fruchtfolgegestaltung und dem Pflanzenschutzmanagement muss hingegen zur Reduzierung des Hirsedruckes und des Besatzes an Einjähriger Rispe eine wesentlich größere Bedeutung zukommen, damit in der Praxis das grundwasserschonende Verfahren auf hohe Akzeptanz stößt. Auf Standorten mit sehr hohem Hirsedruck muss eine Fruchtfolgeaufweitung mit Wechsel von Winterungen und Sommerungen erfolgen.

Kurzbewertung Wasserschutz: Eine Senkung des Herbst N_{min} um ca. 30 kg N/ha und der Sickerwasserkonzentration um 20 – 40 mg NO_3/l ist möglich. Untersaaten sind als Optimierungsmaßname im Mais bei ausreichender Wasserverfügbarkeit gut einsetzbar. Für die langfristige Wasserschutzleistung von Grasuntersaaten ist die Anrechnung der N-Nachlieferung bei der Folgekultur von größter Wichtigkeit. Auch zur N- Reduzierung im Sonnenblumenanbau sind Untersaaten vorstellbar. Hier besteht jedoch noch Untersuchungsbedarf.

Tab. 28: Kurzbewertung: Mais mit Gräser-Untersaaten

Kurzbewertung: Mais mit Gräser-Untersaaten	
Parameter:	**Bewertung:**
Angepasste Düngung	▪ 150 kg N/ha ohne Ertragsverluste möglich ▪ an Standort angepasste Sortenwahl ist erforderlich
N-Flächenbilanzsaldo	▪ i. d. R. negative N- Salden vorhanden, weitere Absenkung ggf. möglich
Herbst-N_{min} Wert	▪ Durch Untersaat werden ca. 30 kg N/ha über Winter in der Gras-Wurzelmasse gebunden. Dadurch ist eine Absenkung des Herbst- Nmin um 10 - 40 kg N/ha möglich. ▪ Sehr gute Herbst-N_{min}-Absenkung bei früh räumenden Maissorten. ▪ Wichtig: N-Nachlieferung aus Untersaat bei Folgekultur anrechnen.
Pot. N-Konzentration im Sickerwasser	▪ Durch Absenkung der Herbst-Nmin-Werte in der Größenordnung 20 – 40 mg NO_3/l zu erwarten.
Wasserbedarf	▪ Transpirationskoeffizient: leicht erhöht bei Weidelgras gegenüber Reinsaat. ▪ kritisch ggf. bei Frühsommertrockenheit, Maßnahmen: dünne Aussaatstärke, Sortenwahl
Ertrag	▪ Keine Ertragsminderung der Hauptkultur zu erwarten (bei ausreichender Wasserversorgung) ▪ Frühe Untersaat als Gründüngung ▪ als Untersaat mit Nachnutzung 1-2 Schnitte möglich
Produktionskosten	▪ ~950 €/ha ohne Flächenprämie (Mais: 17 t TM/ha, TS 32 %)
Bodenschutz	▪ Optimale Erosionsminderung, bessere Befahrbarkeit, Reduktion von Strukturschäden
Humusabfuhr Erntegut	▪ Positive Humusbilanz. Als Winterzwischenfrucht +120 kg C/ha; ▪ Ackergras als Untersaat +200 kg C/ha
Akzeptanz	▪ Bevölkerungsakzeptanz: voraussichtlich hoch ▪ Bewirtschafterakzeptanz: mit zunehmender Erfahrung wächst die Akzeptanz

7.2.3 Zwischenfrüchte vor Sommerungen (Grünroggen)

Ziel der Maßnahme: Es wird eine verbesserte N-Fixierung im Oberboden, eine Verminderung der N-Auswaschung und der Bodenerosion, die Verbesserung der Humusbilanz sowie eine zusätzliche Biomasseernte erwartet.

Hinweise zum Anbau: Die Maßnahme ist prinzipiell durch den positiven Effekt der Bodenbedeckung und den N- Entzug über Winter zu begrüßen. Auch im Energiepflanzenanbau spielt der Anbau von Zwischenfrüchten eine wichtige Rolle, nicht nur, um die N- Verlagerung über Winter zu reduzieren und die Humusbilanz zu verbessern sondern auch, um z.B. mit einer Grünroggenernte Ende April schon im zeitigen Frühjahr ein Substrat für die Biogasanlage zu werben. Es folgt z.B. der Silomais als Hauptfrucht zum regulären Aussaattermin Anfang Mai. Die hektarbezogene Jahresertragsleistung lässt sich somit steigern.

Problematisch ist jedoch die mit dem Zwischenfruchtanbau i.d.R. einhergehende Ausbringung von Gärresten im Herbst. Wenn es sich um Flächen mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr handelt, sollte darauf verzichtet werden, da die Herbstausbringung die N-Auswaschungsgefahr steigert und nur eine suboptimale Verwertung der Nährstoffe im Vergleich zu einer Frühjahrsausbringung ermöglicht.

Kurzbewertung Wasserschutz: Eine Minderung des Herbst-N_{min} um 30 – 40 kg N/ha mit entsprechender Sickerwasserentlastung sowie N-Fixierung im Oberboden über Winter und Erosionsminderung ist möglich, wobei auf mineralisationsstarken Standorten auf eine Herbstandüngung zu verzichten ist.

Tab. 29: Kurzbewertung: Zwischenfrüchte vor Sommerungen (Grünroggen)

Kurzbewertung: Zwischenfrüchte vor Sommerungen (Grünroggen)	
Parameter:	**Bewertung:**
Angepasste Düngung	▪ Verzicht auf Herbstandüngung bei hohem Mineralisationspotential, sonst max. 40 kg N/ha.
N-Flächenbilanzsaldo	▪ ca. 30- 40 kg N/ha Reduktion*
Herbst-N_{min} Wert	▪ ca. 30-40 kg N/ha Reduktion*
Pot. N-Konzentration im Sickerwasser	▪ durch reduzierte Herbst-N_{min}-Werte zu erwarten ▪ Reduktion um 30 - 50 mg NO_3/l *möglich
Wasserbedarf	▪ Transpirationskoeffizient: ~210 l H_2O/kg TM** ▪ auf sehr leichten Standorten mit geringem Niederschlag ggf. Problem für die nachfolgende Hauptfrucht
Ertrag	▪ als Bodenmelioration keine Ernte ▪ für Biogas: Grünschnittroggen mit 2-7 t TM/ha Ende April
Produktionskosten	▪ ~450,- €/ha bei Beerntung, prämienfrei (6 t TM/ha, TS ~22 %)
Bodenschutz	▪ Optimale Erosionsminderung, Reduktion von Strukturschäden
Humusabfuhr Erntegut	▪ Positiv (+ 120 kg C/ha)
Akzeptanz	▪ Bevölkerungsakzeptanz: hoch ▪ Bewirtschafterakzeptanz: hoch

*) Zahlenangaben Reduktionspotenzial auf Basis der durch die Bezirksregierung 2003/03 erfassten Mittelwerte der Angaben der niedersächsischen Beratungsbüros und LWK sowie eigener Ergebnisse
**) Quelle: KAIMBACHER, B. 2007 (Spanne von 144 – 282 l H_2O/kg TM)

7.2.4 Sonnenblumen-Hauptfruchtnutzung

Ziel der Maßnahme: Die Fruchtfolgeaufweitung durch Etablierung einer kälteangepassten C_3 Pflanze wie der Sonnenblume ermöglicht eine Senkung des N-Düngeniveaus und führt zur Humusstabilisierung. Die Wasserschutzkriterien N_{min}-Wert und N- Bilanz nach Sonnenblumen wurden geprüft.

Tab. 30: Kurzbewertung: Sonnenblumen

Kurzbewertung: Sonnenblumen	
Parameter:	**Bewertung:**
Angepasste Düngung	▪ 90-110 kg N/ha
N-Flächenbilanzsaldo	▪ i. d. R. negative Salden vorhanden, weitere Absenkung ggf. möglich
Herbst-N_{min} Wert	▪ Werte von < 55 kg N/ha* ▪ starke Nachmineralisation nach der Ernte ▪ Absenkung des Herbst- N_{min} möglich
Pot. N-Konzentration im Sickerwasser	▪ durch reduzierte Herbst-N_{min}-Werte zu erwarten
Wasserbedarf	▪ Transpirationskoeffizient: hoch, 500-600 l H_2O/kg TM ▪ hoher Wasserbedarf. Kommt gut mit Feuchte und kühlen Temperaturen klar
Ertrag	▪ 10 – 15 t TM/ha. Ca. 4-7 t TM/ha niedriger als Maishauptfrucht. ▪ Niedriger TS-Gehalt von ~ 22-28 % ▪ Durch Züchtung Leistungssteigerung erwartet
Produktionskosten	▪ ~750,- €/ha ohne Flächenprämie (12 t TM/ha, TS 25 %)
Bodenschutz	▪ Erosionsgefährdung: hoch. Maßnahme: red. Bodenbearbeitung ▪ rel. geringer Anspruch an Bodenstruktur, spätsaatverträglich
Humusabfuhr Erntegut	▪ - 280 kg C/ha
Akzeptanz	▪ Bevölkerungsakzeptanz: sehr hoch ▪ Bewirtschafterakzeptanz: eingeschränkt mangels Erfahrung und geringer Ertragsleistung

*) 3 jährige Versuche der FNR zeigen bei rein mineralischer Düngung einen Herbst-N_{min} von 30 kg N/ha und eine Reduktion gegenüber Mais von 20 kg N/ha.

Hinweise zum Anbau: Die Sonnenblume ist als C_3 - Pflanze an kühlere Klimate und Feuchte angepasst. Sie kombiniert ein gutes Nährstoff- und Wasseraneignungsvermögen mit einem relativ niedrigen N-Düngebedarf von 90 kg N/ha.

In der Fruchtfolge sollte sie maximal alle vier Jahre erscheinen. Die Übertragung der Pilzkrankheit Sclerotinia sclerotiorum (Stängelfäule) erfolgt auch durch Raps und Erbsen. Daher muss zu diesen Kulturen ebenfalls eine Anbaupause von mindestens 4 Jahren erfolgen.

Die Sonnenblume stellt geringe Ansprüche an die Bodenstruktur und eignet sich auch für die Zweikultur-Nutzung. Bei der Sortenwahl muss zwischen dem Anbauziel Hauptfruchtanbau oder Zweitfruchtanbau unterschieden werden. Im Hauptfruchtanbau ist die Vegetationsdauer mit 130-150 Tagen ähnlich lang wie die des Maises.

Aufgrund ihres Ölgehaltes ist eine Silierung gemeinsam mit Mais vorteilhaft, d.h. das Fahrsilo ist abwechselnd mit Mais und Sonnenblumen zu befüllen.

Das Ertragsniveau von Sonnenblumen kann derzeit nicht das von Silomais erreichen und auch die TS- Gehalte sind häufig noch zu gering, weshalb Sonnenblumen nur eine ergänzende Stellung im Energiepflanzenanbau einnehmen können. Eine züchterische Weiterentwicklung ist erforderlich.

Hinweise zum Pflanzenschutz: Erst ab Reihenschluss ist die Sonnenblume durch die Ausbildung großer Blätter gegenüber Unkräutern konkurrenzstark. Pflanzenschutzmaßnahmen sind vorwiegend im Vorauflauf-Verfahren möglich, derzeit sind nur wenige Präparate

zugelassen. Für die Gräserbekämpfung steht zur Zeit nur ein Nachauflaufherbizid zur Verfügung. Auch durch mechanische Bekämpfung nach dem Auflaufen bis vor Reihenschluss mittels Hacke lassen sich Unkräuter und Gräser gut bekämpfen.

Kurzbewertung Wasserschutz: Der niedrige N-Düngebedarf der Sonnenblume mindert das N-Verlagerungsrisiko im Frühsommer. Im Ernte- N_{min} liefert sie reduzierte Werte gegenüber Mais (~ -20 kg N/ha). Die zum Herbst hin tendenziell ansteigenden N_{min}-Werte scheinen aus der hohen Nacherntemineralisation von Ernterückständen zu resultieren und bedürfen einer weiteren Untersuchung. Hier werden ergänzende Maßnahmen wie Untersaaten oder ein gezieltes Nacherntemanagement, u. a. durch reduzierte Bodenbearbeitung empfohlen.

Tab. 31: Übersicht: gewässerschonende Optimierungsmaßnahmen für den Sonnenblumenanbau

Sonnenblumen								
Parameter	**Bewertung**			**Mögliche Optimierungsmaßnahmen**			**Ergebnis nach Optimierungsmaßnahme**	
Stickstoffbedarf (Sollwert)	Derzeitiges Sortenspektrum benötigt deutlich weniger als Mais. Als Zweitkultur geringer N-Bedarf.	60-120 kg/ha		organ.Dünger-N mit MDÄ 80% berechnen, Düngesteuerung, Sortenwahl	120 kg/ha um 20 kg/ha		Absenkung der hohen N-Gabe ohne Unterversorgung möglich, K-Versorgung beachten.	
Herbst-Nmin	Ernte Nmin deutlich niedriger als unter Mais, Herbst Nmin steigt auf Maisniveau an.	>50 kg/ha		Geringen organ. Düngeanteil, Untersaat, früher Z-Fruchtanbau, Bodenruhe*	15-30 kg/ha		mittlere Effizienz*	
N-Bilanz	I. d. R. negative N-Salden, auch bei hohen Herbst-Nmin-Werten	< -60 kg/ha						
Humuswirkung	Hinterlässt sehr gute Bodengare. Humusreproduktion durch 20 cm Stängellänge und starke Durchwurzelung.	-280 kg C/ha		Untersaat, Zwischenfruchtanbau, Gärrestdüngung, höhere Häcksellänge >20cm, Sonnenblumen erweitern Fruchtfolge.	>120-400 kgC/ha*		mittlere Effizienz*, limitierender Faktor P Bodenversorgungsklasse bei Gärrestdüngung	
Wasserbedarf	Tiefe Durchwurzelung wodurch auf Grenzstandorten Wasserentzug relativ hoch sein kann.	500-600 l H_2O/kg TM		Sortenwahl derzeit nur eingeschränkt möglich, reduzierte Bodenbearbeitung			Effizienzsteigerung Untersuchungsbedarf	
Pflanzenschutzaustrag	Herbizidmittelwahl äußerst gering	mittel		Optimales Saatbett, Engsaat	mittel bis positiv		mittlere Effizienz	
Bodenerosion	Vorwiegend bei weitem Reihenabstand.	mittel		Engsaat, gute Pflanzenverteilung, Jugendentwicklung fördern, Untersaat.	mittel		mittlere Effizienz	

** Annahme, Untersuchungsbedarf besteht*

Skala zur Bewertung des Wasserschutzpotenzials:

- geringes Wasserschutzpotential
- mittleres Wasserschutzpotential
- hohes Wasserschutzpotential

7.2.5 Mais-Sonnenblumen-Mischanbau

Ziel der Maßnahme: Es wird durch die Kulturartenerweiterung ein niedriges N- Düngeniveau, der Erhalt der Bodenstabilität durch eine bessere Humusbilanz und ein positiver Effekt auf den Herbst N_{min}-Wert erwartet.

Hinweise zum Anbau: Der Mischanbau von Mais mit Sonnenblumen in Streifen, hier zu jeweils 4 Reihen untersucht, bedarf eines guten ackerbaulichen Managements. Neben der Sortenwahl und der Aussaat ist das Pflanzenschutzmanagement direkt nach der Saat wichtig. In den Versuchsjahren zeigte sich, dass derzeit die praktische Umsetzung des Mischanbaues schwierig ist. Die unterschiedliche Korngröße der Kulturen macht ein Umrüsten der Säschare an der Drillmaschine erforderlich. Zusätzlich erschwert die nur beim Mais erforderliche Unterfußdüngung die gemeinsame Aussaat.

