



INTERNATIONALE REIHE AGRIBUSINESS

Band 14 Welf Guenther-Lübbers, Rhena Kröger,
Ludwig Theuvsen (Hrsg.)

Nährstoffmanagement von Wirtschaftsdüngern und Gärresten

Ökonomie, Ökologie,
Technik und Logistik



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Internationale Reihe Agribusiness

Band 14

Hrsg. von Ludwig Theuvsen und Matthias Heyder

ISSN 1869-9316





NÄHRSTOFFMANAGEMENT VON WIRTSCHAFTSDÜNGERN UND GÄRRESTEN - ÖKONOMIE, ÖKOLOGIE, TECHNIK UND LOGISTIK -

Tagungsband der Tagung vom 03. Juli 2014 in Hannover

Herausgeber:

Welf Guenther-Lübbers, Rhena Kröger, Ludwig Theuvsen

Organisation durch:

Georg-August-Universität Göttingen,



Universität Osnabrück,



3N Kompetenzzentrum e.V.



in Zusammenarbeit mit dem Niedersächsischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.



**Niedersächsisches Ministerium
für Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz**



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2014

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2014

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2014

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-95404-848-9

eISBN 978-3-7369-4848-8



Vorwort

Das Nährstoffmanagement von Wirtschaftsdüngern und Gärresten hat in der jüngeren Vergangenheit verstärkte Aufmerksamkeit gefunden. Ein Grund dafür ist sicherlich die zunehmende räumliche Konzentration der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, die in viehdichten Regionen zu erheblichen Nährstoffüberschüssen führt. Dies bewirkt wachsende Schwierigkeiten der tierhaltenden Betriebe bei der Einhaltung der nach Düngeverordnung zulässigen Ausbringungsmengen. Die Situation ist durch den massiven Ausbau der Biogasproduktion im vergangenen Jahrzehnt verschärft worden. Speziell die Einführung des Güllebonus durch das EEG 2009 hat viele tierhaltende Betriebe dazu veranlasst, in die Biogasproduktion einzusteigen. Durch den vermehrten Anbau von Energiepflanzen für die Biogasproduktion stiegen die Futtermittel- und damit die Nährstoffimporte in die Regionen mit intensiver Viehhaltung. Darüber hinaus sanken durch den Bau von Biogasanlagen die wirtschaftlichen Anreize zum Export von eigentlich transportwürdigen Wirtschaftsdüngern, etwa Geflügelmist. Die Nährstoffsituation hat sich daher in vielen Regionen weiter verschärft. Gegenwärtig zeichnen sich zudem erhebliche Veränderungen im Bereich des Landwirtschaftsrechts ab. Nach Auffassung der EU-Kommission verstößt die deutsche Düngeverordnung in mehrfacher Hinsicht gegen geltendes europäisches Recht, in diesem Fall die Nitratrichtlinie. Die Kommission eröffnete daher im Juli 2014 mit dem Versand einer Stellungnahme die zweite Stufe des Vertragsverletzungsverfahrens. Die zwingend notwendig erscheinende Novellierung der Düngeverordnung wird daher mit großer Wahrscheinlichkeit verschiedene der durch die Bund-Länder-Arbeitsgruppe im Zuge der Evaluierung dieser Verordnung formulierten Fragestellungen und Empfehlungen aufgreifen, so etwa die Einbeziehung von Gärresten aus Biogasanlagen in die Ausbringungsobergrenzen für Stickstoff.

Vor diesem Hintergrund war es das Ziel der am 3. Juli 2014 in Hannover durchgeführten wissenschaftlichen Tagung „Nährstoffmanagement von Wirtschaftsdüngern und Gärresten“, die ökonomischen, ökologischen, technischen und logistischen Fragestellungen hinsichtlich des Nährstoffanfalls aus Wirtschaftsdüngern und Gärresten unter Beteiligung von Experten aus Wissenschaft, betrieblicher Praxis, Ministerien und Verbänden zu diskutieren, eine Bestandsaufnahme vorzunehmen und Lösungswege aufzuzeigen. Der vorliegende Sammelband fasst die wichtigsten Ergebnisse der Tagung zusammen.



Ohne die Mithilfe zahlreicher Beteiligter wäre die Durchführung der Tagung nicht möglich gewesen. Allen Referentinnen und Referenten danken wir für ihre engagierten Vorträge und die zeitnahe Abfassung ihrer Beiträge. Die zahlreichen Zuhörerinnen und Zuhörer haben mit ihren Fragen und Diskussionsbeiträgen die Vortragenden fachlich gefordert und damit zum Erkenntnisfortschritt beigetragen. Frau Dr. Marie-Luise Rottmann-Meyer vom 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachhaltige Rohstoffe e.V., Werlte, sowie Frau Prof. Dr. Gabriele Broll und Herrn Dr. Hans-Jörg Brauckmann vom Institut für Geographie der Universität Osnabrück danken wir für die Unterstützung bei der inhaltlichen und organisatorischen Vorbereitung der Veranstaltung. Dem Niedersächsischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz schließlich gilt – namentlich in Person von Herrn Dr. Gerd Carsten Höher – unser Dank für die wiederholte finanzielle Förderung von Projekten zur Bioenergieproduktion in Niedersachsen, die Beteiligung an den Kosten der Tagung sowie die organisatorische Hilfestellung im Zuge der Tagungsvorbereitung. Für Letztere danken wir in besonderer Weise auch Herrn Theo Lührs.

Welf Guenther-Lübbers

Rhena Kröger

Ludwig Theuvsen

Göttingen, im November 2014



INHALTSVERZEICHNIS

Landwirtschaftliche Biogaserzeugung in Niedersachsen: Systemdienstleistungen durch Biogas und Synergien in der Landwirtschaft	
Gerd Carsten Höher	1
Exemplarische Auswirkungen durch die Anrechnung von Gärresten pflanzlicher Herkunft auf die N-Ausbringungsobergrenze	
Richard Wüstholtz, Sebastian Auburger und Enno Bahrs	9
Schließen von landwirtschaftlichen Nährstoffkreisläufen durch einen überregionalen Wirtschaftsdünger Austausch	
Peter Schießl, Christine Krämer, Knut Ehlers und Alois Heißenhuber	29
Nährstoffgehalte und Biogaserträge separierter Gülle	
Hans-Jörg Brauckmann, Johanna Hering und Gabriele Broll	43
Akzeptanz und Potenziale der Vergärung von Feststoffen aus der Gülleseparation in Biogasanlagen	
Rhena Kröger und Ludwig Theuvsen	57
Rechtliche und ökonomische Aspekte des Einsatzes von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen – Eine Szenarioanalyse	
Welf Guenther-Lübbers, Antonius Diekmann und Ludwig Theuvsen	81
Eine ökonomische Betrachtung der Gärrestausbringung in Abhängigkeit zur Ausbringungsentfernung anhand der Parzellenversuche des EVA- Verbundprojektes	
Peter Kornatz, Janine Müller, Friederike Warns, Klaus Dietz, Florian Gebser, Joachim Aurbacher	105
Applikationstechnik zur Güllendüngung: Effekte von Injektion und Ansäuerung auf Erträge und gasförmige Stickstoffverluste	
Andreas Pacholski, Achim Seidel, Robert Quakernack, Antje Hermann, Tavs Nyord, Annette V. Vestergaard, Friedhelm Taube, Henning Kage	119
Mobilität von Stickstoff aus organischen Düngemitteln im Boden und deren Humusreproduktionsleistung	
Jürgen Reinhold	129





LANDWIRTSCHAFTLICHE BIOGASERZEUGUNG IN NIEDERSACHSEN: SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN DURCH BIOGAS UND SYNERGIEN IN DER LANDWIRTSCHAFT

Gerd Carsten Höher

Zusammenfassung

Für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende ist die integrierte stoffliche und energetische Verwertung von Biomasse in Form der Koppelproduktion und Kaskadennutzung ein Schlüssel zum Erfolg. Eine Erhöhung der Energieeffizienz ist hierbei ebenso unerlässlich, wie die Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien. Vor diesem Hintergrund ist es zwingend, die Bioenergie ganzheitlich und systembezogen weiter zu entwickeln. Eine wichtige Basis ist auch die umweltverträgliche und gesellschaftlich anerkannte Erzeugung und Bereitstellung von Biomasse durch die Agrar- und Forstwirtschaft. Dabei ist es möglich, umfangreiche Systemdienstleistungen der Bioenergie in vielfältiger Art und Weise zu generieren. Die nachhaltige Integration von Bioenergie und insbesondere von Biogas in einem Energie- und Rohstoffsystem der Zukunft kann nur gelingen, wenn die Bioenergie möglichst effizient, umweltverträglich und mit höchstmöglichem volkswirtschaftlichem Nutzen eingebunden wird.

Keywords

Biogas, Niedersachsen, Systemdienstleistungen

1 Einleitung

Der Klimawandel als große globale Herausforderung des 21. Jahrhunderts erfordert eine Rohstoff- und Energiewende. Im Zentrum stehen dabei die Einsparung und Abkehr von fossilen Rohstoffen. Die energetische und stoffliche Nutzung von Biomasse aus der Land- und Forstwirtschaft oder der Landschaftspflege sowie von biogenen Rest- und Abfallstoffen ist für die Umsetzung der „Rohstoff- und Energiewende“ von herausragender Bedeutung.

Bioenergie hat einen Anteil von 10 % am Energieverbrauch in Niedersachsen. 60 % aller erneuerbaren Energien in Niedersachsen erbringt die Bioenergie. Die Landwirtschaft hat daran mit ihren Energiepflanzen und Nebenprodukten einen Anteil von 55 %. Biogas ist die mit großem Abstand wichtigste Form der Bioenergie in Niedersachsen. Bis zur Novellierung des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) in 2004

spielte der Einsatz von Energiepflanzen nur eine untergeordnete Rolle. Durch das EEG 2004 war es möglich, Anbaubiomasse, die insbesondere auf Stilllegungsflächen angebaut wurde, rentabel einzusetzen. Das Agrarpreisniveau befand sich auf einem sehr niedrigen Niveau, so dass Biogas von der Landwirtschaft in Niedersachsen als gute Option angesehen wurde. Der Bonus, den das EEG für den Einsatz von Energiepflanzen, landwirtschaftlichen Nebenprodukten und Wirtschaftsdünger gewährte (NaWaRo-Bonus), war der Auslöser für den seit 2004 zu verzeichnenden Biogasboom in der niedersächsischen Landwirtschaft.