Da das Unkrautmanagement nur im Vorauflauf und die Gräserbekämpfung im Nachauflauf nur mit einer eingeschränkten Mittelauswahl und angepassten Sorten erfolgen kann, scheidet der Mischanbau auf sehr leichten und sehr humosen Standorten aus. Auch das derzeitige Angebot an Mais-Sonnenblumen Mischungen ist gering und kann deshalb nicht auf allen Standorten eingesetzt werden.

Auch hinsichtlich des Düngebedarfes bestehen Unterschiede, so dass eine am Bedarf orientierte Düngegabe erschwert wird. Im Bezug auf die schlagbezogene Humusbilanz wirkt sich der Mischanbau jedoch positiv aus. Positive Synergieeffekte hinsichtlich der Ertragsleistung konnten nicht festgestellt werden. Auch andere Untersuchungen zeigen, dass der Mischanbau i. d. R. den mittleren Ertrag des jeweiligen Reinanbaus erbringt. Ähnlich verhält es sich mit dem Herbst-N_{min} Wert.

Kurzbewertung Wasserschutz: Aus Aspekten des Wasserschutzes ist wie auch aus ackerbaulichen Aspekten ein Reinanbau der jeweiligen Kulturen dem Mischanbau vorzuziehen. Angedacht werden kann dagegen ggf. der Streifenanbau von Sonnenblumen an Feldrändern, was jedoch in erster Linie einer optischen Aufwertung und damit Akzeptanzsteigerung gleich kommt.

Tab. 32: Kurzbewertung: Mais-Sonnenblumen-Mischanbau

Kurzbewertung: Mais – Sonnenblumen - Mischanbau	
Parameter:	**Bewertung:**
Angepasste Düngung	▪ 140 kg N/ha möglich
N-Flächenbilanzsaldo	▪ i. d. R. negative Salden vorhanden, weitere Absenkung ggf. möglich
Herbst-N_{min} Wert	▪ Werte um 60 kg N/ha ▪ Absenkung des Herbst- N_{min} möglich
Pot. N-Konzentration im Sickerwasser	▪ durch reduzierte Herbst-N_{min}-Werte zu erwarten
Wasserbedarf	▪ Transpirationskoeffizient: mittel, Mais 300 – 400 H_2O/kg TM; Sonnenblumen 500-600 H_2O/kg TM
Ertrag	▪ Mittel aus den jeweiligen Reinerträgen. Ca. 2-5 t TM/ha niedriger als Maisreinanbau
Produktionskosten	▪ ~850,- €/ha prämienfrei (14 t TM/ha, TS 29 %)
Bodenschutz	▪ Erosionsgefährdung: hoch
Humusabfuhr Erntegut	▪ Mischanbau zählt als eigenständige Kultur, Mittel aus beiden Kulturen: -420 kg C/ha
Akzeptanz	▪ Bevölkerungsakzeptanz: hoch ▪ Bewirtschafterakzeptanz: gering, hohe technische Anforderungen

7.2.6 Sorghumarten Hauptfruchtnutzung

Ziel der Maßnahme: Der Anbau dieser „neuen“ wassereffizienten C_4 -Pflanze erfolgte zur Überprüfung der Standorteignung, des Biomasseertrages, der Anbaueigenschaften sowie der möglichen Wasserschutzleistung anhand N_{min}-Werten und N- Bilanzen.

Tab. 33: Kurzbewertung: Sudangras und Sorghum bicolor

Kurzbewertung: Sudangras und Sorghum bicolor	
Parameter:	**Bewertung:**
Angepasste Düngung	▪ ähnlich Mais
N-Flächenbilanzsaldo	▪ i. d. R. negative Salden vorhanden, weitere Absenkung ggf. möglich
Herbst-N_{min} Wert	▪ Absenkung des Herbst-N_{min} gegenüber Mais nicht zu erwarten ▪ nur bei angepasster Düngung und geringem org. Anteil niedrige Werte zu erwarten
Pot. N-Konzentration im Sickerwasser	▪ nur bei reduzierten Herbst-N_{min}-Werten zu erwarten
Wasserbedarf	▪ Transpirationskoeffizient: niedrig, 200-300 l H_2O/kg TM ▪ C4-Pflanze: verträgt hohe Sonneneinstrahlung, trockenstressresistenter als Mais, spätsaatverträglich
Ertrag	▪ ~15 t TM/ha auf guten Standorten. ▪ durch Züchtung Leistungssteigerung erwartet ▪ TS-Gehalte z. T. niedrig ▪ hohe Ansprüche an das Saatbett und Standort
Produktionskosten	▪ ~ 850,- €/ha ohne Flächenprämie (14 t TM/ha, TS 24 %)
Bodenschutz	▪ Erosionsgefährdung mittel. Reihenkultur wie Mais aber sortenabhängige Bildung von Bestockungstrieben
Humusabfuhr Erntegut	▪ Derzeit liegen noch keine Werte vor. ▪ erweitert die Fruchtfolge
Akzeptanz	▪ Bevölkerungsakzeptanz: hoch ▪ Bewirtschafterakzeptanz: eingeschränkt mangels züchterischem Rückstand

Hinweise zum Anbau: Sorghumarten sind wärmeliebende Pflanzen mit einem niedrigen Transpirationskoeffizienten. Es werden daher bei einem Anbau unter trockenen Anbaubedingungen, in Zweitfruchtstellung sowie unter dem Aspekt des Klimawandels Vorteile erwartet.

In den Versuchsjahren 2007 bis 2009 wurde jedoch deutlich, dass Sorghum sudanense und Sorghum bicolor hohe Ansprüche an ackerbauliche Maßnahmen, insbesondere an die Saatbettbereitung (kleines Saatkorn) und an den Pflanzenschutz (Gräserkonkurrenz) stellen. Darüber hinaus sind für eine gute und zügige Keimung sowie Jugendentwicklung entsprechende Temperaturbedingungen (hohe Kälteempfindlichkeit) und ausreichende Bodenfeuchte notwendig. Durch intensive Züchtungsmaßnahmen werden diese Feinsämereien zukünftig sicherlich besser auf deutsche Standortbedingungen adaptiert und in der Ertragsleistung gesteigert. Für den Grundwasserschutz besteht vor allem im Bereich der Produktionstechnik und im Dünge- sowie Pflanzenschutzmanagement (N-Düngungshöhe, N-Düngungszeitpunkt sowie Pflanzenschutzeinsatz) noch ein hoher Untersuchungsbedarf.

Für Biomasseerträge über 15 t TM/ha, wie sie am Standort Leinetal in 2007 gezeigt werden konnten, benötigen Sorghumarten wie z.B. Sorgum sudanense ausreichend Wärme und tiefgründige, gut wasserführende Böden. Ungeeignet sind verdichtete, staunasse und spätfrostgefährdete Böden. Die erforderlichen TS-Gehalte von 30 % werden derzeit nicht erreicht.

Hinweise zum Pflanzenschutz: Derzeit besteht eine allgemeine Genehmigung für den Einsatz einiger boden- und blattwirksame Herbizidprodukte im Nachauflauf ab dem 2-Blattstadium, wie Terbuthylazin- und S-Metolachlor- Präparate, die durch den Einsatz im Maisanbau häufig in Gewässern nachgewiesen werden. Standorte mit starkem Unkrauthirsedruck sollten gemieden werden. Eine wendende Bodenbearbeitung empfiehlt sich vor Sorghumhirse in Zweitfruchtstellung, um den Besatz mit Ausfallgetreide zu reduzieren.

Kurzbewertung Wasserschutz: Aufgrund der unsicheren und wechselhaften Ertragsleistung von Sorghumarten können derzeit keine anbau- oder kulturartbedingte Vorteile hinsichtlich der Herbst- N_{min}-Werte festgestellt werden. Hohe Ertragsschwankungen erschweren zudem eine bedarfsorientierte Düngung, was das Auswaschungsrisiko erhöht. Zur Fruchtfolgeauflockerung und aus phytosanitären Aspekten sollte dem Sorghumanbau jedoch weiterhin Beachtung zukommen. Auch beim Sorghumanbau können ergänzende grundwasserschonende Maßnahmen ergriffen werden.

Tab. 34: Übersicht: gewässerschonende Maßnahmen für den Sorghumanbau

Sorghumhirse								
Parameter	**Bewertung**			**Mögliche Optimierungsmaßnahmen**			**Ergebnis nach Optimierungs-maßnahme**	
Stickstoffbedarf (Sollwert)	Im Hauptfruchtanbau derzeit ähnlich Mais; als Zweitkultur N-Bedarf niedriger (~140 kg N/ha)	160-180 kg/ha		MDÄ 80%, Düngesteuerung, ausreichende Erfahrungen liegen noch nicht vor.	20 kg/ha		N- Reduzierung bis 160 kg N/ha Sollwert derzeit möglich	
Herbst Nmin	Herbst Nmin-Werte noch nicht hinreichend untersucht, Tendenz niedriger als nach Mais.	>50 kg/ha		Geringer org. Düngeanteil, sehr gute Saatbettbereitung für zügige Keimung und Jugendentwicklung, angepasste N-Düngung, Bodenruhe.	15-30 kg/ha		mittlere Effizienz*	
N-Bilanz	Negative Salden	<10 kg/ha		Düngesteuerung	20 kg/ha		Absenkung ohne Unterversorgung muss noch hinreichend untersucht werden.	
Humuswirkung	Offizielle Werte für Humusvorrat liegen derzeit noch nicht vor. Aufgrund der kompletten Pflanzenabfuhr vorläufig Bewertung wie Mais.	-560 kg C/ha		Zwischenfruchtanbau als Gründüngung, Gärrestdüngung	>120-400 kgC/ha		mittlere Effizienz, Untersuchungsbedarf besteht	
Wasserbedarf	Sortenabhängig, derzeit können einige Sorten mit 450 mm Jahresniederschlägen noch gute Erträge erzielen.	200-300 l H_2O/kg TM		Derzeit lediglich den geringen Wasserbedarf optimal nutzen, vor allem durch optimale Bestandesführung (Saat bei Bodentemperaturen >14°C, sehr gut abgesetztes Saatbett).				
Pflanzenschutzaustrag	Teilweise stark verzögertes Auflaufen und langsame Jugendentwicklung. Geringe Wirkstoffauswahl.	mittel		Reihenabstand max. 45 cm, optimale Bestandesführung, Fruchtfolgegestaltung			geringe Effizienzsteigerung*	
Bodenerosion	Benötigt sehr feinkrümeliges Saatbett, Auflauf und Jugendentwicklung kritische Entwickungsstadien	mittel		Reihenabstand max. 45 cm			mittlere Effizienz	

** Bedarf weiterer Untersuchungen*

Skala zur Bewertung des Wasserschutzpotenzials:

geringes Wasserschutzpotential

mittleres Wasserschutzpotential

hohes Wasserschutzpotential

7.2.7 Anbau im Zweikultur-Nutzungssystem

Ziel der Maßnahme: Überprüfung des neuen Anbausystems auf Praxisbetrieben hinsichtlich der Praktikabilität und den Standortansprüchen. Erwartet werden bedingt durch den langen N- Entzug niedrigere Herbst-N_{min} - Werte und N-Bilanzen.

Hinweise zum Anbau: Entscheidend in der Zweikultur-Nutzung ist der Ganzjahresertrag von Erst- und Zweitkultur (KARPENSTEIN, 2005; STÜLPNAGEL et. al. 2009). Gegenwärtig untersucht und auch in den Demoversuchen getestet werden die Kombinationen von Getreide, insbesondere Roggen als Erstkultur mit Mais, Sonnenblumen oder Sorghumarten als Zweitkultur. Die Erstkultur räumt zur Milch- bis Teigreife (BBCH 73-75) zum Ende Mai das Feld und es folgt im Anschluss die Sommerung, deren Ernte bei BBCH 75-80 Anfang Oktober erfolgt. Beide Kulturen haben eine verkürzte Vegetationszeit, wobei die massebildende, vegetative Phase jeweils abgeschlossen sein sollte. Durch zwei Ernten pro Jahr werden hohe Biomasseerträge und eine maximale Ausnutzung der Vegetationszeit mit langer Bodenbedeckung erwartet.

In den Feldversuchen zeigte sich, dass bei einer intensiven Bestandesführung auf tiefgründigen, gut wasserführenden Böden die Zweikultur-Nutzung von GPS-Roggen plus Mais, Sonnenblumen oder Zuckerhirse relativ hohe Gesamterträge und deutlich reduzierte Herbst-N_{min}-Werte erreicht werden. Auch auf sandigen Böden wird der Herbst-N_{min} durch die Zweikultur-Nutzung deutlich reduziert. Jedoch muss die Wahl der Kulturen stark auf den Standort abgestimmt werden, um hohe Gesamterträge zu erzielen und somit Akzeptanz in der Praxis zu erlangen. Der Deckungsbeitrag ist aufgrund höherer Produktionskosten i.d.R. dennoch niedriger als im Hauptfruchtanbau (5-7 t TM an Mehrertrag sind erforderlich).

In reinen Energiefruchtfolgen bietet sich als Zweitkultur vor allem Ackergras, frühreifende Zuckerhirse und Mais an, während sich in Mischfruchtfolgen als Erstkultur auch Frühkartoffeln und als Zweitkultur Sonnenblumen, Zuckerhirse oder Mais eignen. Der Wasserbedarf ist hoch, daher kann auf leichten Böden Beregnungsbedarf bestehen.

Kurzbewertung Wasserschutz: Durch die Zweikultur-Nutzung werden Herbst-N_{min}-Werte zwischen 25 – 40 kg N/ha ermöglicht. Die Maßnahme kann daher auf Standorten mit hohem Mineralisationspotential bedingt durch langjährige Wirtschaftsdüngerzufuhr oder auf Umbruchflächen optimierend eingesetzt werden. Im Hinblick auf die Gärrestverwertung wird durch die Zweikultur-Nutzung ein weiteres Ausbringfenster während der Vegetationszeit geöffnet und somit der Druck zur späten Herbstausbringung gemindert.

Tab. 35: Kurzbewertung: Zweikultur-Nutzung

Kurzbewertung: Zweikultur-Nutzung	
Parameter:	**Bewertung:**
Angepasste Düngung	▪ 20 – 40 kg N unter Sollwert
N-Flächenbilanzsaldo	▪ deutlich negative N- Salden durch hohen Ertrag und Export der Biomasse
Herbst-N_{min} Wert	▪ ca. 20-40 kg* Absenkung des Herbst-N_{min} gegenüber Hauptfruchtanbau möglich
Pot. N-Konzentration im Sickerwasser	▪ durch reduzierte Herbst-N_{min}-Werte und N-Entzug bis Oktober zu erwarten
Wasserbedarf	▪ Transpirationskoeffizient: erhöhter Wasserbedarf durch 2 Ernten/Jahr; Beispiel: 400 l H_2O/kg TM Getreide-GPS + 400 l H_2O/kg TM Mais ▪ auf leichten, trockenen Standorten Wasserversorgung der Sommerung unsicher
Ertrag	▪ ~15-30 t TM/ha* auf mittleren bis guten Standorten ▪ Leichte Böden mit wenig Niederschlag: ungeeignet ▪ Mittlere Standorte: Risikoabsicherung gegen Sommertrockenheit durch Ertrag aus der Winterung ▪ TS-Gehalte der Zweit-Kultur, z. T. niedrig
Produktionskosten	▪ ~1400,- €/ha prämienfrei (21 t TM/ha)
Bodenschutz	▪ Erosionsgefährdung mittel. Reihenkultur wie Mais
Humusabfuhr Erntegut	▪ abhängig von der Kulturauswahl: ▪ Wi-Roggen + Ackergras als Untersaat: -280 + 200 = -80 kg C/ha ▪ Wi-Roggen + Sonnenblumen: -280+ -280 = -560 kg C/ha
Akzeptanz	▪ Bevölkerungsakzeptanz: wenig bekannt ▪ Bewirtschafterakzeptanz: noch wenig Praxis- Erfahrung ▪ auf guten Standorten vorhanden ▪ auf mittleren – leichten Standorten Unsicherheit bez. Ertrag, Wirtschaftlichkeit ist zu prüfen

7.2.8 Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS)

Ziel der Maßnahme: Getreidearten eigenen sich als Energiepflanzen besonders für mittlere bis schwache Standorte und zur Fruchtfolgeaufweitung. Erwartet werden niedrige Herbst-N_{min} Werte und geringe Sickerwasserbelastungen, eine geringe Erosionsanfälligkeit, eine hohe Ertragssicherheit und ein kostengünstiger Anbau.

Hinweise zum Anbau: Die Leistung des GPS-Anbaues ist nicht nur vom Standort sondern auch von der Kulturart abhängig. Hohe Erträge werden auf ertragsstarken Standorten erzielt, wo Getreide- GPS ergänzend zum Maisanbau in die Fruchtfolge aufgenommen werden kann. Neben Roggen bietet sich für bessere Standorte auch Triticale zum Anbau an. Auf Grenzstandorten für den Ackerbau lässt insbesondere Roggen-GPS zuverlässige Erträge ohne hohe Produktionskosten erwarten. Zudem fällt auf diesen Standorten auch das Ertragspotenzial von Mais ab, so das Getreide-GPS eine ertraglich und wirtschaftlich gute Alternative darstellt. Eine N-Düngung zu GPS ~20 kg unter dem Sollwert ist ausreichend, da anders als bei der Körnerproduktion keine Qualitätsgaben erforderlich sind. Durch die Ernte Mitte bis Ende Juni bleibt Zeit zum Anbau einer Sommerzwischenfrucht, die einen erntewürdigen Ertrag ermöglicht. Auch die Kombination mit einer Gräseruntersaat ist möglich. Ein besonderes Augenmerk muss jedoch auf die Vergärungseigenschaft von GPS-Getreide gelegt werden. In einigen Anlagen erfordert die Zufütterung von GPS-Getreide eine erhöhte Rührleistung und führt zu höheren Wartungskosten.

Kurzbewertung Wasserschutz: Getreideganzpflanzensilage ist aus Wasserschutzaspekten eine sehr geeignete Kultur mit Herbst-N_{min}-Werten um 30 kg N/ha und geringem Auswaschungs- sowie Erosionsrisiko. Auch der Pflanzenschutzmittelbedarf ist bei der energetischen Nutzung gering.

Tab. 36: Kurzbewertung: Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS)

Kurzbewertung: Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS)	
Parameter:	**Bewertung:**
Angepasste Düngung	▪ ~ 20 kg N/ha unter dem Sollwert von Marktfruchtgetreide
N-Flächenbilanzsaldo	▪ ausgeglichene negative Salden möglich
Herbst-N_{min}-Wert	▪ Werte <30 kg Herbst-Nmin möglich. ▪ deutliche Minderung gegenüber Mais
Pot. N-Konzentration im Sickerwasser	▪ durch niedrige Herbst-Nmin-Werte zu erwarten ▪ geringe Gefahr des Stoffaustrages mit Sommerniederschlägen
Wasserbedarf	▪ Transpirationskoeffizient: 400 l H_2O/kg TM ▪ Nutzt Winterniederschläge aus. Daher weniger trockenstressanfällig als Sommerungen
Ertrag	▪ 12-17 t TM/ha.*[1] bei Ernte Ende Juni. Auf leichten Standorten zu Mais konkurrenzfähig ▪ Spätsaatverträglich
Produktionskosten	▪ ~550,- €/ha ohne Flächenprämie
Bodenschutz	▪ Erosionsanfälligkeit: gering
Humusabfuhr Erntegut	▪ -280 kg C/ha
Akzeptanz	▪ Bevölkerungsakzeptanz: hoch ▪ Bewirtschafterakzeptanz: hoch

*1) dreijährige Versuche der FNR. Eigene Versuche zeigen 8 – 15 t TM/ha. Erntetermin erfolgte ab Anfang Juni, um eine Zweitkultur zu testen.

7.2.9 Grasuntersaaten im Wintergetreide

Ziel der Maßnahme: Durch die frühzeitige Etablierung einer Grasnarbe im Wintergetreide sollte die Möglichkeit einer Nachnutzung in Erwartung niedriger N_{min}-Werte, der Vermeidung von N-Austrägen, verbessertem Erosionsschutz und einer besseren Befahrbarkeit geprüft werden.

Hinweise zum Anbau: Untersaaten können auch in Getreidewinterungen eingebracht werden. Vor allem auf Standorten mit niedriger Wertigkeit erscheint eine Gras-Untersaat im GPS-Getreide ein günstiges produktionstechnisches Anbauverfahren zur Etablierung einer Zweitkultur. Diese kann je nach Verwertungsziel noch im gleichen Jahr und/oder auch im folgenden Frühjahr geschnitten werden. Eine Nachnutzung kann sowohl zu Futterzwecken (Beweidung) oder als Biogassubstrat erfolgen. Die Wasserschutzleistung dieses Anbaussystems wird hoch eingeschätzt. Erste Versuche im Rahmen des M&P Vorhabens erfolgten 2008 und 2009 als Herbstuntersaat in Winterroggen. Als Untersaat wurden 20 kg Wiesenschwingel pro Hektar direkt mit dem Winterroggen ausgesät. Nach der Deckfruchternte bedeckt die Untersaat flächendeckend sehr schnell den Boden. Der Herbst-N_{min}-Wert wurde deutlich gesenkt. Das eigentlich alte Anbauverfahren ist jedoch in der Praxis nur noch wenig bekannt und daher derzeit nicht verbreitet.

Hinweise zum Pflanzenschutz: Die Herbizidmaßnahme muss auf die Untersaat abgestimmt werden. Allgemein sind Wuchsstoffherbizide relativ verträglich, während Sulfonylharnstoffe Schäden verursachen können.

Kurzbewertung Wasserschutz: Untersaaten in Winterungen führen zu niedrigen Herbst-N_{min}-Werten von 20 – 30 kg N/ha, binden Stickstoff in der Wurzelmasse und ermöglichen einen zusätzlichen Biomasseertrag. Sie können daher, insbesondere auf Standorten mit ausreichender Wasserverfügbarkeit, empfohlen werden.

Tab. 37: Kurzbewertung: Grasuntersaaten im Wintergetreide

Kurzbewertung: Grasuntersaaten im Wintergetreide	
Parameter:	**Bewertung:**
Angepasste Düngung	▪ zusätzl. ~50 kg /ha für die Untersaat mit Nutzung
N-Flächenbilanzsaldo	▪ negative Salden möglich
Herbst-N_{min} Wert	▪ Absenkung des Herbst- N_{min} ca. 30 kg/ha. N-Bindung in der Wurzelmasse. ▪ Bei Nachnutzung im Folgejahr frühzeitige N- Aufnahme im Frühjahr
Pot. N-Konzentration im Sickerwasser	▪ durch reduzierte Herbst-N_{min}-Werte u. N- Fixierung zu mind. ~ 30 kg N/ha Reduktion zu erwarten
Wasserbedarf	▪ Als Untersaat leicht erhöht: dünne Aussaatstärke anstreben. ▪ Transpirationskoeffizient: 600 l H_2O/kg TM* ▪ Nutzt Winterniederschläge aus.
Ertrag	▪ >5 t/ha TM aus Untersaat möglich
Bodenschutz	▪ Erosionsanfälligkeit: optimaler Erosionsschutz.
Humusabfuhr Erntegut	▪ positive Humusbilanz der Untersaat. ▪ Bsp:+200 Untersaat +- 280 kg WR = -80 kg C/ha
Akzeptanz	▪ Bevölkerungsakzeptanz: hoch ▪ Bewirtschafterakzeptanz: noch Erfahrungsbedarf. Geringe technische Hürde

*) Basis: 400 l H_2O/kg TM Wintergetreide + 200 l H_2O/kg TM Grasuntersaat anteilig

7.2.10 Ackergrasnutzung

Ziel der Maßnahme: Ackergras als Biogassubstrat kann als Ergänzung zum Mais angebaut werden und so die Fruchtfolge auflockern. Der Ackergrasbestand kann ein bis max. drei Jahre genutzt werden, bevor wieder Mais folgt. Geprüft wurde der Ackergrasanbau hinsichtlich der Standortanforderungen und Ertragsleistung, sowie in Erwartung positiver Auswirkungen auf den Herbst-N_{min} und die Humusbilanz.

Hinweise zum Anbau: Eine mehrjährige Nutzung des Ackergrases kann nicht nur aus wirtschaftlichen Erwägungen, sondern auch wegen der positiven Auswirkungen auf Bodenfruchtbarkeit und Humusbilanz sinnvoll sein. Durch die energetische Verwertungsrichtung kann der Ackergrasanbau in Zukunft auch in Regionen ohne Viehhaltung interessant werden. Vorraussetzung für ein hohes Ertrags- und Biogaspotential von Ackergras ist eine ausreichende Wasserversorgung, die Anpassung der Stickstoffdüngung an den N-Entzug, sowie eine optimale Bestandsführung (u. a. Nachsaat, Pflanzenschutzmaßnahmen).

Auf guten Standorten und in Übergangslagen sind bis zu 4 Schnitte (bis zu ~160 dt TM/ha) im 1. Jahr möglich, während im 2. Jahr ca. 90 dt TM/ha erzielt werden können. Durch Auswinterungsschäden kann im 3. Nutzungsjahr die Ertragsleistung deutlich absinken. Die Produktionskosten von Ackergras liegen jedoch über denen von Mais, was die Akzeptanz des Anbaus schmälert.

Eine grundwasserschonende Bewirtschaftung fordert eine angepasste N-Düngung, d.h. auch in Jahren mit ungünstigen Witterungsbedingungen, in denen der Ackergrasaufwuchs deutlich unter den Erwartungen liegt, muss die N-Düngung der Nutzung angepasst werden. Nach der Aussaat des Ackergrases im Herbst kann aus Wasserschutzsicht auf eine Stickstoffdüngung verzichtet werden. Auch von optimal entwickelten Beständen wird im Herbst diese Stickstoffmenge nicht mehr entzogen (BERENDONK, 2006).

Für Milchviebetriebe bietet sich die Koppelnutzung des Grasschnittes zu Futterzwecken (1-2 Schnitte) und als Biogassubstrat (weitere Schnitte) an.

Kurzbewertung Wasserschutz: Mit dem Ackergrasanbau sind niedrige Herbst- Nmin-Werte von ~ 30 kg N/ha möglich. Deutlich verbessert wird auch die Humusbilanz. Der Wasserbedarf der Kultur ist jedoch hoch, so dass ein Anbau auf Regionen mit ausreichender Wasserverfügbarkeiten beschränkt bleibt. Eine zweijährige Nutzung ist möglich.

Tab. 38: Kurzbewertung: Ackergrasnutzung

Kurzbewertung: Feldgrasnutzung	
Parameter:	**Bewertung:**
Angepasste Düngung	▪ nach Ertragsniveau ca. 100 kg bis 300 kg N/ha
N-Flächenbilanzsaldo	▪ negative Salden bis > 300 kg N/ha möglich
Herbst-N_{min} Wert	▪ Herbst- N_{min} von 30 kg N/ha möglich, N Bindung in der Wurzelmasse
Pot. N-Konzentration im Sickerwasser	▪ durch reduzierte Herbst-N_{min}-Werte u. N- Fixierung
Wasserbedarf	▪ hoher Wasserbedarf, abhängig der Ertragsleistung ▪ Transpirationskoeffizient: 700 – 900 l H_2O /kg TM ▪ nutzt Winterniederschläge aus ▪ nutzt N während der Wintermineralisation
Ertrag	▪ durchschnittlich 90 dt TM/ha (stark abhängig von der Nutzungsintensität)
Produktionskosten	▪ ~1200,- €/ha ohne Flächenprämie
Bodenschutz	▪ Erosionsanfälligkeit: optimaler Erosionsschutz. ▪ Erhöht die Bodenfruchtbarkeit
Humusabfuhr Erntegut	▪ Positive Humusbilanz (+600 kg C/ha/Hauptnutzungsjahr)
Akzeptanz	▪ Bevölkerungsakzeptanz: hoch ▪ Bewirtschafterakzeptanz: hoch bei hohem Ertrag, teils wenig Erfahrungen.

7.2.11 Dauergrünlandnutzung

Ziel der Maßnahme: Die Grünlandnutzung erfolgt i.d.R. auf den wenig leistungsstarken Böden und zeichnet sich bei Schnittnutzung durch verlässlich niedrige N_{min} Werte aus. Als eine Maßnahme zum Grünlanderhalt ist die energetische Nutzung des Aufwuchses zur Sicherung niedriger N-Austräge und Vermeidung von Umbrüchen erstrebenswert.

Hinweise zum Anbau: Dauergrünland dient primär der Futterbereitstellung für das Milchvieh. Außerdem hat es eine große Bedeutung als landschaftsprägendes Element und für den Ressourcenschutz. Eine weitere Nutzung kann in der Bereitstellung von Biomasse zur Vergärung bestehen, insbesondere in Regionen, in denen andere Nutzungsformen wegfallen. Generell ist eine Grünlandnutzung für energetische Zwecke dann positiv zu werten, wenn dadurch der Grünlanderhalt gesichert wird.
Die Biomasseerträge und Biogasausbeuten werden maßgeblich vom optimalen Schnittzeitpunkt, vom Pflanzenbestand, von der Nutzungsintensität (Schnitthäufigkeit, Stickstoffdüngung) sowie von den optimalen Erntebedingungen und der Technik bestimmt. Die Bestandeszusammensetzung ist von Grünland zu Grünland unterschiedlich und hängt von der Bewirtschaftung (Nutzung, Düngung, Pflege) und den Standortfaktoren (Klima, Boden, Gelände) ab. Spezielle Energie-Gräsermischungen werden mittlerweile von den Züchtern angeboten. Die Erfahrungen aus der Wasserschutzberatung zeigen, dass mit zunehmender Schnittnutzung die N- Überschüsse sinken. Auch eine gute Narbenpflege ist unerlässlich.

Schon bei der Anlagenplanung und später bei der Fütterung ist zu berücksichtigen, dass sich die Biogasanlagen unterschiedlich gut zum Einsatz von Grasschnitt eignen.

Ein Grünlandumbruch zur Schaffung von Ackerfläche zum Energiepflanzenanbau sollte zwingend unterbleiben, da je nach Mineralisationspotenzial extrem hohe N- Freisetzungen zu erwarten sind. Eine auf Grünlandumbruch basierende Energiepflanzenproduktion kann auch den Klimaschutzzielen nicht gerecht werden, da die Treibhausgasemissionen von Grünlandumbruch erst nach 30 Jahren durch den positiven Effekt der Biogasproduktion überkompensiert wird (SRU, 2008).

Auf Grünlandflächen kann die Substratrückführung frühzeitig ab Anfang Februar auf schnee- und frostfreie sowie auf trag- und aufnahmefähige Böden ausgebracht werden. Leichte, auswaschungsgefährdete Standorte sollten nicht vor Mitte Februar begüllt werden. Gärrestgaben, die bereits im Herbst ausgebracht wurden, sollten bei der Bemessung der Frühjahrsdüngung angerechnet werden.
Für Milchviebetriebe bietet sich auch die Koppelnutzung des Grasschnittes zu Futterzwecken (1-2 Schnitte) und als Biogassubstrat (weitere Schnitte) an.