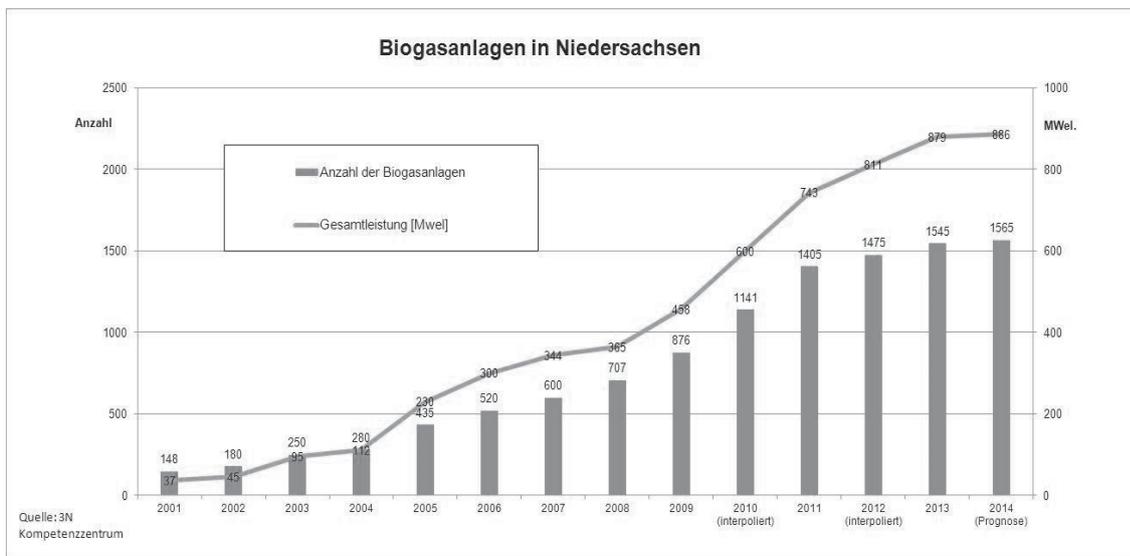
2 Biogas in Niedersachsen

Seit der EEG-Novellierung 2004 sind mehr als 1.300 neue Biogasanlagen errichtet worden. Die neueren Anlagen setzen fast ausnahmslos nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo), Gülle, Festmist und landwirtschaftliche Nebenprodukte ein. In Niedersachsen werden 2014 nach Einschätzung der Landwirtschaftskammer und des 3N Kompetenzzentrums 14 Millionen Tonnen Energiepflanzen in Biogasanlagen eingesetzt. Zusätzlich ist von einem Inputvolumen von rund 7 Millionen Tonnen Gülle, Festmist und landwirtschaftlichen Nebenprodukten sowie von 1,5 Millionen Tonnen pflanzlichen Bioabfällen und tierischen Nebenprodukten (ohne Wirtschaftsdünger) auszugehen. Knapp die Hälfte aller Inputsubstrate sind danach Nebenprodukte und Reststoffe.

Tabelle 1: Biogas in Niedersachsen (Stand 2013)

Anlagenbestand		
Anlagenbestand	N	1.545
Installierte elektr. Leistung	MW	879
Methananlagen	N	26
Regionale Verteilung der installierten elektrischen Leistung		
Milchviehregionen		22 %
Ackerbauregionen		39 %
Veredlungsregionen		39 %

Quelle: Biogasinventur 2014, 3N-Kompetenzzentrum, Werlte

Abbildung 1: Entwicklung des Anlagenbestandes Biogas in Niedersachsen

Quelle: Biogasinventur 2014, 3N-Kompetenzzentrum, Werlitz

3 Energiepflanzen für Biogas in Niedersachsen

Niedersachsen verfügt über 2,6 Mio. ha landwirtschaftliche Fläche (LF), davon wird etwa 2/3 (rd. 1,9 Mio. ha) als Ackerland (AF) und rd. 0,7 Mio. ha als Grünland bewirtschaftet. Seit 2003 ist der Maisanbau in Niedersachsen von etwa 330.000 ha auf rd. 600.000 ha ausgeweitet worden. Ein Großteil des Zuwachses ist der Energieerzeugung zuzuordnen, der aktuell etwa 220.000 ha umfasst. Insgesamt hat der Energiemais einen Flächenanteil von etwa 10 % an der Ackerfläche. Dieser fällt in den Regionen jedoch sehr unterschiedlich aus.

Hinsichtlich ihrer Effizienz im Biogasprozess sind die Energiepflanzen sehr unterschiedlich zu bewerten (vgl. Tabelle 2). Der Mais verdankt seine zunehmende Flächeninanspruchnahme seiner sehr hohen Flächen- und Energieeffizienz sowohl im Futter- als auch im Energiepflanzenanbau. Dies führte vor allem in den Veredlungsregionen und Milchviehregionen zur Problematik hoher bis sehr hoher Maisanteile. In den Ackerbauregionen ist der Maisanbau dagegen häufig mit einer Erweiterung der engen Fruchtfolgen verbunden und stellt damit eine Verbesserung dar. In den letzten zwei Jahren ist trotz des Zubaus von Biogasleistung kein nennenswertes Wachstum der Energiemaisfläche zu verzeichnen. Eine Hauptursache ist die dynamische Effizienzsteigerung der Biogasproduktion.

Tabelle 2: Effizienz der Energiepflanzen für Biogas

Energiepflanzen	Flächenanteil*	Energieanteil*	Massenanteil
Mais	76,6 %	84,2 %	82,7 %
Rübe	1,4 %	1,6 %	2,3 %
Ganzpflanzensilage	3,5 %	1,6 %	2,3 %
Zwischenfrüchte	1,3 %	0,5 %	0,7 %
Getreide	1,5 %	0,8 %	0,3 %
Gras	10,2 %	5,7 %	5,9 %

Quelle: Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ) – Betreiberbefragung 2013;

* Eigene Berechnungen

4 Stromerzeugung aus Biogas

Der Anteil der Biogasanlagen an der Stromerzeugung und am Stromverbrauch hat sich seit 2003 sehr dynamisch entwickelt. Anders als der Strom aus den fluktuierenden erneuerbaren Energien liefert Biogas grundlastfähigen Strom und wird zunehmend auch als Regelenergie eingesetzt. Damit besitzt Biogas ähnlich wie die Holz-Biomassekraftwerke im Hinblick auf die Stromerzeugung bei den erneuerbaren Energien eine besondere Bedeutung für die Versorgungssicherheit und Netzstabilität.

Tabelle 3: Entwicklung der Stromerzeugung aus Biogas in Niedersachsen

	Biogasstrom- erzeugung (GWh)	Gesamtstrom- erzeugung (GWh)	Anteil an Ge- samtstrom- erzeugung
2003	342	68.810	0,6 %
2004	533	66.521	0,8 %
2005	693	66.110	1,0 %
2006	1.191	69.423	1,7 %
2007	2.238	70.369	3,3 %
2008	2.456	70898	3,5 %
2009	3.000	72.780	4,1 %
2010	3.610	74.640	4,8 %
2011*	6.220	74.000	8,4 %
2012*	6.900	74.000	9,3 %

Quelle: Niedersächsisches Landesamt für Statistik 2011 und 2012 eigene Prognose

Aufgrund der Kraftwerkskapazitäten liegt die Stromerzeugung in Niedersachsen über dem Stromverbrauch. Im Durchschnitt der letzten Jahre ergab der Stromaustauschsaldo einen Exportüberschuss von etwa 20.000 GWh. Die Stromabgabe der Elektrizität



tätsversorgungsunternehmen an die Letztverbraucher lag im Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2010 bei rund 49.000 GWh. Bezogen auf diese Strommenge hätte Biogas in Niedersachsen 2010 rechnerisch rund 7,4 % der Stromabgabe an die Letztverbraucher abdecken können (2012: 14 %).

5 Klimaschutz durch Biogas

In Niedersachsen ersparen die Biogasanlagen nach Berechnungen der HAWK Göttingen, ML und 3N jährlich rund 3,5 Millionen Tonnen klimaschädigendes CO₂ (0,597 kg CO₂/kWh-Netto-CO₂-Äquivalente-Vermeidung) und leisten damit einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz.

Tabelle 4: Klimaschutzwirkung der Biogassubstrate in Niedersachsen

Input	CO ₂ -Minderung 1.000 t	Anteil CO ₂ -Minderung
Gülle und Jauche	578	17 %
Festmist	190	6 %
Nebenprodukte	70	2 %
Energiepflanzen	2.292	67 %
Bioabfälle	309	9 %
Summe	3.497	100 %

Quelle: 3N-Kompetenzzentrum, Biogasinventur 2012

6 Systemdienstleistungen von Biogas

Die Energiewende gehört zu den größten Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte. Die Bioenergie und insbesondere Biogas nimmt hierbei eine besondere Stellung ein. Im zukünftigen Energiesystem kann Biogas eine zentrale Funktion beim Ausgleich der fluktuierenden Wind- und Solarenergie übernehmen, da sie bedarfsgerecht bereitgestellt werden und auch Energiesystemdienstleistungen erbringen kann. Darüber hinaus kann Biogas auch in anderen Bereichen „Systemdienstleistungen“ bereitstellen, die im Folgenden skizziert werden:

- **Systemdienstleistung für die Stromwirtschaft bei einem hohen Anteil fluktuierender Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik**
 - Bereitstellung von Grundlast in einer längeren Übergangsphase zu 100 % Erneuerbarer Energie



- Regelenergie für Frequenzhaltung (2013 schon > 700 MW inst. Leistung aus Bioenergie in Deutschland)
- Blindleistung für Spannungshaltung
- Versorgungswiederaufbau
- Bereitstellung Spitzenlast
- Netzmanagement
- Bereitstellung von nicht fossilen CO₂-Stoffströmen für die Speicherung von Windstrom aus Power to Gasanlagen
- **Systemdienstleistung in der Abfallwirtschaft**
 - Sicherung Nährstoffkreisläufen
 - Substitution von Mineraldünger → Klima- und Ressourcenschutz
 - Methanvermeidung → Klimaschutz
 - Hygienisierung → i.d.R. Verringerung der Keimbelastung
 - Verbesserung der Energiebilanz
 - Senkung der Kosten durch Kaskaden
- **Systemdienstleistung für die Ernährungswirtschaft**
 - Verbesserung der Energie- und Treibhausgasbilanz
 - Substitution fossiler Energie
 - Methanvermeidung → Klimaschutz
 - Gutschriften für Wärmenutzung
 - Nährstoffkreisläufe → Klima- und Ressourcenschutz
 - Kaskadennutzung
- **Systemdienstleistung für Naturschutz und Landschaftspflege**
 - Energie aus Landschaftspflegematerial
 - Offenhaltung von extensiv genutzten Flächen
 - Nutzung anfallender Stoffströme (Treibsel)
 - Senkung der Pflegekosten
- **Systemdienstleistung für die Landwirtschaft**
 - Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen
 - Emissionsminderung → Geruchsbelästigung
 - Methanvermeidung → Klimaschutz
 - Verbesserung der Düngereigenschaften
 - Hygienisierung → i.d.R. Verringerung der Keimbelastung



- Effiziente Nutzung von Futterresten und Nebenprodukten → Verbesserung der Wertschöpfung
- Nutzungsoption für belastete Böden (Schwermetalle, Dioxin, etc.)
- Wärmebereitstellung in KWK für betriebliche Zwecke Tierhaltung u.a.
- Stabilisierung der Agrarrohstoffpreise
- Nutzungsoption für entwertete Biomasse (Hagelschaden, Fusarien, etc.)
- Diversifizierung

7 Wirtschaftliche Auswirkungen der EEG Novelle 2014 auf den Biogassektor

Durch die geplante EEG Novelle wird es, wenn überhaupt, nur noch einen marginalen Neubau von Biogasanlagen geben. Der Auslandsmarkt wird die Unternehmen der Branche bei weitem nicht tragen können, zumal keine Zeit für Anpassungsreaktionen bleibt. Durch die Stichtagsregelung im EEG werden nur sehr wenige Anlagen, die sich in der Planung befanden, gebaut werden. Mehr als 2.000 Arbeitsplätze bei Anlagenherstellern und Komponenten – Zulieferer sind dadurch in Niedersachsen akut gefährdet. Die Biogasindustrie benötigt zur Wahrnehmung der Exportchancen den Heimatmarkt als Referenz und Motor für Innovationen. Durch den Verlust an Unternehmen und Arbeitsplätzen verliert der ländliche Raum erhebliche Wertschöpfung.