Kurzbewertung Wasserschutz: Unter Grünland mit Schnittnutzung werden niedrige Herbst-N_{min}-Werte von ~30 kg N/ha und gegen Null tendierende N- Konzentrationen im Sickerwasser gemessen. Durch Schnittnutzung können die Herbst N_{min}-Werte gegenüber der Weidehaltung reduziert werden. Ein Grünlanderhalt ist aus Wasserschutzsicht gerade auf mineralisationsstarken Standorten geboten. Die energetische Nutzung von Aufwuchs in Biogasanlagen ist daher als Grünland erhaltende Maßnahme positiv zu werten.

Tab. 39: Kurzbewertung: Dauergrünland

Kurzbewertung: Dauergrünland	
Parameter:	**Bewertung:**
Angepasste Düngung	▪ abhängig vom Ertragsniveau, bei 3 Schnitten pro Jahr >150 kg N/ha
N-Flächenbilanzsaldo	▪ negative Salden bis - 300 kg N/ha möglich
Herbst-N_{min} Wert	▪ Absenkung des Herbst- N_{min}, N-Bindung in der Wurzelmasse.
Pot. N-Konzentration im Sickerwasser	▪ Gering durch reduzierte Herbst-N_{min}-Werte u. N- Fixierung
Wasserbedarf	▪ hoher Wasserbedarf, abhängig von der Ertragsleistung ▪ Transpirationskoeffizient: 650 - 850l H_2O /kg TM ▪ Nutzt Winterniederschläge aus und nutzt N während der Wintermineralisation
Ertrag	▪ durchschnittlich 90 dt TM/ha, hohe Biogasausbeuten
Produktionskosten	▪ ~600,- €/ha ohne Flächenprämie
Bodenschutz	▪ Erosionsanfälligkeit: optimaler Erosionsschutz. ▪ Erhöht die Bodenfruchtbarkeit
Humusabfuhr Erntegut	▪ Positive Humusbilanz
Akzeptanz	▪ Bevölkerungsakzeptanz: hoch ▪ Bewirtschafterakzeptanz: besteht bei hohem Ertrag und geringen Anbaukosten. Hemmnisse bei niedrigen Deckungsbeiträgen.

7.3 Ergebnisübersichten

In der folgenden Tabelle sind als ein zentrales Ergebnis dieses M&P-Vorhabens die wichtigsten Parameter zur Bewertung der untersuchten Energiepflanzen im Hinblick auf ihre Wasserschutzleistung aus Kap. 7.2 zusammenfassend dargestellt. Dabei wurden vereinfachend anstatt Wertespannen mittlere Werte angegeben. Die angegebenen Werte beruhen auf Versuchsergebnissen, Literaturangaben und Beratungserfahrungen und sind als Anhaltswerte zu verstehen, die im Einzelfall abweichen können.

Tab. 40: Übersicht: Bewertung der Wasserschutzleistung von Energiepflanzen

Kulturenbewertung:		**NAWARO: Einjahres-Kulturen mit Ganzpflanzenernte**								**Dauerkulturen**	
	Kultur:	Mais	Sonnen-blumen	Sorghum-arten	Grünrog + Hf.Mais	Roggen-Mais ZKN	GPS-Getreide	Grün-schnitt-roggen	einj. Acker-gras	mehrjähr. Ackergras	Grünland
Wasserschutz-kriterien	[Einheit]										
Stickstoffbedarf (Sollwert)	[kg N/ha]	180	90	180	280	300	140	100	180	180	150
Herbst Nmin-Wert	[kg N/ha]	90	55	55	50	40	35	45	35	35	30
N-Bilanz	[kg N/ha]	-60	-83	-10	-10	15	10	20	-70	-70	-40
N-Konzentration im Sickerwasser	[NO_3 mg/l]	100	66	66	55	44	39	50	39	39	33
Humusvorrat anbauspezifisch	[kg C/ha]	-560	-280	-560	-360	-750	-280	200	600	600	600
Transpirationskoeff.	[l H_2O/kg TM]	350	550	250	320	320	450	300	400	800	750
PSM-Austragsgefährdung	[Text]	3	2	2	2	3	2	2	1	1	1
Schutzwirkung Bodenerosion	[Text]	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3

Erläuterung: Merkmalausprägung ist in Klassen bewertet, wobei: rot: negativ; gelb: mittel; grün: positiv

Die Übersicht in Tab. 40 macht deutlich, dass die gegenwärtig angebauten Energiepflanzen recht unterschiedlich in ihrer Wasserschutzleistung zu bewerten sind, zeigt aber auch die Vielfalt der Kulturen auf, die als Substrat in Biogasanlagen zum Einsatz kommen können. Ausagekräftig ist der Herbst-N_{min}-Wert, aus dem sich auch die potenzielle Sickerwasserbelastung berechnet. Die N-Bilanz eignet sich dagegen gerade bei einer Ganzpflanzennutzung nicht zur Beurteilung der potenziellen Sickerwassergefährdung.

- Niedrige Herbst-N_{min}-Werte sind unter Grünland, Ackergras sowie GPS-Getreide zu erwarten. Diese zeichnen sich auch durch eine positive Humusbilanz und eine hohe Schutzwirkung vor Bodenerosion aus.
- Mittlere Herbst-N_{min}-Werte sind bei den geprüften neunen Kulturen Sonnenblumen und Sorghum sowie dem Zweikulturnutzungssystem zu erwarten. Hier zeichnen sich jedoch nur die Sonnenblumen auch durch eine positive Humusbilanz aus.
- Mais ist zwar i. d. R. am ertragsstärksten, aber hinsichtlich der Herbst- N_{min} -Werte ungünstig zu beurteilen. Zudem hat der Mais eine negative Humusbilanz und eine geringe Schutzwirkung vor Bodenerosion.

Auch beim Anbau von Energiepflanzen kann die Wasserschutzleistung durch Optimierungsmaßnahmen deutlich gesteigert werden. Die folgende Tab. 41 stellt die wichtigsten Optimierungsmaßnahmen unter Angabe mittlerer Zahlenwerte dar. Die Angaben gelten als Richtwerte und sind im Einzelfall zu prüfen. Die Maßnahmen eignen sich alle für den Maisanbau und Maisfruchtfolgen und sollten daher in der Praxis verstärkt beraten werden.

Im Kap. 7.4 werden die Einzelaspekte in Fruchtfolgebeispielen zusammengeführt.

Tab. 41: Übersicht: Optimierungsmaßnahmen und -potenziale für den Wasserschutz

Optimierungsmaßnahmen für den Wasserschutz										
	Maßnahme:	Grasunter-saat ohne Nutzung	Gasunter-saat mit 1 Schnitt	Reduz. Boden-bearb.	Mais-engsaat	Wasser-schutz-beratung	Red. N-Gabe	Winter-Zwfr.	Sommer-Zwfr.	Zwfr.+ Nach-nutzung
Wasserschutzkriterien	[Einheit]									
Stickstoffbedarf (Sollwert)	[kg N/ha]	0	20			-40	-30	40	40	40
Herbst Nmin-Wert	[kg N/ha]	-20	-35	-15	-20	-30	-20	-35	-30	-30
N-Bilanz	[kg N/ha]		-30		-20	-40	-40	40	40	-15
N-Konzentration im Sickerwasser	[NO_3 mg/l]	-20	-40	-15	-20	-30	-20	-40	-35	-35
Humusvorrat anbauspezifisch	[kg C/ha]	200	200					120	120	120
Transpirationskoeffizient	[l H_2O/kg TM]	600	600		350		350	210	210	210
PSM-Austragsgefährdung	[Reduktion um]	-1	-1			-1		-1	-1	-1
Schutzwirkung Erosion	[Steigerung um]	1	1	1	1	1		1	0,5	1

Erläuterung: negative Zahl entspricht einem Minderungspotenzial, positive Zahl bedeutet einen Anstieg, jeweils in Bezug auf einen Anbau ohne diese Optimierungsmaßnahme

Fazit: Bewertung Energiepflanzenanbau

- Als ein Ergebnis des M&P-Vorhabens wurden ein methodischer Ansatz zur Bewertung der Wasserschutzleistung von Energiepflanzen sowie von Optimierungsmaßnahmen entwickelt.
- Es wurde auf Basis eigener Ergebnisse sowie von Literaturdaten Orientierungswerte zur Einstufung der Kulturen hinsichtlich Wasserschutzkriterien, Ertrags- und Anbaukriterien sowie weiterer relevanter Umweltaspekte, z.B. der Erosionsanfälligkeit vorgenommen.
- In der Praxis stellt sich der Maisanbau häufig problematisch dar. Durch Maßnahmen der Bestandesführung sowie weitere Optimierungsmaßnahmen sind jedoch auch im Maisanbau zumindest mittlere Herbst-N_{min} -Werte möglich.
- Insbesondere der Getreideanbau und der Feldgrasanbau ist zur Erlangung niedriger Herbst N_{min} Werte und somit als Alternative oder Ergänzung zum Maisanbau geeignet.
- Die neuen Sommerungen bieten ebenfalls ein Optimierungspotenzial. Weitere Untersuchungen zur Festigung der Aussagen sind hier erforderlich. Ebenso sind züchterischen Fortschritte im Hinblick auf bessere und stabilere Erträge eine Voraussetzung für die Akzeptanz in der Praxis.
- Mehrjahres- und Dauerkulturen sind für den Wasserschutz günstig zu bewerten. Gras als Substrat für Biogasanlagen sollte im Interesse des Wasserschutzes verstärkt eingesetzt werden.
- In der Perspektive wäre eine Prüfung weiterer Kulturen insbesondere Dauerkulturen mit Vergärungseignung unter Wasserschutzgesichtspunkten von Interesse. Die Durchwachsende Syphie könnte z.B. aufgrund der großen Wasserspeicherkraft und des moderaten N- Bedarfs in Zukunft eine Bedeutung erlangen.

7.4 Beispiele für eine Fruchtfolgeoptimierung nach Wasserschutzgesichtspunkten

Wasserschutzerfolge lassen sich in der Regel nur durch eine längerfristige Optimierung der Bewirtschaftung erzielen. Damit kommt der Fruchtfolgegestaltung eine wichtige Bedeutung zu. Ziel ist es, stabile und ausgeglichene Fruchtfolgen unter Berücksichtigung der Cross Compliance Vorgaben als Mindeststandard anzubauen. Durch weitere, darüber auch hinausgehende Optimierungsmaßnahmen kann das Risiko von Nitratüberschüssen und N-Auswaschungen weiter gemindert werden.

Auf Basis der vorgestellten Kulturenbewertungen wurden exemplarisch Fruchtfolgebeispiele mit Energiepflanzen für leichte und gute Standorte erstellt. Für diese auf fünf Jahre angelegten Fruchtfolgen wird die im Mittel von fünf Jahren zu erwartende Wasserschutzleistung, die Humuswirkung, der Wasserbedarf, die Ertragsleistung und der Deckungsbeitrag berechnet. Vergleichend wird jeweils die derzeit in der Praxis durchaus übliche Mais-Selbstfolge dargestellt.

Exemplarisch wird am folgenden Beispiel die Detailberechnung auf Basis von Einzeljahren für leichte Standorte aufgezeigt.

Tab. 42: Berechnungsbeispiel zur Bewertung der Wasserschutzleistung für eine Energiepflanzenfruchtfolge auf leichten Standorten

Fruchtfolge 2: Maisanbau optimiert durch: Düngereduktion, Untersaaten, Zwischenfrucht und Winterung, leichte Standorte

Jahr:		**1**			**2**			**3**		**4**			**5**			**Fruchtfolge-mittel**
Fruchtfolge:		red.N-Gabe	**Mais**	Gras-Unters.		**Mais**		**GPS-Roggen**	Zwfrucht	red.N-Gabe	**Mais**	Gras-Unters.	red.N-Gabe	**Mais**	Boden-ruhe	
Wasserschutzkriterien	[Einheit]															
Stickstoffbedarf (Sollwert)	[kg N/ha]	-30	180	0		180		140	40	-30	180	0	-30	180	0	162
Herbst Nmin-Wert	[kg N/ha]	-20	90	-20		90		35	-35	-20	90	-20	-20	90	-20	48
N-Bilanz	[kg N/ha]	-11	-25			-25		20	0	-11	-25		-11	-25		-22
N-Austräge	[NO_3 mg/l]	-22	100	-22		100		39	0	-22	100	-22	-22	100		65
Humusvorrat anbauspez.	[kg C/ha]		-560	200		-560		-280	120		-560	200		-560		-400
Transp.koeff.	[l H_2O/kg TM]		350	600		350		450	210		350	600		350		408
PSM-Austragsgefährd.	[Text]		3	-1		3		2	-1		3	-1		3		2
Schutzwirkung Erosion	[Text]		1	1		1		3	1		1	1		1	1	2
Weitere Kriterien																
Standortansprüche	[Text]	keine	mittel	gering		mittel		gering	Wasser	keine	mittel	gering	keine	mittel		mittel-gering
Fruchtfolgerestriktionen	[Text]		max. 50%	Vor/Nach-nutzung		max. 50%		keine	Vor/Nach-nutzung		max. 50%	Vor/Nach-nutzung		max. 50%	Vor/Nach-nutzung	
Methangehalt spez.	[l/kg oTS]		300			300		320			300			300		304
Ertrag	[dt TM/ha]	-15	150		-15	150		100		-15	150		-15	150		128
Energieertrag/ha	[CH_4 m³/ha]		4410			4410		3136			4410			4410		4155
Deckungsbeitrag	[€/ha]		470	-30		470		500	-120	-111	470	-30	-111	470	40	404
Humusreproduktion d.Gärrestes	[kg C/ha]		321			321		193			320,6			321		295
Humusbilanz bei Gärrestrückführung	[kg C/ha]		-239			-239		-87			-239			-239		-209
Wasserbedarf	[m³/ha*a]		5250			5250		4500			5250			5250		5100

*) 1=gering; 2=mittel; 3=hoch. Optimierungsmaßmahmen werden mit negativen Zahlen angegeben und reduzieren so die potenzielle Gefährdung ohne Maßnahme

7.4.1 Fruchtfolgeoptimierung für leichte Standorte

Die folgende Abb. 36 stellt Fruchtfolgen und deren Bewertung für leichte Standorte dar. Leichte Standorte werden in diesem Beispiel durch einen Austauschfaktor von 2,5 und einen Sickerwasseranfall von 400 mm gekennzeichnet und charakterisieren Standorte z. B. der Geest.

Basisfruchtfolge: 1

Jahr:	Maisanbau in Selbstfolge
1	**Mais**
2	**Mais**
3	**Mais**
4	**Mais**
5	**Mais**

Fruchtfolge: 2

Jahr:	Mais optimiert durch Düngereduktion 150 kg N/ha, Untersaat, Zwischenfr. u. Winterung
1	**Mais red N-Gabe** Untersaat ohne Nutzung
2	**Mais red N-Gabe**
3	**GPS-Roggen** Wi.Zwischenfrucht
4	**Mais red N-Gabe** Untersaat ohne Nutzung
5	**Mais red N-Gabe** Bodenruhe

Fruchtfolge: 3

Jahr:	Mischfruchtfolge Energie+ Marktfrucht, grundwasserschonend, traditionelle Kulturen
1	**Mais**
2	**GPS-Getreide** Untersaat Feldgras 1 Schn.
3	**Feldgras** 3 Schnitt
4	1 Schnitt **Mais**
5	**Wintertriticale Marktf.** Grünschnittrogg.

Fruchtfolge: 4

Jahr:	Energiepflanzenfruchtfolge, grundwasserschonend u. neue Kulturen
1	Red. Bodenbearbeitung **Mais + Untersaat** Gasuntersaat 1 Schnitt
2	1Gasschnitt **Sonnenblumen**
3	Grünroggen **Sorghum** Bodenruhe nach Ernte
4	**Mais** red. Bodenbearb.
5	**GPS-Roggen** Grasuntersaat

Parameter	[Einheit]	**Fruchtfolgemittel** Werte	**Fruchtfolgemittel** Werte	**Fruchtfolgemittel** Werte	**Fruchtfolgemittel** Werte
Stickstoffbedarf (Sollwert)	[kg N/ha]	180	162	200	182
Herbst Nmin-Wert	[kg N/ha]	90	48	45	42
N-Bilanz	[kg N/ha]	-25	-22	-13	-25
N-Austräge	[NO_3 mg/l]	100	65	59	54
Humusvorrat anbauspez.	[kg C/ha]	-560	-400	-96	-328
Transp.koeff.	[l H_2O/kg TM]	350	408	475	330
PSM-Austragsgefährd.	[Text]	3	2	2	2
Schutzwirkung Erosion	[Text]	1	2	3	3
Weitere Kriterien					
Standortansprüche	[Text]	mittel	mittel-gering	mittel, Wasser	mittel, Wasser, Temp.
Ertrag	[dt TM/ha]	150	128	147	150
Deckungsbeitrag	[€/ha]	470	404	308	378
Wasserbedarf	[m³/ha*a]	5250	5100	7010	6100
Kosten der Herbst Nmin Minderung	[€/kg N]		1,58	3,60	1,92

Abb. 36: Fruchtfolgebeispiel mit Energiepflanzen für leichte Standorte (Fruchtfolge für fünf Anbaujahre, Bewertung als Mittel der fünf Anbaujahre)

Ff.1 Referenz Mais in Selbstfolge: Diese Anbaustrategie tritt gegenwärtig in der Praxis vermehrt auf, was sich aus dem hohen Ertragspotenzial von Mais, dem Vorhandensein einer großen Auswahl von standortangepassten Sorten, guten Vergärungseigenschaften, einer bekannten Anbaupraxis sowie der intensiven Beratung von Seiten der Saatgutbetriebe ergibt. Die Einhaltung der Cross Compliance (CC) Anforderungen an die Humusbilanz kann bedingt durch die hohe Humuszehrung von Mais auch bei Gärrestrückführung langfristig nicht gesichert werden. Die negative N- Bilanz stellt bezüglich CC kein Problem dar. Aus Sicht des Wasserschutzes führen insbesondere die hohen Herbst-N_{min}-Werte zu rechnerischen Sickerwasserkonzentrationen von 100 mg NO_3/l und einer hohen Nitratauswaschungsgefährdung. Der Pflanzenschutzmitteleinsatz zu Mais ist als intensiv zu bezeichnen. Sowohl der Krankheitsdruck als auch die Erosionsanfälligkeit steigen durch den Anbau in Selbstfolge. Es können unter den getroffenen Annahmen mittlere Deckungsbeiträgee von 470 €/ha realisiert werden.

Ff.2 Maisfruchtfolge optimiert durch N-Reduktion, Grasuntersaat im Mais, Zwischenfruchtanbau und Integration von Winterungen: Die Fruchtfolge beruht auf bekannten Kulturen, lediglich mit Grasuntersaaten haben viele Praktiker derzeit noch keine Erfahrungen gesammelt. In der gewählten Fruchtfolge wird die N-Düngung im Mittel um 20 kg N/ha reduziert, eine Bodenbedeckung im Herbst und Frühjahr eingebaut und durch die Untersaat auch die Folge von erosiven Sommerniederschlägen gemindert. Der Herbst-N_{min}-Wert kann rechnerisch gegenüber der Mais- Selbstfolge von 90 auf 48 kg N/ha deutlich reduziert werden, was eine Minderung der pot. Sickerwasserkonzentration um 35 auf 65 mg NO_3/l zur Folge hat. Die Ertragsleistung liegt im Mittel 22 dt TM/ha*Jahr niedriger. Der Deckungsbeitrag sinkt um 22 €/ha. Die Kosten je Kilogramm Herbst-N_{min} Minderung würden ~1,58 € betragen.

Ff.3 Mischfruchtfolge mit Energie- und Marktfruchtanteil, optimiert durch GPS- Winterung, Integration von Feldgras und Grünschnittroggen: Diese Fruchtfolge ist durch ihren Feldgrasanteil u.a. für Futterbaubetriebe interessant, die optional zur Vergärung auch eine Futternutzung von Feldgras und/oder Mais wählen können. Auch diese Fruchtfolge basiert auf bekannten Kulturen. Durch die optimierte Bodenbedeckung wird die Schutzwirkung vor Erosion deutlich gesteigert. Bei der Standortwahl ist der höhere Wasserbedarf zu berücksichtigen. Die Humusbilanz wird gegenüber dem Mais in Selbstfolge verbessert. Der N-Düngerbedarf ist in dieser Fruchtfolge durch den hohen Bedarf des Feldgrases im Mittel 20 kg N/ha höher als bei Mais in Selbstfolge. Dem steht jedoch die hohe N-Bindung durch die Grasnarbe gegenüber, so dass der rechnerische Herbst-N_{min}-Wert im Mittel 45 kg N/ha beträgt. Auch die potenzielle N- Sickerwasserkonzentration kann gegenüber Mais in Selbstfolge auf rund 60 mg NO_3/l gesenkt werden. Bei nahezu gleichem Ertragsniveau führen die höheren Anbaukosten von Feldgras zu einem gegenüber Mais um 160 € /ha niedrigeren Deckungsbeitrag. Die Kosten je Kilogramm Herbst-N_{min} Minderung würden rechnerisch ~3,60 € betragen.

Ff. 4 Energiepflanzenfruchtfolge mit neuen Kulturen, optimiert durch Untersaaten und reduzierte Bodenbearbeitung: Diese Fruchtfolge wird durch Sonnenblumen und Sorghum aufgelockert. Anspruchsvoll ist wie erwähnt auch der Anbau von Gras als Untersaat. Die Fruchtfolge erfordert daher von den Bewirtschaftern Interesse an neuen Anbausystemen und den Zugang zur Mulchsaattechnik. Durch die Unterbrechung der Maisfolge werden die Übertragungsketten für die typischen Maiskrankheiten unterbrochen. Die Erosionsschutzwirkung kann deutlich optimiert werden. Das N- Düngeniveau liegt im Mittel beim Mais Sollwert von 180 kg N/ha. Der mittlere Herbst-N_{min}-Wert beträgt in dieser Fruchtfolge 42 kg N/ha, was einer Halbierung der Werte nach Mais in Selbstfolge entspricht. Auch die potenziellen N-Sickerwasserkonzentrationen können auf 54 mg NO_3/l gesenkt werden. Die Ertragsleistung ist mit 150 dt TM/ha der Mais-Selbstfolge ebenbürtig, der Deckungsbeitrag jedoch aufgrund höherer Anbaukosten um ~ 90 €/ha geringer. Die Kosten je Kilogramm Herbst- N_{min}-Minderung liegen rechnerisch bei 1,92 €.

7.4.2 Fruchtfolgeoptimierung für gute Standorte

Die folgende Abb. 37 stellt Fruchtfolgebeispiele für gute Standorte und deren Wasserschutzbewertung dar. Gute Standorte sind in diesem Beispiel mit einem Austauschfaktor von 0,5 und einem Sickerwasseranfall von 200 mm gekennzeichnet und charakterisieren z. B. die Börderegion.

Basisfruchtfolge: 1

Jahr:	Maisanbau in Selbstfolge
1	**Mais**
2	**Mais**
3	**Mais**
4	**Mais**
5	**Mais**

Fruchtfolge: 2

Jahr:	Mais optimiert durch Düngereduktion 150 kg N/ha, Untersaat, Zwischenfr. u. Winterung
1	**Mais red N-Gabe** Untersaat ohne Nutzung
2	**Mais red N-Gabe**
3	**GPS-Roggen** Gasuntersaat 1 Schnitt
4	**Mais red N-Gabe** Untersaat ohne Nutzung
5	**Mais red N-Gabe** Bodenruhe

Fruchtfolge: 3

Jahr:	Mischfruchtfolge mit neuen Sommerungen, normales N-Niveau
	Red. Bodenbearbeitung
1	**Mais + Untersaat** Gasuntersaat 1 Schnitt
2	1Gasschnitt **Sonnenblumen**
3	**WW Marktfrucht**
4	Grünroggen **Mais**
5	Grünroggen **Sorghum**

Fruchtfolge: 4

Jahr:	Mischfruchtfolge mit Zweikulturnutzung und neuen Kulturen für gute Wasserversorgung
1	**Mais red. N-Gabe**
2	**Erstkultur Roggen** **Zweitkultur Sorghum**
3	**GPS-Mischgetreide** (WR+WG) Zwfr.Senf
4	**Erstkultur Roggen** **Zweitkultur Mais**
5	**WW Marktfrucht**

Parameter	[Einheit]	**Fruchtfolgemittel** Werte	**Fruchtfolgemittel** Werte	**Fruchtfolgemittel** Werte	**Fruchtfolgemittel** Werte
Stickstoffbedarf (Sollwert)	[kg N/ha]	180	158	218	230
Herbst Nmin-Wert	[kg N/ha]	90	48	48	43
N-Bilanz	[kg N/ha]	-71	-77	-77	-13
N-Konz.im Sickerw.	[NO_3 mg/l]	100	62	53	48
Humusvorrat anbauspez.	[kg C/ha]	-560	-384	-288	-500
Transp.koeff.	[l H_2O/kg TM]	350	427	441	343
PSM-Austragsgefährd.	[Text]	3	2	2	2
Schutzwirkung Erosion	[Text]	1	2	2	3
Weitere Kriterien				0	
Standortansprüche	[Text]	mittel	mittel	mittel	hoch, Wasser
Ertrag	[dt TM/ha]	185	175	203	176
Energieertrag/ha	[CH4 m³/ha]	5273	5036	5168	4546
Deckungsbeitrag	[€/ha]	729	604	643	599
Wasserbedarf	[m³/ha*a]	6475	6665	7990	6190
Kosten der Herbst Nmin Minderung	[€/kg N]		2,97	2,04	2,76

Abb. 37: Fruchtfolgebeispiele mit Energiepflanzen für gute Standorte (Fruchtfolge für fünf Anbaujahre, Bewertung als Mittel der fünf Anbaujahre)

Ff.1 Referenzfruchtfolge Mais in Selbstfolge auf guten Standorten: Wie auch auf den leichten Standorten stellt der Mais in Selbstfolge auf guten Standorten die Referenzfruchtfolge dar und ist in der Praxis gegenwärtig durchaus üblich. Typisch für den Mais sind die hohen Herbst-N_{min}-Werte trotz negativer N-Bilanz. Rechnerisch ergeben sich auch an diesem Standort potenzielle Sickerwasserkonzentrationen von 100 mg NO_3/l, die aus Wasserschutzsicht zu hoch sind. Die Ertragsleistung wird im Mittel der Jahre repräsentativ mit 185 dt TM/ha angenommen. Der Transpirationskoeffizient von Mais ist mit 350 l/H_2O/kg TM niedrig, der Wasserbedarf je ha liegt bei rund 6500 m³/ha~Jahr. Mais wirkt stark zehrend auf den Humusvorrat, bei Gärrestrückführung würde die Humusbilanz in die Gruppe B „niedrig, mittelfristig tolerierbar“ eingeordnet werden. Mittlere Deckungsbeiträge von 730 €/ha können unter den angegebenen Prämissen erzielt werden.

Ff.2 Mais optimiert durch N-Düngereduktion, Integration von Untersaaten und GPS-Roggen-Winterung: Diese Fruchtfolge basiert auf bekannten Kulturen, lediglich die Einbringung von Untersaaten ist in der Praxis wenig verbreitet. Untersaaten mindern das N- Verlagerungsrisiko in den Sommerungen, die Erosionsgefahr wird reduziert und die Humusbilanz optimiert. Durch die Integration einer Winterung mit Weidelgrasuntersaat und Schnittnutzung erfolgt eine Fruchtfolgeaufweitung. Entscheidend für die Rest-N_{min}-Werte im Herbst ist jedoch die N- Reduktion im Mais. Das N- Düngeniveau in dieser Fruchtfolge ist im Mittel um 22 kg N/ha niedriger als bei der Referenzfruchtfolge. Das Risiko von unkontrollierten N-Austräger mit den Frühsommerniederschlägen wird so reduziert. Der Herbst-N_{min}-Wert kann auf 48 kg N/ha reduziert werden, was einer potenziellen Sickerwasserkonzentration von 62 mg NO_3/l bzw. einer Reduktion um 40% gegenüber der Maisselbstfolge entspricht. Das Ertragsniveau liegt rund 10 dt TM/ha unter dem der Mais Selbstfolge, der Deckungsbeitrag nimmt um 75 €/ha ab. Die Kosten je Kilogramm Herbst-N_{min}-Minderung liegen rechnerisch bei ~3 €.

Ff.3 Mischfruchtfolge mit Düngung nach Sollwert, aufgelockert durch Sorghum und Sonnenblumen, optimiert durch Untersaaten und Grünroggenanbau: Diese Fruchtfolge durch die Integration von Sonnenblumen und Sorghumarten bietet eine Auflockerung bei den Sommerungen. Sie integriert Winterungen über den Anbau von Grünroggen sowie einer Getreidemarktfrucht. Hinsichtlich der Humuszehrung, des Risikos zum Pflanzenschutzmittelaustrag und zur Erosionsminderung wirkt sich auch diese Fruchtfolge günstig aus. Der mittlere N-Düngebedarf steigt durch den zusätzlichen Anbau des Grünroggens. Dem steht jedoch der steigende N-Bedarf gegenüber. Der Herbst-N_{min}-Wert wird gegenüber Mais in Selbstfolge gesenkt und liegt im Mittel bei 48 kg N/ha, woraus sich eine Sickerwasserkonzentration von 53 mg NO_3/l berechnet. Das Ertragsniveau liegt im Mittel bei 218 dt TM/ha, der Standort wird also durch den Grünroggenertrag optimal genutzt. Der Deckungsbeitrag liegt um 86 €/ha unter der Maisselbstfolge. Die Kosten je Kilogramm Herbst-N_{min}-Minderung liegen rechnerisch bei 2 €.

Ff.4 Mischfruchtfolge mit Zweikulturnutzung und neuen Kulturen mit guter Wasserverfügbarkeit: Die Fruchtfolge integriert das Zweikultur- Nutzungssystem, bei dem eine Winterung als Erstkultur Ende Mai/ Anfang Juni zur Milch- bis Teigreife geerntet wird und dann eine Sommerung als Zweitkultur mit verkürzter Vegetationszeit folgt. Diese muss die Vegetationszeit im Herbst noch möglichst lange ausnutzen, um ebenfalls das Milchreifestadium zu erlangen. Vorteil sind der lange N- Entzug bis in den Oktober hinein und die hohen N- Entzüge mit geringen Herbst-N_{min}-Werten. Unter dem Aspekt der Ertragsleistung ist das System einem Hauptfruchtanbau zwar in der Regel überlegen, der Mehrertrag reicht jedoch nur unter guten Voraussetzungen zur Deckung der Mehrkosten. Das System eignet sich daher für gute Standorte mit ausreichender Wasserverfügbarkeit und erlangt bei Flächenknappheit und hohen Pachtpreisen zunehmende Attraktivität. Hier steht es im Wechsel mit einer GPS-Getreidemischung. Gerade bei Getreide sind Artenmischungen, z.B. zwischen Roggen und Gerste (Stützfrucht, ermöglicht Verzicht auf Kurzspritzen) ohne Ertragsminderung möglich. Im Fruchtfolgemittel können Herbst-N_{min}-Werte von 43 kg N/ha und pot. N-Konzentrationen im Sickerwasser von 48 mg NO_3/l erzielt werden. Die Kosten je Kilogramm Herbst-N_{min}-Minderung liegen rechnerisch bei 2,80 €.