Durch die Neuregelungen des EEG geraten die Bestandsanlagen finanziell zusätzlich unter Druck. Die Festlegung der Höchstbemessungsleistung als Deckel für die Stromerzeugung von Bestandsanlagen verhindert Effizienzsteigerungen und damit auch Kostensenkung im Rahmen der bereits genehmigten installierten Leistung. Das Wachstum auf Bestandsanlagen durch Satelliten BHKW oder andere Maßnahmen als Anpassungsstrategie auf steigende Kosten oder Auflagen aus anderen Rechtsbereichen wie dem Immissionsrecht oder dem Düngerecht wird den Anlagen nicht ermöglicht. Damit wird der wirtschaftliche Bestandsschutz ausgehöhlt.

Den Bestandsanlagen bleiben in dieser Situation nur folgende Anpassungsstrategien an die veränderten Rahmenbedingungen:

- Absenkung der Leistung führt zu höheren EEG-Vergütungen je kWh
- Verringerung des Gülleanteils auf max. 30 % zur Erhaltung des Güllebonus



- Verringerung des Anteils alternativer Energiepflanzen

Durch einzelne Reaktionen oder die Kombination von Reaktionen können die Anlagen das Verhältnis von Kosten zu Einnahmen verbessern und erforderliche Investitionen finanzieren. Die Absenkung des Gülleanteils und die Verlagerung von energiearmen Substraten zu energiereichen Substraten erfolgt auch im Hinblick auf die durch das Düngerecht beabsichtigte Erweiterung des Lagervolumens auf 9 Monate. Wenn die Inputmenge ohne nennenswerten Energieverlust reduziert werden kann, ist ein zusätzliches meist Gärrestlager nicht erforderlich. Eine erhebliche Zahl an Biogasanlagen wird vor allem in Regionen mit hohen Flächenkosten oder bei hohem Anteil von Substraten aus Zukauf wirtschaftlich nicht überleben.

Literatur

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2013): Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2012/2013.

NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2012): Biogas in Niedersachsen – Entwicklung, Stand und Perspektiven.

Anschrift des Kontaktautors

*Dr. Gerd Carsten Höher
Niedersächsisches Ministerium für Ernährung,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
Calenberger Straße
30169 Hannover
Deutschland
Tel.: +49 5111202224
eMail: gerd.hoeher@ml.niedersachsen.de*

EXEMPLARISCHE AUSWIRKUNGEN DURCH DIE ANRECHNUNG VON GÄRRESTEN PFLANZLICHER HERKUNFT AUF DIE N-AUSBRINGUNGSOBERGRENZE

Richard Wüstholtz, Sebastian Auburger und Enno Bahrs

Zusammenfassung

Eine bundesweite Untersuchung der Wirtschaftsdüngerströme zeigt insbesondere für Regionen in Nordwestdeutschland einen beachtlichen Wirtschaftsdüngeranfall sowohl tierischer als auch pflanzlicher Herkunft auf. Bislang konnten Gärreste pflanzlicher Herkunft aus der Biogasproduktion im Hinblick auf die Ausbringungsobergrenze von 170 kg N/ha unberücksichtigt bleiben. Dies wird sich voraussichtlich mit der anstehenden Novellierung der Düngeverordnung ändern. Eine ggf. zulässige Ausbringungsmenge bis zu 250 kg N für Substratanbauflächen von Biogaserzeugern würde teilweise zu einer betriebswirtschaftlichen Entlastung der ansonsten zukünftig sich verändernden regionalen Nährstoffproblematik und dem damit verbundenen Flächenbedarf zur Wirtschaftsdüngerverbringung führen. Allerdings lässt sich eine derartig generelle Vorgehensweise aus ökologischer bzw. pflanzenbau-technischer Sicht nicht rechtfertigen. Demgegenüber kann die Derogation für intensiv genutzte Grünlandflächen als sinnvolles Instrument verstanden werden, das zum einen die Belange des Wasserschutzes berücksichtigt und zum anderen zu einer Entlastung der einzelbetrieblichen als auch der regionalen N-Problematik beitragen kann.

Keywords

Gärreste, Wirtschaftsdünger, Derogation, Düngeverordnung

1 Einleitung

Das Gesetz für den Vorrang der Erneuerbaren-Energien (EEG) hat deutschlandweit in den vergangenen Jahren zu einem erheblichen Ausbau der regenerativen Energiequellen geführt. Die Biogasproduktion war daran signifikant beteiligt (WBA, 2011). Mit ihr war auch eine entsprechende Ausdehnung des Biomasseanbaus zur Energiegewinnung verbunden (MÖLLER et al., 2011; v. BUTTLAR et al., 2010). Neben anderen ökologischen Begleiterscheinungen wird die intensivierete Biogasproduktion insbesondere aus wasserwirtschaftlicher Sicht zunehmend kritisch gesehen. Befürchtet werden u.a. Nährstoff- und/oder Schadstoffeinträge in Grund- und Oberflächengewässer in Folge des verstärkten Biogassubstratanbaus (KIEFER, 2011). Da die Land-



wirtschaft für den größten Anteil an Nitrateinträgen in das oberflächennahe Grundwasser verantwortlich ist, kommt ihr dabei eine große Bedeutung zu (ARLE et al., 2013; BMU und BMELV, 2012). Dieser Sachverhalt wurde von einer Bund-Länder-Arbeitsgruppe (BLAG) zur Evaluierung der Düngeverordnung (DüV) aufgegriffen. Die BLAG erarbeitete im Rahmen ihres Evaluierungsberichtes Vorschläge für ordnungsrechtliche Veränderungen der derzeit gültigen DüV, die auch Auswirkungen auf die Nährstoffflüsse von und zu Biogasanlagen (BGA) induzieren können (BLAG, 2012). Einer der Vorschläge der BLAG sieht beispielsweise vor, dass die für Stickstoff (N) aus tierischen Ausscheidungen geltende Ausbringungsobergrenze von 170 kg N/ha auf alle organischen Düngemittel angewendet werden soll (BLAG, 2012). Insbesondere Gärreste pflanzlichen Ursprungs aus BGA würden dadurch stärker in den Fokus der Düngemittelanwendung gerückt werden (TAUBE et al., 2013). Aus derzeitiger Sicht wären damit Konsequenzen für die regionalen Nährstoffströme verbunden, die u.a. im Fokus dieses Beitrags stehen. Abseits der Anrechnung von Gärresten pflanzlicher Herkunft auf die N-Applikationsgrenze können weitere ordnungsrechtliche Vorgaben (z.B. die gemäß § 6 DüV maximal zulässigen Nährstoffsalden für Stickstoff und Phosphat (P)) ebenfalls mit Auswirkungen auf die regionalen Nährstoffströme verbunden sein. Eine Quantifizierung der Auswirkungen dieser Restriktionen ist jedoch aufgrund einer eingeschränkten Datenverfügbarkeit auf kommunaler Ebene nicht möglich. Der Fokus liegt deshalb im Folgenden ausschließlich auf der N-Ausbringungsobergrenze, wenngleich derzeit insbesondere in Veredelungsregionen der maximal zulässige P-Saldo den begrenzenden Faktor für die WirtschaftsdüngerAusbringung darstellen kann (BLAG, 2012). Da allerdings die anzurechnenden Mindestwerte in Prozent der Ausscheidungen an Gesamt-N für flüssige Wirtschaftsdünger aus der Schweinehaltung in der novellierten DüV um 10 % erhöht werden sollen (SCHULZE PALS, 2014), kann zukünftig die N-Ausbringungsobergrenze den erstlimitierenden Faktor für die WirtschaftsdüngerAusbringung in Veredelungsregionen darstellen. Die gewählte Fokussierung auf die N-Ausbringungsobergrenze entfaltet somit eine hohe Maßgeblichkeit.

Durch die Anrechnung der Gärreste pflanzlicher Herkunft auf die N-Ausbringungsobergrenze würde die in der Vergangenheit anwendbare – aber derzeit ausgesetzte – Derogation erheblich an Bedeutung gewinnen. Vor diesem Hintergrund werden in diesem Beitrags Überlegungen angestellt, für welche Regionen die Derogation an Bedeutung gewinnen würde. In diesem Zusammenhang soll auch analysiert werden,



inwieweit eine erhöhte Ausbringungsobergrenze für Betriebe sinnvoll sein kann, die auf Grünland- und/oder Ackerflächen Substrate zur Vergärung in BGA anbauen und die die anfallenden Gärreste im Gegenzug auf den jeweiligen Flächen ausbringen. Dieser Sachverhalt ist zwar nicht Bestandteil der Vorschläge der BLAG, dennoch wird er derzeit diskutiert (SCHULZE PALS, 2014).

Die genannten Fragestellungen sollen im Folgenden mit Hilfe einer bundesweiten Analyse der N-Nährstoffströme aus Wirtschaftsdüngern auf kommunaler Ebene stattfinden, die neben dem N-Anfall aus der Tierhaltung auch den N-Anfall aus der Biogas- und Biomethanproduktion berücksichtigt. Wenngleich die BLAG bereits diesbezügliche Analysen dargelegt hat, sind uns bislang keine umfassenden Analysen bzw. Veröffentlichungen bekannt, die auf Basis aktuellster kleinräumiger Daten zur Tierhaltung (Landwirtschaftszählung 2010) und Biogas-/Biomethanproduktion auf Gemeindeebene mögliche Konsequenzen einer novellierten DüV betrachten und erhöhte Ausbringmengen auf bestimmten Acker- und Grünlandflächen stärker ins Kalkül zieht. Dabei stellen insbesondere die Integration des Nährstoffanfalls aus Biomethananlagen (BMA), deren räumliche Auswirkungen auf die Nährstoffströme z.T. beachtlich sind, sowie die Auswirkungen und das Potential von erhöhten Ausbringungsobergrenzen für Substratanbauflächen eine Besonderheit dar.