Fazit Fruchtfolgebeispiele:

- Durch Maßnahmen der Fruchtfolgegestaltung können die Herbst-N_{min}-Werte und Sickerwasserkonzentrationen nachhaltig reduziert werden.
- Die Integration von Winterungen wirkt sich in diesem System positiv aus. Die Integration von neuen Sommerungen ist dagegen anspruchsvoller, verspricht aber ebenfalls eine Reduktion der Herbst-N_{min}-Werte.
- Der Energiepflanzenanbau erschließt neue Möglichkeiten der Fruchtfolgegestaltung mit positiven Effekten nicht nur aus Wasserschutzsicht sondern auch im Hinblick auf Erosionsvermeidung, Artenvielfalt und Systemstabilität. Diese sollten in der Praxis stärker zum Einsatz kommen, um langfristigen Anbauproblemen durch zunehmende Maisanteile in der Fruchtfolge entgegenzuwirken.
- In jedem Fall sind ergänzend zur Fruchtfolgegestaltung weitere Optimierungsmaßnahmen sinnvoll. Entscheidende Bedeutung kommt der angepassten/reduzierten N-Düngung im Mais zu. Ebenso kann der positive Effekt von Winterungen, insbesondere von Grünroggen nur dann erzielt werden, wenn nach dem 15.9. keine N-Gaben mehr erfolgen, besser noch auf eine Herbst-Gabe ganz verzichtet werden kann.

7.5 Möglichkeiten der Förderung grundwasserschonender Anbauverfahren

Die vorgestellten Maßnahmen gehen teilweise über die gesetzlichen Anforderungen der Düngeverordnung hinaus. Zusätzlich gehen nicht selten wirtschaftliche Nachteile mit der Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen einher. Die Fehlentwicklungen im Energiepflanzenanbau werden gegenwärtig zusätzlich durch den NawaRo-Bonus verschärft, der den verstärkten Maisanbau deutlich begünstigt hat, ohne Anforderungen an den Anbau zu stellen. Aus diesem Grund etablieren sich grundwasserschonende Anbaualternativen in der Praxis nur schwer. Um hier mittelfristig eine größere Akzeptanz zu erlangen, bieten sich mehrere Wege an, die im Folgenden kurz vorgestellt werden:

Wasserschutzgebiete: Die Zahlung eines finanziellen Ausgleichs kann in sensiblen Gebieten wie Wasserschutzgebieten einen Anreiz darstellen. In Niedersachsen ist dies über den Abschluss freiwilliger Vereinbarungen möglich. Die Freiwilligen Vereinbarungen sollen insbesondere dort zur Sicherung einer guten Grundwasserqualität beitragen, wo auf Standorten mit geringem natürlichem Schutzpotenzial eine Einschränkung der landwirtschaftlichen Bodennutzung erforderlich ist. Grundlage ist der Maßnahmenkatalog des niedersächsischen Umweltministeriums, der die fachlichen Vorgaben vorgibt. Im Rahmen des M&P- Vorhabens wurden die bestehenden Maßnahmen im Hinblick auf ihre Übertragbarkeit für den Energiepflanzenanbau geprüft und neue Maßnahmen entwickelt.

EG-WRRL: Im Hinblick auf die Zielerreichung der EG-Wasserrahmenrichtlinie erscheint eine Prüfung der flächendeckenden Förderung von grundwasserschonenden Maßnahmen als Gegenstand von Agrar- und Umweltmaßnahmen sinnvoll. Hier kommen vor allem Maßnahmen mit hoher Flächenwirksamkeit, niedrigen Kosten und geringem Kontrollaufwand in Frage.

EEG: Bei der nächsten Novellierung des EEG sollten gezielt Anforderungen an einen umweltgerechten Energiepflanzenanbau mit den Bonuszahlungen gekoppelt werden. Hier wären klare Fruchtfolgeauflagen mit dem Ziel einer Begrenzung des Maisanteils anzustreben. Ferner könnte über eine Staffelung der Bonushöhe gezielt der Anbau und somit auch die Weiterentwicklung neuer Energiepflanzenkulturen- und -arten unterstützt werden. Desgleichen sollte durch eine Qualifizierung des Bonus gezielt der Einsatz von Grünschnitt in Biogasanlagen gefördert werden.

Gesetzliche Regelungen: Auf die Möglichkeiten, der Steuerung durch gesetzliche Regelungen (DüV, WSG-VO, VaWs, weitere) wurde an verschiedenen Stellen hingewiesen (u.a. Kap. 2). Sie umfassen den gesamten Biogasprozess vom Anbau über den Anlagenbetrieb bis zur Gärrestrückfuhr und haben als verbindliche Instrumente einen hohen Stellenwert. Allerdings ist die Flexibilität eher gering und der zeitliche Horizont für Anpassungen weit gesteckt. Vorrangig wird die Anpassung der DüV Grenze von 170 kg N/ha für alle organischen Dünger sowie eine Konkretisierung der „guten fachlichen Praxis“ gefordert (vertiefende Untersuchungen siehe Studie im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser und Boden“, BUTTLAR von, et al, 2008).

Beratung: Nicht zuletzt sei auf den Stellenwert von Beratungsangeboten hingewiesen. Eine gezielte Gewässerschutzberatung, wie sie für Wasserschutzgebiete bekannt ist, wird im Zuge der Wasserrahmenrichtlinie auch flächendeckend bedeutend. Gerade beim neuen Produktionszweig der Biogaserzeugung besteht seitens der Praxisbetriebe noch hoher Beratungsbedarf, den es zu decken gilt.

Qualitätsmanagement: Um sicherzustellen, dass die Biogaserzeugung auf nachhaltigen Anbausystemen beruht und negative Einflüsse auf die Agrarlandschaft vermieden werden, sind in Zukunft klarere Anforderungen an ein nachhaltiges Qualitätsmanagement und die Entwicklung von Zertifizierungssystemen zu stellen. Erste Schritte in diese Richtung wurden 2009 mit der Verabschiedung der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV, 2009) für Herstellung von flüssiger Biomasse gegangen (u.a. Einschränkungen von stark kohlenstoffhaltigen Flächen u. Flächen mit hohem Naturschutzwert, Vorgaben zum Treibhausgangs- Minderungspotenzial, Anbau nach den Mindestvorgaben für Direktzahlungen der Gemeinsamen Agrarpolitik). In Bezug auf die Anforderungen des Wasserschutzes erscheint eine Ausdehnung der Nachhaltigkeitsverordnung auf feste Biomassen sinnvoll, wobei eine weitergehende Qualifizierung von Standards unter den Kriterien des Wasserschutzes erforderlich wäre.

8 Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Bundesregierung hat zur Begegnung des Klimawandels beschlossen, dass die globale Erderwärmung zwei Grad Celsius nicht überschreiten darf. Zur Zielerreichung sieht sie eine Senkung der Treibhausgasemissionen um 50% bis 2050 vor. Einen wichtigen Beitrag zur Zielerreichung leistet der Ausbau der regenerativen Energien, u.a. von Biogas.

Die Errichtung einer großen Zahl an Biogasanlagen im ländlichen Raum führt gegenwärtig durch den zunehmenden Anbau nachwachsender Rohstoffe zu einer großflächigen Änderung der Flächennutzung. Deren Auswirkungen auf das Grund- und Oberflächenwasser sollten vor dem Hintergrund der Wasserrahmenrichtlinie sowie den besonderen Nutzungsauflagen in Wassergewinnungsgebieten näher untersucht werden.

Mit diesem Ziel wurde das niedersächsische „Modell- & Pilotvorhaben zur Optimierung des Biomasseanbaus sowie des Betriebs von Biogasanlagen unter den Anforderungen des Gewässerschutzes zur Sicherung einer nachhaltigen Nutzung von Bioenergie“ im Zeitraum 2007 bis 2009 im Auftrag der Stadtwerke Emden durchgeführt. Gefördert wurde das Vorhabne aus Mitteln der Wasserentnahmengebühr sowie durch den Europäischen Fond für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER).

Es konnten Daten zur Bewertung der gegenwärtigen Betroffenheit niedersächsischer Wassergewinnungsgebiete durch die Biogasentwicklung gewonnen und Problemfelder für die Wasserwirtschaft konkretisiert werden. Es wurden gemeinsam mit Praktikern auf Pilotbetrieben Feldversuche zum grundwasserschonenden Energiepflanzenanbau- und Untersuchungen zum Gärrestmanagent durchgeführt und praxisrelevante Lösungsansätze für Energiepflanzenproduzenten entwickelt. Durch den Einsatz der vorhandenen rechnerischen und analytischen Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der nitratbezogenen Grundwasserqualität konnten Aussagen zum potenziellen N-Auswaschungsrisiko verschiedener Anbausysteme abgeleitet werden.

Im Rahmen von begleitenden Arbeitskreisen mit Vertretern von Wasserversorgungsunternehmen, Verbänden und Grundwasserschutzberatern, durch Workshops, Tagungsbeiträge und Veröffentlichungen, Feldrundfahrten, Veranstaltungen sowie eine eigene Rundbriefreihe wurden die Ergebnisse jeweils zeitnah einem großen Interessentenkreis bereitgestellt.

Zusammenfassend werden folgende Ergebnisse und Empfehlungen formuliert:

Allgemeine Situationsanalyse:

- Die Situationsanalyse für Niedersachsen zeigt, dass Ende 2009 etwa 800 **Biogasanlagen** betrieben und 142.000 ha an **Energiemais** dafür angebaut wurden. Die Tendenz ist weiter steigend. Als weitere Energiepflanzen kommen Getreide und Gasschnitte in untergeordnetem Umfang zum Einsatz. Als weitere Substrate werden Güllen und in Kofermentationsanlagen biogene Abfälle vergoren.
- Eigene Auswertungen zeigen, dass derzeit schon rund 60% der Wasserschutzgebiete vom Energiepflanzenanbau betroffen sind.
- Im nördlichen Niedersachsen treffen leichte Standorte mit erhöhtem Auswaschungsrisiko, eine hohe Viehdichte und eine hohe Dichte von Biogasanlagen zusammen.
- Untersuchungsergebnisse belegen, dass der Maisanbau bei der gängigen Düngepraxis deutlich höhere Nitratausträge ins **Grundwasser** verursachen kann als dies z. B. im Getreideanbau der Fall ist.
- Insbesondere in den nördlichen Landkreisen Niedersachsen kommen zusätzlich zum schon hohen **Wirtschaftsdüngeraufkommen** aus tierischen Reststoffen nun weitere Nährstofffrachten aus pflanzlichen und Abfallgärresten hinzu. Die Grenze von 170 kg N/ha für organischen Dünger tierischer Herkunft nach Düngeverordnung kann ohne einen Nährstoffexport nicht mehr in allen Landkreisen eingehalten werden. Daher ist der an sich wertvolle organische Dünger aus Biogasanlagen analog den Güllen aus der Viehhaltung insbesondere aus Wasserschutzsicht kritisch zu werten.

Grünlandumbruch - Nutzungsperspektiven:

Die Vermeidung von Grünlandumbrüchen mit den daraus resultierenden N-Auswaschungen stellt ein zentrales Anliegen der Wasserwirtschaft dar, da Grünlandumbrüche i.d.R. mit starken N-Mineralisationsschüben einhergehen, die nicht vollständig durch die Folgekultur aufgenommen werden und dann zu Nitratauswaschungen ins Grundwasser führen. Es werden Stickstoffnettomineralisationen von 100 kg bis 500 kg N/ha/Jahr in den ersten vier bis fünf Jahren nach Umbruch gemessen. Im Vorhaben durchgeführte Zeitreihenuntersuchungen des oberflächennahen Grundwassers von Umbruchflächen mit nachfolgendem Energiemaisanbau bestätigen dies. Eine der Ursachen hierfür ist der deutlich gestiegene Flächenbedarf für den Silomaisanbau zur energetischen Nutzung.

Durch die nach Cross Compliance vorgegebenen Obergrenzen auf Landesebene wird Grünland nur bedingt geschützt, da 10% der Grünlandflächen umgebrochen werden können bevor eine Rückumwandlung erforderlich wird. Doch auch ein Umbruch mit Neuansaat birgt ein erhöhtes Mineralisationsrisiko.

- Der Umbruch von fakultativem Grünland und mehrjährigen Brachen zum Zwecke des Energiepflanzenanbaus ist zu vermeiden.
- Als sinnvolle Maßnahme ist der **Grünlanderhalt** durch Nutzung der Aufwüchse in Biogasanlagen zu nennen.
- Ferner wird die Knüpfung des **EEG-NawaRo-Bonus** an eine Verpflichtung zum Grünlanderhalt und eine Ausdehnung des Bonus für Landschaftspflegematerial auf Grünschnitt von Dauergrünland empfohlen.
- Wo Grünland- oder Bracheumbruch nicht vermeidbar ist, sollte dieser durch eine gezielte **Beratung** zur N-zehrenden Nachnutzung (Vermeidung von Bodenbewegung, Zwischenfrüchte, Untersaaten, reduzierte N-Düngung usw.) begleitet werden.
- Es werden **naturraumbezogene Vorgaben** für Umbruchhöchstgrenzen empfohlen, um auch regional Grünlandumbrüchen größer 10 Prozent entgegenzuwirken. Insbesondere gewässersensible Gebiete sollten so besser geschützt werden.

Nährstoffkreisläufe im Biogasprozess

Die Nährstoffkreisläufe im Energiepflanzenanbau zur Vergärung unterscheiden sich von denen anderer Produktionswege. Der gesamte oberirdische Aufwuchs wird von der Fläche abgefahren und einer energetischen Nutzung zugeführt, Teile gelangen über den Gärrest in den Kreislauf zurück. Im Gegensatz dazu findet bei einer energetischen Nutzung durch Verbrennung oder Treibstofferzeugung keine Rückfuhr statt. Bei einer Körnernutzung kann jedoch auch das Stroh im Kreislauf verbleiben. Am Beispiel der Leitbetriebe wurden die Nährstoffkreisläufe im Biogasprozess im Hinblick auf den Erhalt der Humusbilanz sowie der N-Verlustgrößen exemplarisch untersucht.

- Mit der Gärrestrückführung auf die Anbaufläche kann der durch die Ernte entzogene Kohlenstoff nur zu 20 bis 30 Prozent ersetzt werden. Beim Stickstoff können auf diesem Weg 50 bis 60 Prozent pflanzenverfügbar im Kreislauf gehalten werden, bei Phosphor und Kalium sogar bis zu 100 Prozent.
- Grenzen bei der Gärrestrückfuhr werden durch die bedarfsgerechte Düngung gesetzt, wobei insbesondere die N- und P- Bilanzgrenzen sowie die P- Bodengehaltsklassen der Standorte zu beachten sind. Bei bestehenden Wasserschutzauflagen können die Grenzen noch enger gesteckt sein.
- Da die Phosphatversorgung jedoch vorwiegend auf Standorten mit langjähriger Wirtschaftsdüngerzufuhr zum begrenzenden Faktor für die ausbringbare Gärrestmenge wird, kann die Ausbringungsfläche für Gärreste bis zum Doppelten der Anbauflächen betragen. In Bezug auf den Humuskreislauf kann diese Einschränkung bei der Gärrestrückfuhr dann zum Humusabbau führen, wenn stark humuszehrende Kulturen wie Mais angebaut werden.
- In der Praxis werden sowohl Biomasse als auch Gärreste zunehmend aus größerer Entfernung zugekauft bzw. an Dritte abgegeben. Nährstoffentzug und Nährstoffrückfuhr erfolgen dann nicht mehr auf denselben Flächen, was ebenfalls zu einer Entkopplung der Nährstoffkreisläufe führt. Aus Sicht des Wasserschutzes kann dies dann positiv gewertet werden, wenn durch den Nährstoffexport sensible Gebiete wie z.B. Wasserschutzgebiete oder Nährstoffüberschussregionen entlastet werden. Diese Vorteile müssen jedoch gegenüber möglichen Nachteilen wie einem höheren Transportaufwand abgewogen werden.

Gärresteinsatz und Verwertung:

Bei der Gärrestausbringung besteht durch einen hohen pH-Wert und hohe Ammoniumanteile (~ 60 Prozent) die Gefahr der verstärkten Ammoniakausgasung bei hohen Temperaturen und Sonneneinstrahlung. Eine fehlende Aufnahme durch die Vegetation und die Ausbringung mit Pralltellern können die N-Auswaschung steigern. Zudem verleiten hohe Transportkosten zu vermehrter Aufbringung auf anlagennahen Flächen. Regional werden in Niedersachsen deutliche Nährstoffüberhänge festgestellt. Dies ist insbesondere in viehstarken Regionen mit hohem GV-Besatz (Großvieheinheiten/Hektar) der Fall, in denen durch den zusätzlichen pflanzlichen Gärrest weitere organische Substanz auf die Flächen gelangt. Je nach der Zusammensetzung und Beschaffenheit der eingesetzten Energiepflanzen, Wirtschaftsdünger und Ko-Substrate befinden sich in den bei der Energieerzeugung anfallenden Gärrückständen neben Nährstoffen (Stickstoff, Phospat, Kalium) auch potenziell schädliche anorganische und organische Schadstoffe. Weiterhin sind mikrobiologische Beeinträchtigungen der Gewässer nach einer Ausbrin-

gung von Gärrückständen nicht auszuschließen (DVGW, 2008).

- Gärreste müssen als wertvoller Dünger betrachtet und eingesetzt werden. Vor Ausbringung von Gärresten müssen zeitnahe **Untersuchungsergebnisse** zu den Nährstoffgehalten vorliegen, um so eine bedarfsgerechte Ausbringung zu sichern. Um dem Nachlieferungsvermögen von Gärresten gerecht zu werden, sollte in wassersensiblen Gebieten und auf mineralisationsstarken Standorten das **Mineraldüngeräquivalent** bei Sommerungen von 70 auf 80% angehoben werden.
- Es sind grundsätzlich emissionsmindernde **Ausbringungstechniken** einzusetzen und eine unverzügliche Einarbeitung ist vorzunehmen.
- Einer **Herbstausbringung** von Gärresten nach dem 15.09. steht in der Regel kein ausreichender pflanzlicher N-Entzug mehr entgegen, so dass hierauf auch flächendeckend verzicht werden sollte. Ein kulturenbezogener **Ausbringungskalender** für Energiepflanzen wurde ergestellt.
- Beispielrechnungen zeigen, dass für eine angepasste **Gärrestausbringung** in Wasserschutzgebieten der Gärrest meist nicht allein auf die Anbaufläche zurückgebracht werden kann, sondern bis zum doppelten der Anbauflächen eingeplant werden muss.
- Bezüglich der maximalen Ausbringungsmengen wird eine Ausweitung der 170 kg Grenze nach **DüV** auf die pflanzlichen organischen Dünger als entscheidend erachtet. Diese Forderung hat Eingang in die Novellierung der niedersächsischen Verordnung über Schutzbestimmungen in Wasserschutzgebieten (SchuVO) gefunden.
- Es wird zur Vermeidung von regionalen Nährstoffüberhängen ein gezieltes Mengenmanagement gefordert, dass schon bei der **Genehmigung** von Biogasanlagen einsetzen sollte. Die derzeit geforderten qualifizierten Flächennachweise sind hier zu präzisieren und jährlich wiederkehrend zu aktualisieren.

Ergänzend zu den getroffenen Aussagen gelten für Wasserschutzgebiete weitere Gewässerschutz-Forderungen, die im DWA – DVGW Merkblatt 907 formuliert wurden und der Vollständigkeit halber genannt werden:

- Es wird ein Ausbringungsverbot für Gärreste aus Kofermentationssubstraten in WSGs und aus Sicht des Gewässerschutzes sensiblen Gebieten empfohlen.
- Eine Ausbringung von Gärresten in der Schutzzone II ausgewiesener oder geplanter WSGs oder innerhalb der 50 Tage Linie von Grundwassergewinnungsanlagen ist nicht vertretbar und daher zu verbieten. Eine Einzelfallzulassung ist nur nach standortspezifischer Bedarfs- und Gefährdungsanalyse (Einzelfallprüfungen) möglich.

Gärrestlagerung:

Gärreste aus reinen NawaRo-Anlagen sind mit Blick auf Stickstoffverluste und Stickstoffverfügbarkeit derzeit ähnlich zu bewerten wie Gülle. Durch den hohen Ammonium-N-Anteil sind bei nicht abgedeckten Gärrestlagern hohe NH_4-Verluste zu erwarten. Die gesetzlichen Regelungen für die Mindestlagerkapazität von sechs Monaten beziehen sich nur auf flüssige organische Dünger tierischer, jedoch nicht pflanzlicher Herkunft. Hier besteht eine Regelungslücke. Außerdem wird in der Praxis bei Lagerkapazitäten von sechs Monaten in der Regel eine Herbstausbringung von Wirtschaftsdüngern bzw. Gärresten erforderlich. Diese ist zwar gesetzlich zulässig, aber wenig N-effizient. Durch eine Ausweitung der Lagerkapazitäten könnte eine Verschiebung des Düngezeitpunktes vom Herbst ins Frühjahr ermöglicht werden, was die N-Effizienz steigert und das N-Verlagerungsrisiko reduziert. Der dafür notwendige wirtschaftliche Aufwand wird gegenwärtig jedoch nur bei entsprechender Nachfrage nach Gärresten freiwillig erbracht.

- **Lagerräume** sollten so berechnet werden, dass eine pflanzenbedarfsgerechte N-Ausnutzung ermöglicht wird. Soll auf die problematische Herbstausbringung verzichtet werden, so sind 8 bis 9 Monate Lagerraumkapazität erforderlich. Durch Förderungen im Rahmen von AUM-Programmen könnte hier zusätzliche Akzeptanz geschaffen werden.
- Zudem kann durch eine bessere Steuerung des Lagerraums und der Gärrestausbringung an der Biogasanlage eine größere Stoffstromtransparenz erzeugt werden. Zu diesen Zwecken wurde im Projekt die Entwicklung eines **Lagerraum- und Gärrestmanagement-Programms** gestartet, das bei der Planung und Genehmigung sowie später im Anlagenbetrieb und auf Betriebsebene eingesetzt werden kann. Wasserversorger und Behörden könnten künftig vom Einsatz dieser Möglichkeiten profitieren, um in ihrem Wirkungsbereich Stoffströme besser zu dokumentieren und zu steuern. Eine Weiterentwicklung des Programms erscheint wichtig.

Energiepflanzenanbau

Als pflanzliches Substrat für Biogasanlagen kommt derzeit überwiegend Silomais zum Einsatz. Silomais zeichnet sich auf vielen Standorten durch hohe Flächenerträge sowie geringe spezifische Energiebereitstellungskosten aus. Auf Grund dieser betriebswirtschaftlichen Vorzüglichkeit gegenüber anderen Biomassekulturen ist gegenwärtig das eingesetzte Kulturartenspektrum für die Biogasnutzung sehr klein. Einseitige Anbaustrukturen bis hin zum Anbau in Selbstfolge, wie sie gegenwärtig bei Mais beobachtet werden, müssen vermieden werden. Die im Energiepflanzenanbau gegebenen Optionen zur Fruchtfolgegestaltung sind daher zu nutzen, um eine Nachhaltigkeit auch im Sinne des Gewässerschutzes gewährleisten zu können.

- Im Rahmen der Feldversuche wurden verschiedene Energiepflanzen im Hinblick auf ihre Anbaurisiken, ihre Wasserschutzleistungen und mögliche Optimierungsmaßnahmen untersucht. Es wurde eine Methodik zur Bewertung der Kulturen erarbeitet. Exemplarische Fruchtfolgebeispiele mit Energiepflanzen zeigen N- Reduktionspotenziale und deren Kosten auf.
- Im **Maisanbau** kann auf stark nachliefernden Standorten (langjährige Wirtschaftsdüngerzufuhr) mit einem N-Sollwert von 150 kg N/ha ohne Ertragseinbußen grundwasserschonend Biomasse erzeugt werden. Bei höheren N- Gaben steigt das N- Verlagerungsrisiko deutlich an.
- Zur Vermeidung von N-Austrägen wird eine Beschränkung des Maisanteils auf max. 50% in der Fruchtfolge empfohlen.
- Der Anbau von Winterungen als Ganzpflanzengetreide, insbesondere **Roggen,** eignet sich auch für Mais-Grenzstandorte und bietet neben einer niedrigen N-Auswaschungsgefährdung bei geringen Wasser- und Anbauansprüchen sichere Erträge und niedrige Produktionskosten.
- Für Standorte mit guter Wasserführung bietet sich die Einbindung von **Feldgras** in die Fruchtfolge an. Es zeigt niedrige Herbst-N_{min}-Werte und kann auch mehrjährig genutzt werden.
- Ergänzende Sommerungen wie **Sonnenblumen** oder **Sorghumarten** eignen sich zur Auflockerung der Fruchtfolge und zeigen bei bedarfsgerechter Düngung vielversprechende Herbst-N_{min}-Werte. Hier ist jedoch die Züchtung gefordert, standortangepasste Sorten mit mehr Ertragssicherheit bei höheren TS-Gehalten zu entwickeln.
- Sollen die Nitratausträge ins Grundwasser nachhaltig unter 50 mg NO_3/l gesenkt werden, so sind weitere **Optimierungsmaßnahmen** einzusetzen. Hierzu zählen die N-Düngesteuerung (N_{min}, an die Ertragserwartung angepasste Gesamtdüngehöhe, Splittung der N-Gabe, Begrenzung des organischen Anteils, Wahl der Applikationszeitpunkte usw.), die Aussaat von Untersaaten ggf. mit Nachnutzung, der Anbau von Zwischenfrüchten sowie eine reduzierte Bodenbearbeitung bzw. Bodenruhe nach der Ernte. Entsprechende Bewertungsübersichten wurden erarbeitet.
- Für Maßnahmen, die über die gute fachliche Praxis hinaus mit zusätzlichen Aufwendungen für die Betriebe einhergehen, müssen die vorhandenen Möglichkeiten der **Förderung** geprüft werden. Ausgleichszahlungen durch Freiwillige Vereinbarungen in Wasserschutzgebieten sowie für WRRL-Gebiete oder flächendeckend durch Agrar- und Umweltprogramme kommen hier in Frage. Entsprechende Vorschläge wurden erarbeitet.
- Durch Koppelung von Anbauanforderungen (z. B. Fruchtfolgevorgaben) an das **EEG** bzw. den NawaRo-Bonus sollte dafür Sorge getragen werden, dass diese Förderung der erneuerbaren Energien nachhaltig und im Einklang mit den Zielen des Gewässer- und Klimaschutzes erfolgt.
- Eine Reduktion des **Pflanzenschutzmitteleinsatzes** beim Energiepflanzenanbau kann derzeit in der Praxis nicht festgestellt werden, da die Ertragssicherung im Vordergrund steht. Es ist der sachgemäße Einsatz (Abstandsregeln etc.) vorauszusetzen. Aus Sicht des Gewässerschutzes sollte außerdem auf den Einsatz eher unproblematischer Mittel geachtet werden. Eine Reduzierung des Mitteleinsatzes kann u. a. durch Fruchtfolgemaßnahmen, die Sortenwahl sowie die Integration mechanischer bzw. biologischer Bekämpfungsmethoden unterstützt werden.

Gebietsmonitoring für Energiepflanzen:

Die Ausprägung der Biogasentwicklung ist immer im regionalen Kontext zu sehen. Eine Biogasanlage macht noch kein Problem, viele Anlagen in schon durch die Tierhaltung nährstoffangereicherten Gebieten können dagegen durchaus große Konfiktfelder bergen und Nährstoffüberhänge weiter verschärfen.

- Zur Beurteilung der Bioenergieentwicklung, insbesondere im Spannungsfeld Wasserschutz sind daher vielschichtige, auch räumliche Informationen zugrunde zu legen. Die Anforderungen an grundwasserschonendes

Wirtschaften mit und ohne Schutzkulissen sind relativ klar formuliert. **Informationsdefizite** bestehen jedoch gegenwärtig z. B. bei der lagegenauen Zuordnung von Biogasanlagenstandorten sowie den jeweils eingesetzten Substraten. Ebenso besteht derzeit weder lokal noch übergeordnet ein Grundwassermonitoring zur Beurteilung von N-Austrägen im Energiepflanzenanbau.

- Die Umsetzung regionaler **Kreisläufe** bezüglich der Beschaffung der Rohstoffe (Gärsubstrate) und Verwertung der Reststoffe (Gärreste) muss Vorrang haben. Dabei sollten die Stoffkreisläufe regional überschaubar gehalten werden, um eine ausreichende Kontrolle gewährleisten zu können.
- Für Problemregionen / WSGs mit Nährstoffüberhängen bietet sich eine spezielle Überwachung der N-Einträge im Hinblick auf Auswirkungen der geänderten Fruchtfolgen und Düngemaßnahmen durch die verstärkte Biogasnutzung an. Eine Methodik zum **Grundwassermonitoring** für Energiepflanzen wurde entwickelt und exemplarisch in einem Gebiet des OOWV getestet. Der gewählte Ansatz eignet sich zur Übertragung auf weitere Einzugsgebiete mit erhöhten Energiepflanzenaufkommen.
- Ebenso wurden die aus Wasserschutzsicht erforderlichen Parameter für eine **Datenbank der Biogasanlagen** definiert und der Aufbau einer entsprechenden Datenbank begonnen. Eine kontinuierliche Fortschreibung wird vorgesehen.

Betrieb von Biogasanlagen:

Im Rahmen der Genehmigung von Biogasanlagen werden die wasserwirtschaftlichen Belange durch eine „Wasserwirtschaftliche Eignungsfeststellung“ geprüft. Die Prüfungen beziehen sich jedoch hauptsächlich auf die Biogasanlage und nur in begrenztem Umfang auf die für die Reststoffverwertung zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Nutzflächen. Die Genehmigungspraktiken fallen gegenwärtig noch recht unterschiedlich aus. Allgemein bestehen hohe bauliche Standards, die die Risiken im Normalbetrieb ausreichend absichern, vor Risiken für das Gewässer durch unvorhersehbare Havarien jedoch nicht schützen.

- Genehmigungsverfahren nach BIMSCH sind zu bevorzugen, da sie gegenüber dem baurechtlichen Genehmigungsverfahren einen höheren Standard und eine bundesweit einheitliche Genehmigungspraxis sicherstellen.
- Im Rahmen des kommenden Düngegesetzes sollte, wie im Entwurf vorgesehen, eine in allen Bundesländern einheitliche Dokumentationspflicht über den Verbleib der verarbeiteten Stoffe in Biogasanlagen geschaffen werden. Die pflanzenbedarfsgerechte Verwertung sollte einer strikten, jährlichen düngerechtlichen Kontrolle unterzogen werden.