2 N-Ausbringungsobergrenzen im Kontext der Düngeverordnung

Die Europäische Nitratrichtlinie 91/676/EWG (NRL) wurde in Deutschland mit Hilfe der DüV in nationales Recht umgesetzt. Durch die DüV wird die „gute fachliche Praxis“ der Düngung definiert und zur Erreichung verschiedener umweltpolitischer Ziele beigetragen (BLAG, 2012). Die DüV unterstützt damit auch die Umsetzung der WRRL. Damit ein substanzieller Beitrag der DüV zur Erreichung der umweltpolitischen Ziele nachhaltig sichergestellt wird, wurde die DüV durch die BLAG evaluiert. Der Evaluierungsbericht der BLAG offenbart deutlichen Verbesserungsbedarf der derzeit gültigen ordnungsrechtlichen Vorgaben seitens der DüV (WBA, WBD & SRU, 2013). Da im Rahmen dieses Beitrags nicht auf alle Vorschläge seitens der BLAG eingegangen werden kann, liegt im Folgenden der Fokus ausschließlich auf den Forderungen der BLAG bezüglich der N-Ausbringungsobergrenze für organische Dünger.

Wirtschaftsdünger sind wertvolle organische Dünger, die einen wichtigen Beitrag zur Deckung des Nährstoffbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen beitragen (JUNK, 2008).



Durch biologische Abbauprozesse wird der in der organischen Substanz gebundene Stickstoff erst nach und nach mineralisiert und somit pflanzenverfügbar. In Folge von langjährigen, hohen Wirtschaftsdüngergaben kann es zu einer starken N-Anreicherung im Boden inkl. einer ansteigenden N-Nachlieferung kommen (WENDLAND et al., 2011). Um eine ausreichende Sofortwirkung der Nährstoffapplikation zu erreichen, besteht außerdem die Gefahr, dass die erforderliche Brutto-N-Menge erhöht wird (BREITSCHUH et al., 2006). Erhöhte N-Auswaschungen, Lachgas- und weitere N-Emissionen können in der Folge damit verbunden sein (BLAG, 2012). Aus diesem Grund existiert die 170 kg N-Grenze für Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft, die darauf abzielt, eine zu hohe Brutto-N-Menge je Flächeneinheit und eine zu starke N-Anreicherung/N-Mobilisierung im Boden zu verhindern und somit die Gefahr von Verlusten zu verringern (BACKES und ALBERS, 2012). Da die Herkunft des organischen Stickstoffs, ob pflanzlich oder tierisch, dabei keine Rolle spielt (BLAG, 2012), fordert die BLAG die 170 kg N-Grenze auf alle organischen Düngemittel auszuweiten.

Rinder haltende Betriebe konnten in der Vergangenheit von der seit 2006 existierenden – aber derzeit ausgesetzten – Derogation Gebrauch machen, die unter definierten Bedingungen eine erhöhte Ausbringung von maximal 230 kg N/ha tierischer Herkunft auf intensiv genutztem Grünland und Ackergras erlaubt. Diese Ausnahmeregelung kann mit dem hohen N-Bedarf der Grünland- bzw. Ackergrasflächen aufgrund der intensiven Schnittnutzung begründet werden. So weisen beispielweise weidelgrasreiche, intensiv genutzte Grünlandbestände einen N-Bedarf von deutlich über 300 kg N/ha auf (DIEPOLDER und RASCHBACHER, 2010; WENDLAND et al., 2011). Diese Grünlandbestände können hohe N-Gaben sinnvoll verwerten, ohne dass es dabei zu einem erhöhten N-Auswaschungsrisiko kommt (vgl. Untersuchungen von BACKES und ALBERS, 2012; LASER et al., 2011; DIEPOLDER und RASCHBACHER, 2011; SVOBODA et al., 2013a). Eine Verlängerung der seit Ende 2013 ausgesetzten Ausnahmegenehmigung kann dennoch nur auf Basis eines von der EU-Kommission akzeptierten, novellierten DüV durchgeführt werden.

Abseits der Derogation wird derzeit über erhöhte N-Ausbringungsobergrenzen (bis 250 kg N/ha) für Substratanbauflächen für Biogasanlagen diskutiert (SCHULZE PALS, 2014). Eine solche Vorgehensweise ist zwar nicht Gegenstand der Vorschläge der BLAG, dennoch ist sie Bestandteil des derzeitigen politischen Entscheidungsprozesses zur Novellierung der DüV. Da es sich bei Gärresten pflanzlicher Herkunft um kei-



nen „Dung“ im Sinne der NRL handelt, könnten in einem solchen Szenario im Gegensatz zur Derogation Ausbringungsmengen von über 170 kg Gesamt-N je Hektar aus organischen Düngemittel ohne explizite Genehmigung durch die EU-Kommission zulässig sein, sofern der Bedarf des dazugehörigen Aufwuchses diesen N-Einsatz rechtfertigt. Eine Ausbringungsmenge von bis 250 kg N/ha bedeutet eine 47 %ige Steigerung der möglichen organischen Düngermengen gegenüber der 170 kg N-Grenze. Inwieweit eine solche Ausbringungsmenge für Substratanbauflächen fachlich vertretbar ist, soll im Folgenden kurz betrachtet werden. Dabei kann nicht der Anspruch erfüllt werden, diese Fragestellung im Rahmen des Beitrags abschließend zu beantworten. Stattdessen sollen Zusammenhänge und Voraussetzungen aufgezeigt werden, die eine solche Vorgehensweise für sinnvoll erscheinen lassen bzw. dagegen sprechen: Die bislang durchgeführten Untersuchungen, die die mit der Ausbringung von Gärresten verbundenen Umwelteffekte sowie die aus ökologischer und naturwissenschaftlich-technischer Sicht sinnvollen Ausbringungsobergrenzen näher betrachten, kommen zu der Erkenntnis, dass Gärreste eine vergleichbare Düngewirkung und ein vergleichbares N-Auswaschungspotentials wie unvergorene Gülle aufzeigen (vgl. PÖTSCH, 2005; BRENNER und CLEMENS, 2005; SVOBODA et al., 2013a und 2013b; JØRGENSEN und PETERSEN, 2006). Somit erscheint eine Übertragung der für Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft geltenden N-Ausbringungsobergrenzen auf Gärreste aus BGA für angebracht. Da Grassilage ein wertvolles Kosubstrat in BGA darstellen kann (RÖSCH et al., 2006; ELSÄBER et al., 2012) und Grünland demzufolge eine zunehmende Bedeutung als Rohstoffquelle für die Biogaserzeugung zukommt (WACHENDORF, 2010), kann eine erhöhte Ausbringungsobergrenze für Grünlandflächen, die intensiv genutzt werden für sinnvoll erachtet werden. Dagegen stellt sich eine erhöhte N-Ausbringungsobergrenze auf Ackerflächen, die zum Energiepflanzenanbau genutzt werden, differenzierter dar. Der flächen- und mengenmäßig bedeutendste nachwachsende Rohstoff, der in BGA vergoren wird ist Silomais (DBFZ, 2013). Bei einem Frischmasseertrag von ca. 500 dt/ha weist Silomais einen N-Sollwert von ca. 190 kg N/ha auf (WENDLAND et al., 2012; LWK Niedersachsen, 2012). Unter Berücksichtigung der häufig mit mineralischen N/P-Düngern durchgeführten Unterfußdüngung zu Mais (LICHTI et al., 2012) und unter Berücksichtigung des N_{\min} -Bodenvorrats im Frühjahr sowie unter Anrechnung eines Abschlagfaktors aufgrund von langjähriger Düngung (BAUMGÄRTEL et al., 2010) ergibt sich allerdings ein vergleichsweise niedriger Düngebedarf mit Hilfe dessen sich



eine erhöhte Ausbringungsmenge von über 170 kg N/ha nicht rechtfertigen lässt. Eine Erhöhung der N-Ausbringungsobergrenze auf 250 kg N/ha für Silomaisflächen erscheint unter diesen Annahmen nicht nachvollziehbar, zumal eigene Berechnungen auf Basis regionaler Hektarerträge auf der Landkreisebene Deutschlands ergeben, dass ca. 77 % der Landkreise in dem Zeitraum 2007 bis 2011 durch durchschnittliche Silomaiserträge von unter 500 dt FM/ha gekennzeichnet waren. Somit lässt sich festhalten, dass eine großflächig zulässige Ausbringungsobergrenze von 250 kg N/ha für Ackerflächen von Biogasbetrieben aus fachlicher Sicht derzeit nicht begründet werden kann und dass ausschließlich intensiv genutzte Grünlandflächen die dafür notwendigen Anforderungen erfüllen. Für den Fall, dass in einer novellierten DüV abseits obiger Ausführungen für beide Flächennutzungen eine Ausbringungsmenge von 250 kg N/ha durch Gärreste zulässig sein sollte, hätte dies Auswirkungen auf die regionalen Nährstoffflüsse in Deutschland. Diese Nährstoffflüsse sollen in den folgenden Kapiteln betrachtet werden.

3 Material und Methoden bezüglich der N-Nährstoffflüsse

Die Grundlage für die regionalen Analysen der Stickstoffströme aus der Tierhaltung bilden die Daten der Landwirtschaftszählung (LZ) 2010. Die zur Berechnung des N-Anfalls verwendeten Koeffizienten der N-Ausscheidungen der Tierarten und Altersgruppen findet auf Basis von Anlage 5 DüV sowie den „Stammdaten Tier“ des Nährstoffbilanzierungsprogramm „NäBi“ (LEL, 2012) statt. Neben dem N-Anfall aus der Tierhaltung müssen auch Gärreste aus BGA und BMA berücksichtigt werden. Da die Menge an Gärresten bisher statistisch nicht erfasst wird, werden die anfallenden N-Mengen aus BGA und BMA mit Hilfe regionaler Daten der Übertragungsnetzbetreiber sowie der Deutschen-Energie-Agentur (DNA, 2013), über die Lage und die Leistung der zum 31. Dezember 2011 bzw. 2013 in Deutschland betriebenen BGA und BMA geschätzt. Dazu werden für die Anlagen, in Abhängigkeit von der Tatsache, ob es sich um eine BGA- oder BMA handelt, zwei¹ unterschiedliche Substratrationen unterstellt, auf Basis derer der N-Anfall berechnet² wird. Die berechneten N-Mengen je Gemeinde werden anschließend auf die effektiv zur Verfügung stehende LF bezo-

¹ Die unterstellten Substratrationen basieren auf den Ergebnissen der Betreiberbefragung des Deutschen Biomasseforschungszentrums im Jahr 2013 (DBFZ, 2013).

² Je 1 kW installierter elektrischer Leistung von Biogasanlagen wurden 76,7 kg N im Gärrest pflanzlicher Herkunft angenommen. Je 1 m³/h Biomethaneinspeiseleistung von Biomethananlagen wurden 318 kg N im Gärrest pflanzlicher Herkunft zugrunde gelegt.

gen, auf der Wirtschaftsdünger ausgebracht werden können. Diese effektive LF (nachfolgend als LF_{eff} bezeichnet) errechnet sich aus der LF abzüglich von Sonder-/Dauerkulturflächen (z.B. Gemüse, Obst- und Weinbauflächen). Wenngleich diese Annahme nicht für alle Obst- und Gemüseflächen zutrifft, gehen wir im Folgenden von dieser Vereinfachung aus. Neben den berücksichtigten Sonder-/Dauerkulturflächen kann die effektive Flächenverfügbarkeit für die organische Düngerausbringung noch durch weitere Einschränkungen limitiert werden (z.B. Vertragsnaturschutzprogramme, Auflagen seitens des Wasserschutzes etc.). Diese Sachverhalte bleiben bei der Berechnung der LF_{eff} allerdings aufgrund von begrenzter Datenverfügbarkeit auf Gemeindeebene unberücksichtigt, obwohl sie regional eine bedeutende Rolle spielen können (BLAG, 2012).

Neben der Betrachtung, dass sowohl für Ackerland als auch für Grünland die gleichen Ausbringungsobergrenzen für Wirtschaftsdünger-N gelten, sollen darüber hinaus die Auswirkungen einer möglichen Derogation für Grünlandflächen (230 kg N/ha) in Kombination mit einer Ausbringungsobergrenze von 250 kg N/ha auf Acker- und Grünlandflächen, die für den Energiepflanzenbau nutzbar sind, betrachtet werden. Dazu müssen die jeweils möglichen Flächenanteile für die einzelnen Ausnahmeregelungen berücksichtigt werden. In Anlehnung an TAUBE et al. (2013) und HARTMANN (2006) wird angenommen, dass ca. 50 % der (regionalen) Grünlandflächen die Voraussetzungen für eine Inanspruchnahme der Derogation erfüllen. Bei der Berechnung des N-Anfalls je Hektar wird daher für diesen Teil der Grünlandflächen eine Ausbringungsmenge von 230 kg N/ha angenommen. Die Derogation für Ackergraskulturen bleibt aus Vereinfachungsgründen und aufgrund ihrer relativ geringen Bedeutung unberücksichtigt. Im Kontext der 250 kg-N-Ausbringungsobergrenze wird der Umfang der Flächen, für die diese erhöhte Ausbringungsmenge in Anspruch genommen werden könnte, auf Grundlage des theoretischen Substratbedarfs der Anlagen und dem damit zusammenhängenden Energiepflanzenanbau berechnet. Mit Hilfe dieser Vorgehensweise kann für jede Substratkomponente ein jährlicher Anbauflächenbedarf auf Gemeindeebene ausgewiesen werden. Für diese Anbaufläche wird anschließend eine Ausbringungsmenge von 250 kg N/ha angenommen. Dabei wird unterstellt, dass auf 100 % der Substratanbauflächen eine Ausbringungsmenge von 250 kg N/ha möglich ist, wohl wissend, dass diese Ausbringungshöhe nur bei einem entsprechenden N-Bedarf gerechtfertigt ist. Mit Hilfe dieser Vorgehensweise soll der maximal mögliche Effekt einer 250 kg-Ausbringungsobergrenze für Substratanbauflä-



chen in Kombination mit der Derogation aufgezeigt werden. Somit findet eine Zuteilung der restlichen N-Mengen auf die restliche LF_{eff} einer Gemeinde (nachfolgend als $LF_{\text{eff},D.50\%+BG}$) erst dann statt, wenn die Aufnahmekapazität der Derogations- und Substratanbauflächen erreicht ist.

4 Ergebnisse zu den N-Nährstoffströmen im Kontext der DüV

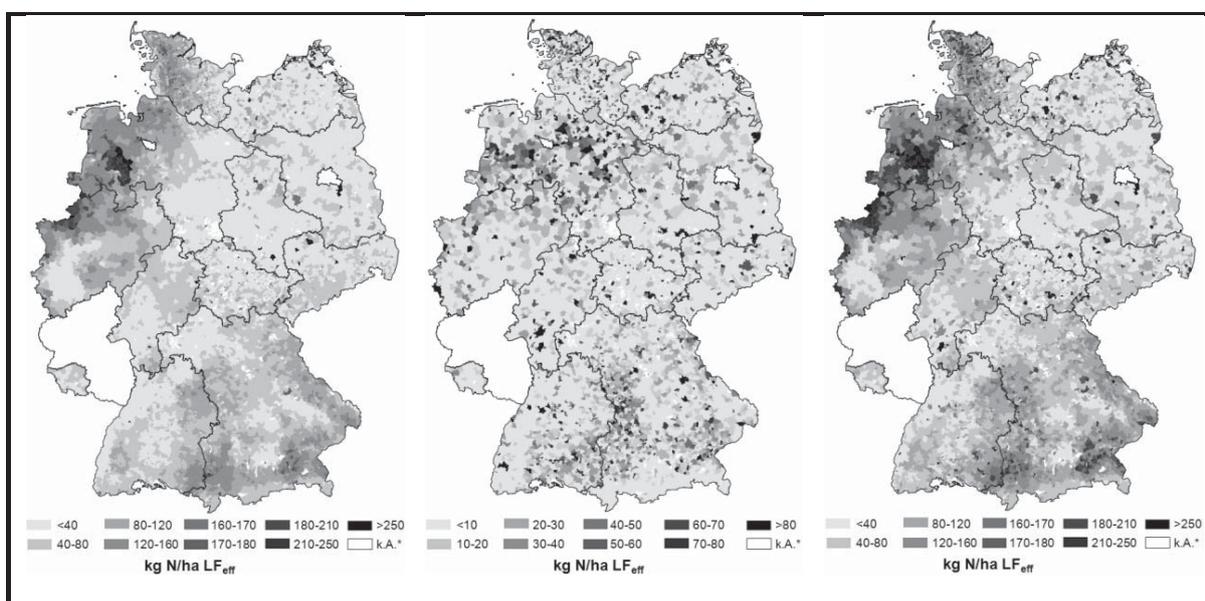
Im Folgenden werden die Ergebnisse bezüglich der Analysen des regionalen N-Anfalls aus Wirtschaftsdüngern dargestellt. Da aus datenschutzrechtlichen Gründen für Rheinland-Pfalz, Bremen, Berlin sowie einzelne Gemeinden in anderen Bundesländern keine Informationen vorliegen, sind diese Regionen von den folgenden Ausführungen ausgeschlossen. Diese Regionen sind jedoch für die wesentlichen Aussagen dieser Analysen von geringer Bedeutung.

4.1 Ergebnisse bezüglich des regionalen N-Anfalls aus Wirtschaftsdüngern

Abbildung 1 zeigt links den gemäß § 4 Abs. 3 DüV anzurechnenden N-Anfall aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft. Regionale Schwerpunkte eines verstärkten N-Anfalls zeigen sich insbesondere im Nordwesten Deutschlands sowie im Allgäu und im Voralpenland. Vereinzelt lassen sich aufgrund von größeren Tierhaltungsbetrieben in Ostdeutschland Gemeinden mit einem erhöhten Wirtschaftsdüngeraufkommen erkennen. Insgesamt sind ca. 1,9 % der Gemeinden durch einen N-Anfall tierischer Herkunft von über 170 kg N/ha LF_{eff} gekennzeichnet. Unter Beachtung der L_{eff} der betroffenen Gemeinden, ergibt sich daraus eine überschüssige N-Menge von ca. 14 Mio. kg. Unter Berücksichtigung der 170 kg N-Grenze entspricht dies einem Flächenbedarf zur ordnungsgemäßen Wirtschaftsdüngerverbringung von ca. 82.000 ha LF. Bei dieser Kalkulation wird davon ausgegangen, dass Nährstoffe erst dann als überschüssig bezeichnet werden und demzufolge aus der Gemeinde exportiert werden müssen, wenn die 170 kg N-Grenze im Gemeindedurchschnitt überschritten ist. Dabei handelt es sich um eine optimistische Annahme, da die N-Mengen i.d.R. nicht gleichmäßig über L_{eff} einer Gemeinde anfallen. Sie ist deshalb als eine Mindestmenge zu verstehen, die exportiert werden muss, damit der Gemeindedurchschnitt die Vorgaben der DüV einhält. Ca. 11 % der Gemeinden weisen einen sehr niedrigen N-Anfall von <10 N/ha LF_{eff} auf. Für den Fall, dass die Ausbringungsobergrenze von 170 kg N/ha auf alle organischen Düngemittel ausgeweitet wird, gewinnt das regionale N-Aufkommen aus Gärresten z.T. erheblich an Bedeutung. Abbildung 1 zeigt deshalb in der Mitte den anzurechnenden N-Anfall aus Gär-

resten pflanzlicher Herkunft. Es lässt sich erkennen, dass ein beachtlicher Teil der Gärrestmengen in Regionen anfällt, die bereits durch ein großes N-Aufkommen aus der Tierhaltung gekennzeichnet sind. Werden der N-Anfall aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und Gärresten pflanzlicher Herkunft aufsummiert, ergibt sich der in Abbildung 1 (rechts) dargestellte N-Anfall auf Gemeindeebene Deutschlands.

Abbildung 1: Regionaler Anfall an anzurechnendem N aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft in 2010 (links), regionaler Anfall an anzurechnendem N aus Gärresten pflanzlicher Herkunft in 2011 (Mitte) sowie regionaler Anfall an anzurechnendem N aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und Gärresten pflanzlicher Herkunft in 2010 bzw. 2011 (rechts); jeweils in kg N/ha LF_{eff} auf Gemeindeebene



Quelle: Eigene Darstellung

Während nach aktuell gültiger DüV ca. 1,9 % der Gemeinden den Schwellenwert von 170 kg N/ha LF_{eff} überschreiten, wären es bei einer Anrechnung von Gärresten pflanzlicher Herkunft 6,6 %. Unter Berücksichtigung der LF_{eff} der entsprechenden Gemeinden induziert die Berücksichtigung der Gärreste pflanzlicher Herkunft einen Anstieg des rechnerischen Stickstoffüberschusses in Deutschland von ca. 14 Mio. kg auf ca. 51 Mio. kg. Das bedeutet, dass unter Berücksichtigung der bereits zuvor genannten 82.000 ha ein zusätzlicher Flächenbedarf zur Verbringung der überschüssigen N-Mengen von mindestens 220.000 ha LF entsteht. In der Summe wird demnach eine Gesamtfläche von mindestens 300.000 ha LF zur ordnungsgemäßen Verbringung der überschüssigen N-Menge benötigt. Dies entspricht in etwa der 4-fachen LF des Bundeslandes Saarland (StBA, 2013). Da allerdings davon auszugehen ist, dass zur Verbringung der überschüssigen N-Mengen nicht die gesamte LF_{eff} zur Ver-



fügung steht (TAUBE et al., 2013) und dass die durchschnittliche N-Nährstoffapplikation auf dem Großteil der Ausbringungsflächen der Gemeinden weniger als 170 kg N/ha beträgt, ergibt sich in der Praxis ein tatsächlicher Flächenbedarf, der u.U. deutlich über den zuvor genannten 300.000 ha LF liegt. Anhand von Abbildung 1 lässt sich erkennen, dass insbesondere die Bundesländer Bayern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein von den regionalen N-Überschüssen betroffen sind. Aufgrund dessen beinhaltet Tabelle 1 die Summe der überschüssigen N-Mengen auf Gemeindeebene für diese vier Bundesländer sowie die Mindestfläche (MF), die zur Verbringung der überschüssigen N-Mengen bei der Ausbringobergrenze von 170 kg /ha LF erforderlich ist.

Tabelle 1: Überschüssige Wirtschaftsdünger-N-Mengen und dafür erforderliche Verbringungsflächen in einzelnen Bundesländern

Bundesland	Überschüssiger N tierischer Herkunft auf Gemeindeebene kg N	Überschüssiger N tierischer Herkunft u. Gärreste pfl. Herkunft auf Gemeindeebene kg N	MF zur Verbringung der überschüssigen N-Mengen bei 170 kg N/ha ha	LF je Bundesland ha	Anteil MF an LF %
Bayern	283.514	4.585.129	26.971	3.115.141	0,9
Niedersachsen	8.725.960	22.841.130	134.360	2.548.047	5,2
Nordrhein-Westfalen	1.803.158	6.694.284	39.378	1.449.860	2,7
Schleswig-Holstein	317.187	6.369.013	37.465	979.361	3,8
Summe	11.129.819	40.489.557	238.174	8.092.409	

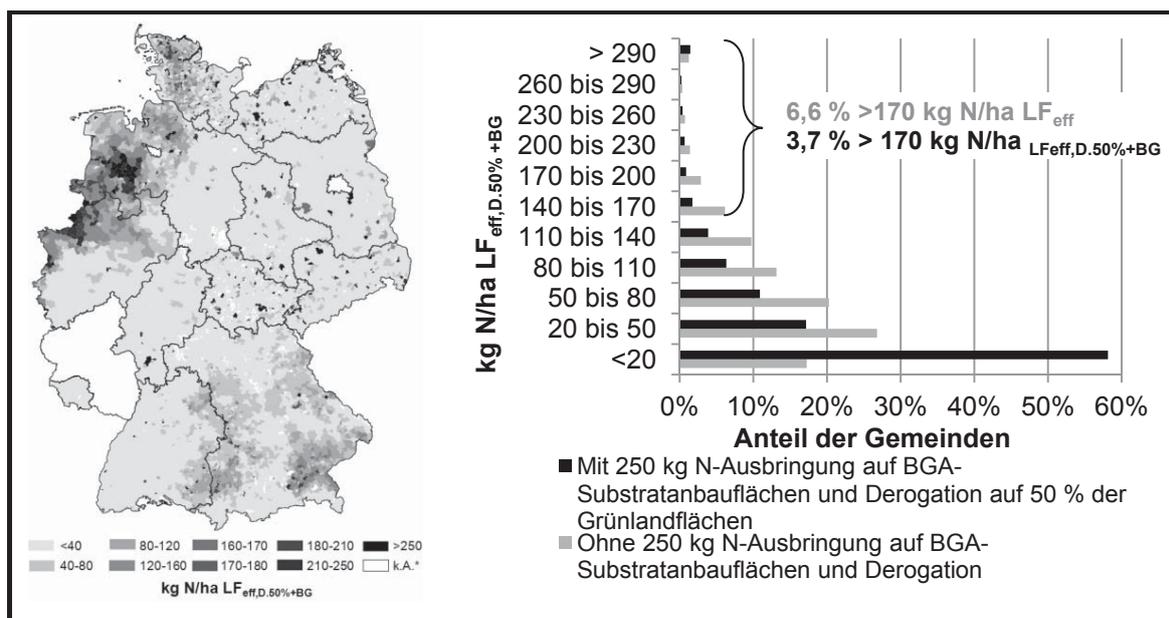
Quelle: Eigene Berechnungen und StBA (2013: 23)

4.2 Ergebnisse bezüglich des regionalen N-Anfalls aus Wirtschaftsdüngern unter Berücksichtigung erhöhter Ausbringungsobergrenzen

Die bisherigen Darstellungen basieren auf der Annahme, dass sowohl für Ackerland als auch für Grünland die gleichen Ausbringungsobergrenzen für Wirtschaftsdünger-N in Höhe von 170 kg N/ha LF gelten. In Ergänzung dazu sollen nun die Auswirkungen auf die N-Nährstoffflüsse betrachtet werden, wenn sowohl auf 50 % der Grünlandfläche einer Gemeinde eine Ausbringmenge von 230 kg N/ha möglich wäre und gleichzeitig eine N-Ausbringungsgrenze von 250 kg N/ha für Flächen die zum Substratanbau für Biogasanlagen genutzt werden, zulässig wäre (und alle Flächen diese Regelungen aufgrund eines nachweisbaren N-Bedarfs in Anspruch nehmen könnten und die Derogation auch im Zusammenhang mit Gärresten, und nicht allein für Wirt-

schaftsdünger tierischer Herkunft maßgeblich wäre). Entsprechend den Ausführungen in Kapitel 3 beziehen sich die nachfolgenden Abbildungen auf die $LF_{\text{eff,D.50\%+BG}}$ der Gemeinden. Abbildung 2 zeigt auf der linken Seite den N-Anfall aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und Gärresten pflanzlicher Herkunft je Hektar $LF_{\text{eff,D.50\%+BG}}$ sowie auf der rechten Seite das entsprechende Histogramm. Bei der Gegenüberstellung von Abbildung links und Abbildung rechts (vgl. Abbildung 2) lässt sich erkennen, dass die Kombination aus einer erhöhten Ausbringungsobergrenze auf 50 % der Grünlandflächen (230 kg N/ha LF) und 100 % der Substratanbauflächen (250 kg N/ha LF) zu einer Reduzierung der regionalen N-Überschüsse führen kann.

Abbildung 2: Regionaler Anfall an anzurechnendem N aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und Gärresten pflanzlicher Herkunft auf Gemeindeebene in kg N/ha $LF_{\text{eff,D.50\%+BG}}$ im Jahr 2010 bzw. 2011 (links) sowie Häufigkeitsverteilung des anzurechnenden N-Anfalls aus Wirtschaftsdüngern dieser Gemeinden mit und ohne Berücksichtigung einer Derogation auf 50 % der Grünlandflächen und einer 250 kg N-Ausbringung auf Substratanbauflächen (rechts)



Quelle: Eigene Darstellung

Der Anteil der Gemeinden, die im Gemeindedurchschnitt die 170 kg N-Grenze je ha LF_{eff} bzw. $LF_{\text{eff,D.50\%+BG}}$ überschreiten, beträgt in diesem Szenario 3,7 %. Gegenüber dem Szenario ohne Derogation und ohne 250 kg N-Regelung für Substratanbauflächen sinkt der Anteil dieser Gemeinden um fast 50 %. Während bei einer Ausbringungsobergrenze von ausschließlich 170 kg N/ha der rechnerische N-Überschuss bei der Berücksichtigung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und Gärresten pflanzlicher Herkunft bei ca. 51 Mio. kg N liegt, so geht er bei Anwendung der 250 kg N-Ausbringungsobergrenze für Substratanbauflächen in Kombination mit der



Derogation auf 50 % der Grünlandflächen auf ca. 25,5 Mio. kg zurück bzw. der erforderliche Flächenbedarf zur Verbringung der überschüssigen N-Mengen halbiert sich bzw. sinkt auf ca. 150.000 ha. Hierbei gilt es allerdings zu beachten, dass der Rückgang der N-Überschüsse zu über 80 % auf die erhöhte Ausbringungsmenge auf Substratanbauflächen zurückzuführen ist. Die Derogation auf 50 % der Dauergrünlandflächen hat demzufolge einen vergleichsweise geringen Effekt. Das liegt u.a. daran, dass die bedeutendsten Nährstoffüberschussregionen Nordwestdeutschlands durch relativ geringe Grünlandflächenanteile gekennzeichnet sind.

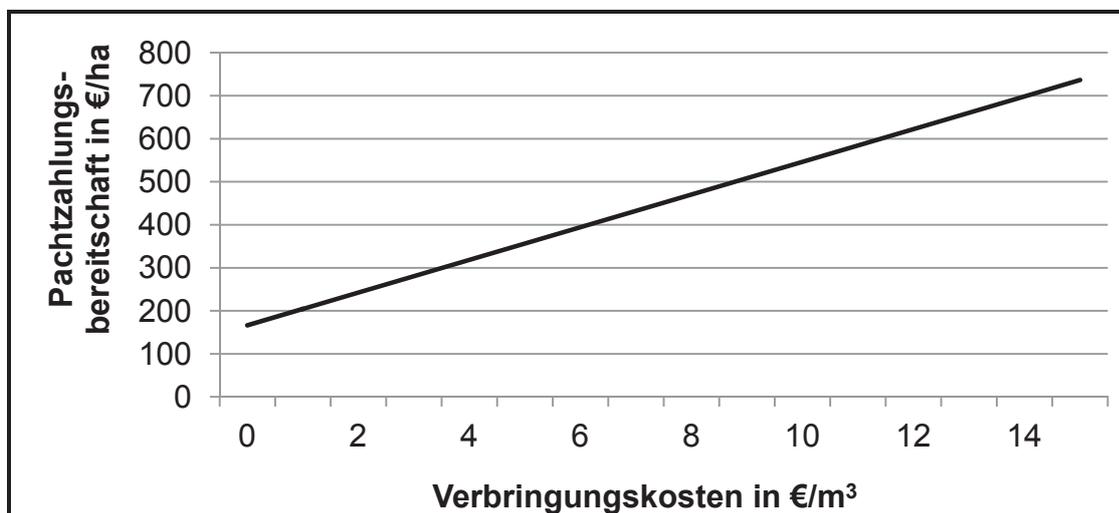
4.3 Betriebswirtschaftliche Effekte veränderter N-Ausbringungsobergrenzen

Die in den zurückliegenden Kapiteln aufgezeigten Auswirkungen ordnungsrechtlicher Veränderungen im Kontext der Wirtschaftsdüngerbringung können mit zusätzlichen Kosten für eine Vielzahl von landwirtschaftlichen Betrieben verbunden sein. Denkbar ist beispielsweise, dass in Regionen mit intensiver Tierhaltung und/oder Biogasproduktion die bereits angespannte Nährstoffproblematik durch die Anrechnung von Gärresten pflanzlicher Herkunft auf die 170 kg-N-Ausbringungsobergrenze und durch den zumindest temporären Ausfall der Derogationsregelung weiter verschärft wird und die dadurch zu exportierenden Wirtschaftsdüngermengen sowie die Kosten hierfür signifikant ansteigen. Darüber hinaus könnte eine solche Entwicklung in Abhängigkeit von den einzelbetrieblichen Gegebenheiten auch Einfluss auf die Höhe des Pacht- und Kaufpreisniveaus von landwirtschaftlichen Flächen haben, denn Betriebe, die über keine ausreichenden Wirtschaftsdünger-Nachweisflächen verfügen, werden die Frage, ob es für sie vorzüglicher ist, Fläche hinzu zu pachten oder den Wirtschaftsdünger überbetrieblich zu verwerten, u.a. von der Höhe der jeweiligen Verbringungskosten abhängig machen. Um eine Aussage darüber treffen zu können, welche Auswirkungen ansteigende Kosten der überbetrieblichen Wirtschaftsdüngerverbringung auf die Entwicklung des Pachtpreisniveaus haben können, muss zunächst die Menge an flüssigem Wirtschaftsdünger ermittelt werden, die vor dem Hintergrund der 170 kg N-Grenze je Hektar maximal ausgebracht werden darf. Darüber hinaus bestimmen der innerbetriebliche Wirtschaftsdüngerwert sowie die innerbetrieblichen Ausbringungskosten die Pachtzahlungsbereitschaft (ohne Berücksichtigung der Ertragskraft aus dem Pflanzenbau und der Direktzahlungen). Unter der Annahme, dass der innerbetriebliche Wirtschaftsdüngerwert 6 €/m³ beträgt, die innerbetrieblichen Ausbringungskosten in Höhe von 3 €/m³ zu Buche schlagen und



der anzurechnende N-Gehalt des Wirtschaftsdüngers bei $4,5 \text{ kg N/m}^3$ liegt, lässt sich in Abbildung 3 der Zusammenhang zwischen den überbetrieblichen Verbringungskosten und der Pachtzahlungsbereitschaft für landwirtschaftliche Fläche vereinfacht darstellen.

Abbildung 3: Pachtzahlungsbereitschaft in Abhängigkeit der Verbringungskosten



Quelle: Eigene Darstellung

Es lässt sich erkennen, dass die Pachtzahlungsbereitschaften bei einem Anstieg Verbringungskosten von ca. 2 €/m^3 regional um ca. 75 €/ha zunehmen können. Diese, auf Basis der Verbringungskosten ermittelte Pachtzahlungsbereitschaft kann nur aufgebracht werden, sofern die durch den jeweiligen Produktionszweig ermöglichte Ertragskraft mindestens so groß ist wie die anfallenden Verbringungskosten. Manche Betriebe werden Schwierigkeiten haben, diese Mehrkosten abpuffern zu können. Je höher der Pachtflächenanteil an der gesamten bewirtschafteten Fläche eines Betriebes ausfällt, umso erheblicher kann die Liquidität und Rentabilität beeinträchtigt werden. Dagegen werden Betriebe, die über einen hohen Eigenflächenanteil verfügen, zumindest aus Liquiditätssicht, weniger belastet werden. Mittel- bis langfristig wird der Anstieg des Pacht- und Kaufpreisniveaus dazu führen, dass die Betriebe, die keine ausreichende Grundrente erwirtschaften können, zu Anpassungsmaßnahmen gezwungen werden, die u.U. zu einem höheren Pachtflächenangebot führen und somit den durch die novellierte DüV initiierten Strukturwandel bremsen können.

5 Anpassungsstrategien und Fazit

Der Nordwesten Deutschlands aber auch einige Regionen im Allgäu sowie im Südosten Bayerns sind durch einen bedeutenden großräumlichen N-Anfall aus Wirt-



schaftsdüngern tierischer und pflanzlicher Herkunft gekennzeichnet. Eine zukünftig verpflichtende Anrechnung von Gärresten pflanzlicher Herkunft auf die zulässige N-Ausbringungsobergrenze für organische Dünger würde zu einem beachtlichen zusätzlichen Flächenbedarf zur Wirtschaftsdüngerverbringung führen. Regionen mit intensiver Tierhaltung und/oder Biogasproduktion weisen allerdings oft keine ausreichenden Flächenausstattungen zur ordnungsgemäßen Wirtschaftsdüngerverbringung auf. Abhilfe könnte unter sonst gleichen Bedingungen der N-Export in Ackerbauregionen schaffen, die einen ausgeprägten N-Bedarf aufweisen. Allerdings ist daran die Notwendigkeit gekoppelt, die z.T. eingeschränkte Akzeptanz gegenüber dem Einsatz von organischen Düngern in Ackerbauregionen sowohl innerhalb als auch außerhalb des agrarischen Sektors nachhaltig zu verbessern (TAUBE et al., 2013). Darüber hinaus kann diese Anpassungsstrategie mitunter durch einen erheblichen finanziellen Aufwand für die Betriebe verbunden sein. Als eine weitere sinnvolle Anpassungsstrategie bleibt zumindest für Regionen, die durch bedeutende Grünlandflächenanteile gekennzeichnet sind, die Derogation für intensiv genutzte Grünlandflächen. Diese Ausnahmegenehmigung von der 170 kg N-Ausbringungsobergrenze kann für die entsprechenden Regionen als wirksames und sinnvolles Instrument verstanden werden, das sowohl zur Entlastung der einzelbetrieblichen als auch der regionalen N-Problematik führt, ohne dabei die Belange des Wasserschutzes außer Acht zu lassen. Momentan ist allerdings nicht absehbar, ob und wenn ja in welcher Form die Derogation zukünftig anwendbar sein wird. Außerdem induziert die Derogation keine Entlastung der N-Problematik in Regionen, die durch vergleichsweise geringe intensiv genutzte Grünlandflächenanteile charakterisiert sind. Als mittel- und langfristige Anpassungsstrategie kann die Derogation deshalb nur bedingt verstanden werden. Das gleiche gilt für eine 250 kg N-Ausbringungsobergrenze für Substratanbauflächen. Diese erhöhte Ausbringungsobergrenze könnte zwar zu einer beachtlichen Verringerung der zu exportierenden N-Mengen führen, allerdings basiert dieser Effekt insbesondere auf der erhöhten Ausbringungsmenge auf Ackerflächen. Im Gegensatz zu intensiv genutzten Grünlandflächen ist eine Ausbringungsmenge von 250 kg Wirtschaftsdünger-N auf Ackerflächen jedoch aus ökologischer bzw. naturwissenschaftlich-technischer kritisch zu hinterfragen. Sowohl vor dem Hintergrund einer zu novellierenden DüV aber auch vor dem Hintergrund der WRRL, gilt es deshalb insbesondere für nährstoffintensive Regionen weitere, ergänzende Anpassungsstrategien zu entwickeln. Um den zeitlichen Vorgaben seitens der WRRL



gerecht zu werden, sollte der Fokus dabei auf Maßnahmen liegen, die kurz- bis mittelfristig eine Entlastung der N-Problematik führen. Aus derzeitiger Sicht fallen unter diese Kategorie von Anpassungsstrategien alle Maßnahmen, die den betrieblichen Nährstoffanfall verringern (z.B. N/P-reduzierte Fütterungsverfahren), aber auch die Transportwürdigkeit der anfallenden Wirtschaftsdünger erhöhen (z.B. Gülle-/Gärrestseparierung, Einsatz von „Twin-Aufliegern“) und die Nährstoffeffizienz des Wirtschaftsdüngereinsatzes verbessern (z.B. optimierte Ausbringungstechniken). Mit Hilfe dieser Maßnahmen lässt sich die N-Problematik in den entsprechenden Regionen Deutschlands zumindest kurz- bis mittelfristig abmildern. Deshalb gewinnen diese Maßnahmen mit einer Anrechnung von Gärresten pflanzlicher Herkunft auf die 170 kg N-Grenze noch weiter an relativer Vorzüglichkeit. Eine langfristig, ökologisch ausgewogene Strategie für die bundesweite Tierhaltung und Biogasproduktion sollte Veränderungen oder Expansionen insbesondere in Regionen mit bislang geringen Nährstofffrachten vorsehen.

Literatur

- ARLE, J., BLONDIK, K., CLAUSSEN, U., DUFFEK, A., GRIMM, F., HILLIGES, F., HOFFMANN, A., LEUJAK, W., MOHAUPT, V., NAUMANN, S., PIRNTKE, U., RICHTER, S., SCHILLING, P., SCHROETER-KERMANI, C., ULLRICH, A., WELLMITZ, J., WERNER, S. und WOLTER, R. (2013): Wasserwirtschaft in Deutschland. Teil 2 – Gewässergüte. Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau.
- BACKES, M. und ALBERS, D. (2012): 230 kg organischer N auf Grünland. Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.), Oldenburg.
<http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/tier/nav/1092/article/19733.html>; Abrufdatum: 15.11.13.
- BAUMGÄRTEL, G., BENKE, M. und ELLER, T. (2010): Empfehlungen zur Stickstoffdüngung nach der Nmin-Methode. Stand März 2010. Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.), Oldenburg.
<http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/2/nav/341/article/14022.html>; Abrufdatum: 31.03.13.
- BLAG (2012): Evaluierung der Düngeverordnung – Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung. Abschlussbericht der Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig.
- BMU und BMELV (2012): Nitratbericht 2012. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn.
- BREITSCHUH, G., REINHOLD, G. und BREITSCHUH, T. (2006): Ökologische Konsequenzen (einschließlich CC) des Anbaus und der Verwendung nachwachsen-



- der Biogasrohstoffe. Ausführung zum Vortrag im Rahmen der 15. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V. am 25.01.06, Hannover.
<http://www.tll.de/ainfo/pdf/bio20206.pdf>; Abrufdatum: 28.11.13.
- BRENNER, A. und CLEMENS, J. (2005): Vergleich der Stoffflüsse mit ökologischer Bilanzierung von zwei Kofermentationsanlagen. Forschungsbericht Nr. 128, Lehr- und Forschungsschwerpunkt Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft, Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Willhelms-Universität Bonn (Hrsg.), Bonn.
- DBFZ (2013): Stromerzeugung aus Biomasse 03MAP250, Zwischenbericht. Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ) (Hrsg.), Leipzig.
- DENA (2013): Biogaseinspeisung in Deutschland – Übersicht. Deutsche Energie Agentur (DENA).
<http://www.biogaspartner.de/einspeiseatlas/projektliste-deutschland.html>;
Abrufdatum: 06.12.13.
- DIEPOLDER, M. und RASCHBACHER, S. (2010): Leistungsfähiges Grünland und Verzicht auf mineralische Düngung – sind nachhaltig hohe Erträge und Futterqualitäten möglich?. In: Kongressband des 122. VDLUFA-Kongressbandes zum Generalthema: Landschaftselement und Rohstofflieferant – zur Multifunktionalität des Grünlandes. VDLUFA-Schriftenreihe Band 66/2010, Darmstadt, S. 51-156.
- DIEPOLDER, M. und RASCHBACHER, S. (2011): Erträge, Futterqualität und Nährstoffgehalte des Sickerwassers bei unterschiedlicher Grünlanddüngung. Schule und Beratung, Heft 3-4/11, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) (Hrsg.), München, S. III 18-23.
- ELSÄßER, M., MESSER, J., KEYMER, U., ROSBERG, R. und SETZER, F. (2012): Biogas aus Gras. DLG-Merkblatt 386, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) (Hrsg.), Frankfurt am Main.
- HARTMANN, S. (2006): Biomassepotential für Biogas in den Grünlandregionen Bayerns, Futterpflanzen – Perspektiven für die energetische Nutzung. Vortrag im Rahmen des GFP Workshop am 09./10.03.2006, Freising.
- JØRGENSEN, U. und PETERSEN, B.M. (2006): Interactions between biomass energy technologies and nutrient and carbon balances at the farm level. In: DIAS report, 12th Ramiran International Conference, S. 49-56.
- JUNK, J. (2008): Gülle im Grünland bei hohen N-Preisen. Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Eifel (Hrsg.), Bitburg.
- KIEFER, J. (2011): Energie aus Biomasse im Einklang mit dem Gewässerschutz? In: Veröffentlichungen aus dem TZW. 50. Ausg., Karlsruhe, S. 15-40.
- LASER, H., GRÖBLINGHOFF, F. und KIVELITZ, H. (2011): Einfluss der Erhöhung der Rindergülle-Gabe auf 230 kg N pro ha auf die Nitratkonzentration in verschiedenen Bodentiefen. In: Gülle 11 – Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland. LAZBW Baden-Württemberg (Hrsg.), Aulendorf, S. 338-342.



- LEL (2012): Nährstoffvergleich 2011 für Landwirte. Version 6.0, Stand 07.03.2012, Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume (LEL), Schwäbisch Gmünd.
- LICHTI, F., WENDLAND, M., SCHMIDHALTER, U. und OFFENBERGER, K. (2012): Der effiziente Einsatz von Gärresten. In: Düngung mit Biogasgärresten. Tagungsband der 10. Kulturlandschaftstagung am 15.11.12 in Weichering, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), Freising-Weihenstephan, S. 17-20.
- LWK Niedersachsen (2012): Stickstoffdüngung zu Mais. Ratgeber 2012, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg.
- MÖLLER, K., SCHULZ, R. und MÜLLER, T. (2011): Nährstoffinputs, -outputs und N-Verluste zweier überbetrieblich betriebener NawaRo-Biogasanlagen im süddeutschen Raum. In: Gülle 11 – Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland. Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg (LAZBW) (Hrsg.), Aulendorf, S. 236-238.
- PÖTSCH, E. (2005): Nährstoffgehalt von Gärückständen aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen und deren Einsatz im Dauergrünland. Abschlussbericht, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, Irdning.
- RÖSCH, C., RAAB, K. und STELZER, V. (2006): Potenziale der Biogasgewinnung aus Gras von Überschussgrünland in Baden-Württemberg. Schriftliche Ausführung zum Vortrag im Rahmen der Tagung „Bioenergienutzung in Baden-Württemberg – Auf dem Weg zum nachhaltigen Ausbau“ am 12.02.06, Stuttgart. <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2006/roes06a.pdf>; Abrufdatum: 25.11.13.
- SCHULZE PALS, L. (2014): Dünge-Verordnung: Die Eckpunkte stehen. In: Top-Agrar, Ausgabe März 2014, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, S. 36-37.
- StBA (2013): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung, 2011. Fachserie 3 Reihe 3, Statistisches Bundesamt (StBA), Wiesbaden.
- SVOBODA, N., TAUBE, F., KLUß, C., WIENFORTH, B., KAGE, H., OHL, S., HARTUNG, E. und HERRMANN, A. (2013a): Crop production for biogas and water protection – A trade-off? In: Agriculture, Ecosystems und Environment, Ausg. 177, S. 36-47.
- SVOBODA, N., TAUBE, F., WIENFORTH, B., KLUß, C., KAGE, H. und HERRMANN, A. (2013b): Nitrogen leaching losses after biogas residue application to maize. In: Soil & Tillage Research, Ausgabe 130, S. 69-80.
- TAUBE, F., SCHÜTTE, J. und KLUß, C. (2013): Auswirkungen der Berücksichtigung von Gärresten auf den Anfall organischer Dünger in einer novellierten Düngeverordnung – dargestellt am Beispiel Schleswig-Holstein. Berichte über Landwirtschaft, 219, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (Hrsg.), Berlin.
- V. BUTTLAR, C., KRÄLING, B., RODE, A., MUND, H. und ROSKAM, A. (2010): Energiepflanzenanbau, Betrieb von Biogasanlagen und Gärrestmanagement unter den Anforderungen des Gewässerschutzes. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (Hrsg.), Grundwasser Band 10, Norden.



- WACHENDORF, M. (2010): Bioenergie vom Grünland. In: Kongressband des 122. VDLUFA-Kongressbandes zum Generalthema: Landschaftselement und Rohstofflieferant – zur Multifunktionalität des Grünlandes. VDLUFA-Schriftenreihe Band 66/2010, Darmstadt, S. 66-70.
- WBA (2011): Förderung der Biogaserzeugung durch das EEG – Stellungnahme zur geplanten Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes. Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik (WBA) beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, In: Berichte über Landwirtschaft, Band 89, Heft 2, S. 204-217.
- WBA, WBD und SRU (2013): Novellierung der Düngeverordnung: Nährstoffüberschüsse wirksam begrenzen. Kurzstellungnahme der Wissenschaftlichen Beiräte für Agrarpolitik (WBA) und Düngungsfragen (WBD) beim BMELV sowie des Sachverständigenrats für Umweltfragen der Bundesregierung (SRU) zur Novellierung der Düngeverordnung.
- WENDLAND, M., DIEPOLDER, M. und CAPRIEL, P. (2011): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Gelbes Heft, 9. unveränderte Auflage, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.), Freising-Weihenstephan.
- WENDLAND, M., DIEPOLDER, M. und CAPRIEL, P. (2012): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Gelbes Heft, 10. unveränderte Auflage, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.), Freising-Weihenstephan.

Rechtsquellenverzeichnis

- Entscheidung 2006/1013/EG der EU-Kommission vom 22. Dezember 2006 über einen Antrag Deutschlands auf Genehmigung einer Ausnahmeregelung auf der Grundlage der Richtlinie 91/676/EWG des Rates zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrate aus landwirtschaftlichen Quellen. Amtsblatt der Europäischen Union L 381/1ff.
- Entscheidung 2009/753/EG der EU-Kommission vom 12. Okt. 2009 zur Änderung der Entscheidung 2006/1013/EG über einen Antrag Deutschlands auf Genehmigung einer Ausnahmeregelung auf der Grundlage der Richtlinie 91/676/EWG des Rates zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrate aus landwirtschaftlichen Quellen. Amtsblatt der Europäischen Union L 268/35f.
- Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz-EEG). Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 20. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2730) geändert worden ist.
- Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12.12.1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen, ABl. L 375.
- Richtlinie 2006/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, ABl. L 372 vom 22.12.2000.



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

Anschrift des Kontaktautors

*Richard Wüstholtz
Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre
Schloss, Osthof Süd, 70599 Stuttgart
Tel.: +49 71145922557
eMail: richard.wuestholz@uni-hohenheim.de*





SCHLIEßEN VON LANDWIRTSCHAFTLICHEN NÄHRSTOFFKREISLÄUFEN DURCH EINEN ÜBERREGIONALEN WIRTSCHAFTSDÜNGERAUSTAUSCH

Peter Schießl, Christine Krämer, Knut Ehlers und Alois Heißenhuber

Zusammenfassung

Aufgrund der hohen Tierbesatzdichte in einigen Regionen Europas und Deutschlands kommt es in diesen Regionen zu hohen Nährstoffüberschüssen, die pflanzenbaulich nicht mehr sinnvoll zu nutzen sind und deren Ausbringung mit der Entstehung von Belastungen für die Ressourcen des Naturschutzes und das menschliche Wohlbefinden verbunden ist. Dem gegenüber stehen Ackerbauregionen, in denen kein Wirtschaftsdünger anfällt und in denen die notwendigen Nährstoffe über mineralische Düngemittel eingebracht werden. Neben der Flächenbindung der Tierhaltung können evtl. die Aufbereitung und der Transport des Wirtschaftsdüngers in Nährstoffmangel-Regionen zu einer besseren Verteilung der anfallenden Nährstoffe beitragen. Es existieren eine Reihe von Aufbereitungsverfahren, die bisher kaum zum Einsatz kommen, da die geltenden Auflagen zur Ausbringung von Nährstoffen als nicht strikt genug angesehen werden können und darüber hinaus die ökonomischen Rahmenbedingungen der Aufbereitung und des Transportes einen wirtschaftlichen Einsatz der Techniken nicht erlauben. Der vorliegende Bericht stellt die technischen Möglichkeiten der Aufbereitung sowie die ökonomischen Rahmenbedingungen des Einsatzes der Techniken dar. Darüber hinaus werden die politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen und deren notwendigen Weiterentwicklung betrachtet. So kann der Einsatz der Aufbereitung und des Transportes von Wirtschaftsdüngern unter veränderten Rahmenbedingungen durchaus wirtschaftlich erscheinen. Zu beachten ist jedoch, dass der Einsatz der entsprechenden Technik mit Trade Offs verbunden ist, die im Rahmen dieses Projektes nicht abschließend bewertet wurden.

Keywords

Agrarpolitik, Agrarumweltpolitik, Wirtschaftsdünger, Aufbereitung, Transport, Nährstoff, Kreislauf



Besonderer Hinweis