Silagelagerung:

Sickersaft aus Silagen hat durch einen biologischen Sauerstoffbedarf (BSB) von 20 bis 100 g/l sowie niedrige pH-Werte ein sehr hohes Wassergefährdungspotenzial, das vor allem bei unsachgemäßer Lagerung z. B. beim Überlaufen von Sammelgruben oder bei Feldmieten zum Tragen kommen kann.

- Generell sind ortsfeste Anlagen zur Silagelagerung einer Feldmietenlagerung vorzuziehen. Durch eine gezielte Beratung sollte vermittelt werden, das diese durch die kürzeren Transportwege mittelfristig auch ökonomisch die sinnvollere Alternative darstellen.
- Die Silierung verschiedener Substrate zu unterschiedlichen Erntezeitpunkten bietet den Vorteil einer Entzerrung von Arbeitsspitzen. Bei der Konzeption des Siloraumes muss dies jedoch berücksichtigt werden.
- Für Feldmieten sind zur Vermeidung von Risiken in Niedersachsen verbindliche technische Standards geschaffen worden.
- Bereits im Genehmigungsverfahren für Biogasanlagen sollte die Nachweispflicht über eine ausreichende und ordnungsgemäße Substratlagerung (sowohl für ortsgebundene als auch ortsungebundene Anlagen/ Lagerstätten) erbracht werden.

Weiterer Untersuchungsbedarf:

Weiterer Handlungs- und Untersuchungsbedarf besteht aus unserer Sicht

- bei der Übertragung der Anbauempfehlungen in die Praxis und Intensivierung der Forschung insbesondere zu neuen Kulturarten,
- bei der Weiterentwicklung des Lagerraum- und Gärrestmanagementprogrammes und dessen Übertragung in die Praxis,
- in der verstärkten Einbindung vorhandener Förderinstrumente (z. B. Agrar- und Umweltmaßnahmen) zum Zwecke des grundwasserschonenden Energiepflanzenanbaus,
- bei der Schaffung eines wasserschutzorientierten Qualitätsmanagements für Biogasanlagen,

- bei der verstärkten energetischen Nutzung von Grünlandaufwüchsen,
- sowie beim landesweiten Ausbau eines Grundwassermonitoringsystems, das sich zur Kontrolle von Flächennutzungen durch Energiepflanzen eignet.
- Eine weitere, über das gegenwärtig verpflichtende Maß hinausgehende Möglichkeit zur Optimierung der Stoffkreisläufe von Biogasanlagen besteht im Einsatz von Qualitätsmanagementsystemen. Diese wären unter Einbezug gewässerschutz- bodenschutz- und klimaschutzrelevanter Anforderungen zu entwickeln. Sie sollten neben dem Anlagenbetrieb auch die Substratbeschaffung und Gärrestverwertung umfassen.
- Regionalplanerische Ansätze sollten in Zukunft auch bei der Ausweisung von Vorrang- oder Ausschlussstandorten von Biogasanlagen eine größere Bedeutung erlangen, wobei die wasserwirtschaftlichen Anforderungen einzubeziehen sind.

9 Ausblick

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht kann der Energiepflanzenanbau für die Biogaserzeugung immer dann zu Konflikten führen, wenn er einen verstärkten Stoffaustrag, insbesondere von Nitratstickstoff verursacht oder mikrobielle bzw. toxische Belastungen zur Folge hat. Dies ist dann der Fall, wenn der Energiepflanzenanbau eine Verdrängung extensiverer oder grundwasserschonender Nutzungsformen verursacht, zu Grünlandumbrüchen führt, eine Anbauintensivierung nach sich zieht, Erosion fördert oder über die Gärrestrückfuhr zu einem Aufbau von N-Quellen mit hohem Auswaschungsrisiko bzw. zu Keim- und Schadstoffanreicherungen führt. In der Praxis kommen derzeit alle genannten Fälle in unterschiedlicher Ausprägung vor. Die wasserwirtschaftlichen Belange sind daher bei der Energiepflanzennutzung verstärkt zu berücksichtigen.

Zur langfristigen Vermeidung von Konflikten zwischen den Zielen des Klimaschutzes einerseits und des Gewässerschutzes andererseits müssen die genannten Belange der Wasserwirtschaft konsequent in die Förderpolitik und den Verwaltungsvollzug integriert werden. Das bedeutet sowohl eine Anpassung der Gesetzesvorgaben als auch die Koppelung von Anbau- und Verwertungsstandards an die Vergabe von Fördermitteln. Weiter sollten die wasserwirtschaftlichen Belange durch eine Vereinheitlichung von Handlungsempfehlungen und Dokumentationspflichten im Rahmen der Anlagengenehmigung sowie beim Anlagenbetrieb stärkere Berücksichtigung finden. Auch die vorhandenen Potenziale von Umweltmanagementsystemen zur Steigerung freiwilliger Umweltleistungen sind für die Belange der Wasserwirtschaft zu nutzen. Durch flankierende Beratungsleistungen sollten Praktiker bei der Umsetzung nachhaltiger, sowohl ökonomisch als auch aus Gewässerschutzsicht optimierter Anbaumethoden im Energiepflanzenanbau und beim Gärrestmanagement unterstützt werden.

Weiterentwicklungen sowohl bei der Steigerung der Energieeffizienz als auch bei der Anlagentechnik und im Energiepflanzenanbau sind noch zu erwarten. Im Rahmen von weiteren Entwicklungen ist daher eine nachhaltige Bewirtschaftungsform sicherzustellen, um die Klimaschutzziele mit den Zielen des Gewässer- und Bodenschutzes in Einklang zu bringen.

10 Quellenverzeichnis

BASERGA, U. 1998: Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen. FAT-Bericht 512

BÄUMER, K.1992: Allgemeiner Pflanzenbau, UTB Taschenbuch 18, Verlag Eugen Ulmer, 3te Aufl.

BERENDONK, LWK NORDREIHN-WESTFALEN, 2006: Anbau von Gras und Kleegras im Herbst 2006

BIOMASSETROM-NACHHALTIGKEITSVERORDNUNG-BioSt-NachV, 11-2009: http://eur-lex.europa.eu

BMELV 2007: Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung. Empfehlungen an die Politik. Wiss. Beirat Agrarpolitik. S 47f.

BUTTLAR VON, C.; BUTTLAR VON, HB.; REULEIN, J.; RODE, A.; GÖDECKE, B.; 2008: Gewässerschonender Betrieb von Biogasanlagen, Untersuchungen zur Optimierung des Betriebes von Biogasanlagen mit Blick auf die Anforderungen des Gewässerschutzes zur Sicherung einer nachhaltigen Nutzung der Bioenergie, im Auftrag der Länderarbeitsgruppe Wasser (LAWA)

BUTTLAR VON, C.; BUTTLAR VON, HB. 2009: Sind Energiepflanzenanbau, Gärrestverwertung und Biogasnutzung mit den Zielen des Gewässerschutzes vereinbar? Zeitschr. Energie- Wasser-Praxis, Jg. 60, Nov. 2009- ISSN 1436-6134, Hrsg. DVGW

CAPRIEL, P.; RIPPEL, R. 2006: Humusbilanzmethode für Bayern nach den Vorgaben Compliance. Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, Inst. f. Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

DITTERT,K.; GOERGES, T.; BLESS, H.-G.; LIN, S.; SATTELMACHER, B.: 1999: Stickstoffdynamik im Boden nach Gülledüngung unter besonderer Berücksichtigung der N-Pflanzenaufnahme; Pflanzenbauwissenschaften 2/1999

DMK, 2009: http://www.risikoregister.de/gvo/dia_laender_maisanbau_anteil_biogas.php

DOMINIK, P. ; JÄGER, N., SÄNGER, A., FRESSA, H. 2009: Humusmehrer oder Humuszehrer – wie wirken NawaRo-Gärreste auf den organischen Bodenkohlenstoff. In Gülzower Fachgespräche Band 32. Tagungsband “Biogas in der Landwirtschaft- Stand und Perspektiven“. Hrsg. FNR 2009

DVGW, 2008: Beurteilung der Erzeugung von Biomasse zur energetischen Nutzung aus Sicht des Gewässerschutzes, Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W1/03/05 (Literaturstudie) Juli 2006-Juli 2008. Hrsg. TWZ, Karlsruhe

DWA- DVGW Merkblatt M 907, 2010: Erzeugung von Biomasse und Verwertung von Gärresten unter Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes. Hrsg. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Bad Hennef. ISBN: 978-3-941089-35-8 (Erscheinung 2010 geplant)

EICHLER, B., ZACHOW, B., 2002: Beitrag des Zwischenfruchtanbaus zur Reduzierung von Stickstoff- und Phosphatverlusten aus der Landwirtschaft. 46. Jahrestagung, Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau, 29. bis 31. August 2002, Rostock, 130-133

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR), 2008: Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen, Juni 2008, Gülzow, 19

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR), 2010: Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen, März 2010, Gülzow

GÄRTNER, S. 2009: Wie ökologisch ist Biogas?; in Gülzower Fachgespräche Band 32. S163ff. Hrsg. FNR 2009

GUTSER, R.; EBERTSEDER, T., 2006: Die Nährstoffe in Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern – ein unterschätztes Potenzial im Stoffkreislauf landwirtschaftlicher Betriebe, S.7-22. In Bewertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern in der Landwirtschaft – Nutzen und Risiken, KTBL-Vortragsveranstaltung vom 19.-20.4.2006 in Osnabrück, KTBL Schrift 444, 275 S.

HÖPER, H. 2009: mündliche Mitteilung, LBEK

HÖHER,G. 2009 (ML Niedersachsen): Bioenergie und Energiepflanzenanbau in Niedersachsen, http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C55032175_L20.pdf

KARPENSTEIN-MACHAN, M. 2005: Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber, DLG Verlag, ISBN 3-7690-0651-8

KAIMBACHER, B., 2007: Wurzelcharakteristika und Wasserverbrauch unterschiedlicher Fruchtarten als Zwischenfrucht für die Sommer, Herbst und Winterbegrünung im semiariden produktionsraum. Uni. F. Bodenkultur, Österreich, AC Nr. AC06054608

KAYSER, M.; MÜLLER, J.; SEIDEL, K.; 2005: Einfluss der Folgefrucht und Düngungsintensität nach einem Grünlandumbruch auf den N- Austrag auf verschiedenen Standorten, im Auftrag der Bezirksregierung Weser- Ems und des OOWV im Rahmen des InterregIIIB-Water4all-Projektes

LANDESAMT FÜR STATISTIK UND KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIE NIDERSACHSEN (LSKN): Ernteberichte Niedersachsen, verschiedene Jahrgänge, Hannover

LANDW. TECHNOLOGIEZENTRUM AUGUSTENBERG, 2007: Gärreste aus Bigasanlagen – Nähr- und Schadstoffe, Einsatzmöglichkeiten im Ackerbau. Aussenstelle Forchheim. http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de

LBEG 2009: http://memas01.lbeg.de/lucidamap/, Bohrungen der Bohrdatenbank

LSKN, 2007: Statistische Berichte Niedersachsen, Bodennutzung und Ernte, Hannover

LÜTKE ENTRUP, N., 2001: Zwischenfrüchte im umweltgerechten Pflanzenbau, aid 1060/2001, S 58-59.

LEITHOLD, G. 2009: Bedeutung von Gärsubstraten aus der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung für die Humusbilanz. In Gülzower Fachgespräche, Band 30. Gärrestaufbereitung für die pflanzenbauliche Nutzung – Stand und F+E-Bedarf. Hrsg. FNR ISBN: 978-3-9803927-5-4

ML NIEDERSACHSEN, 2009: Bioenergie und Energiepflanzenanbau in Niedersachsen. Autor: HÖHER, http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C55032175_L20.pdf

MUK Niedersachsen, 2009: Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, mündl. Mittlg.

3N, 2008: Erhebung bestehender Biogasanlagen bei den Landkreisen Niedersachsens, unveröffentlicht

OSTERBURG,B.; NITSCH, H.; LAGGNER, B., ROGGENDORF, W., 2009: Auswertung von Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems zur Abschätzung von Wirkungen der EU- Agrarreform auf Umwelt und Landschaft, Hrsg. VTI, 2009

NIEDERSÄCHSISCHES GESETZ U. VERORDNUNGSBLATT 5321 vom Nov. 2009: Herausgegeben in Hannover am 17.11.2009. 63. Jahrgang, Nummer 25. S. 431 ff

NDS. MINISTERIALBLATT NR. 42/2008: Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, Anforderungen an die Lagerung von Silage in Feldmieten. Gem. RdErl. d. MU u. d. ML. v. 14.10.2008 – 23-62430- VORIS 28200

NITSCH, H.; OSTERBURG, B.; BUTTLAR VON, C.; BUTTLAR VON, H.B., 2008: Aspekte des Gewässerschutzes beim Anbau von Energiepflanzen. VTI, Braunschweig 2008.

NITSCH, H; OSTERBURG, B., 2009: Eine Gefahr für unser Wasser? In: DLG- Mitteilungen 4/2009

OSTERBURG,B.; NITSCH, H.; ROGGENDORF, W., 2009: Landwirtschaftliche Flächennutzung im Wandel, Hrsg. NABU

ROSKAM, A., 2009: Vortrag vom 15.04.2009, Wasserverbandstag in Hannover

SCHÄFER, W. 2003: Versuchsergebnisse von Lysimeteruntersuchungen zu Winterroggen, Wintergerste und Mais im Wasserschutzgebiet Tülsfelde 2003. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen, pers. Bereitstellung.

SEITZ, SCHÄFER, ESCH, HÖPER, 2007: Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter verschiedenen Nutzungsformen, Hannover

STURM, S.; KIEFER, J.; EICHHORM, E., 2007: Befunde von Pflanzenschutzmitteln in Grund- und Oberflächenwässern und deren Eintragspfade. Bedeutung für die Wasserwirtschaft und das Zulassungsverfahren. DVGW (Hrsg.). Pflanzenschutzmittel in Böden, Grund- und Oberflächenwasser – Vorkommen, Abbau und Zulassung. TWZ, Karlsruhe 31, S. 185-310

STÜLPNAGEL, R., BUTTLAR VON, C. HEUSER, F. WACHENDORF, M. 2010: Alternative Anbausysteme: Das Zweikulturnutzungssystem. In Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen., Hrsg. FNR, 2010

UMWELTBUNDESAMT, 2008: Empfehlungen der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt zum Thema Bodenschutz beim Anbau Nachwachsender rohstoffe. Berlin: Hrsg. UBA

VDLUFA 2004: Leitfaden zur Humusbilanzierung. Hrsg. Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen

WILLMS, M., 2008: Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen, S 59 ff., Hrsg.FNR

WILLMS, M; DEUMLICH, D.; HUFNAGEL, J.; REINICKE, F.; WAGNER, B.; BUTTLAR VON, C.; 2009: Anbauverfahren für Energiepflanzen- Auswirkungen auf Boden und Umwelt. In: Gülzower Fachgespräche, Band 32, Hrsg. FNR

SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (SRU), 2008: Umweltgutachten 2008, Umweltschutz im Zeichen des Klimawandels, Erich Schmidt Verlag, Berlin

SEITZ, SCHÄFER, ESCH, HÖPER, 2007: Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter verschiedenen Nutzungsformen, Hannover

THIERMANN, A., 2001: Entwicklung einer GIS gestützten Methode zur Ermittlung winderosionsgefährdeter Gebiete in Niedersachsen. Dipl.arb.Univ. Bremen. Unveröff. In Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen Teil 1: Bodenerosion und Bodenversiegelung. Schriftenreihe Nachhaltiges Niedersachsen, Dauerhaft umweltgerechte Entwicklung. NLÖ, 2003

UMWELTMINISTERIUM NIEDERSACHSEN, 2009: http://www.umwelt.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=2302&article_id=9086&_psmand=10

VDLUFA, 2004: Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland, Bonn

Notizen: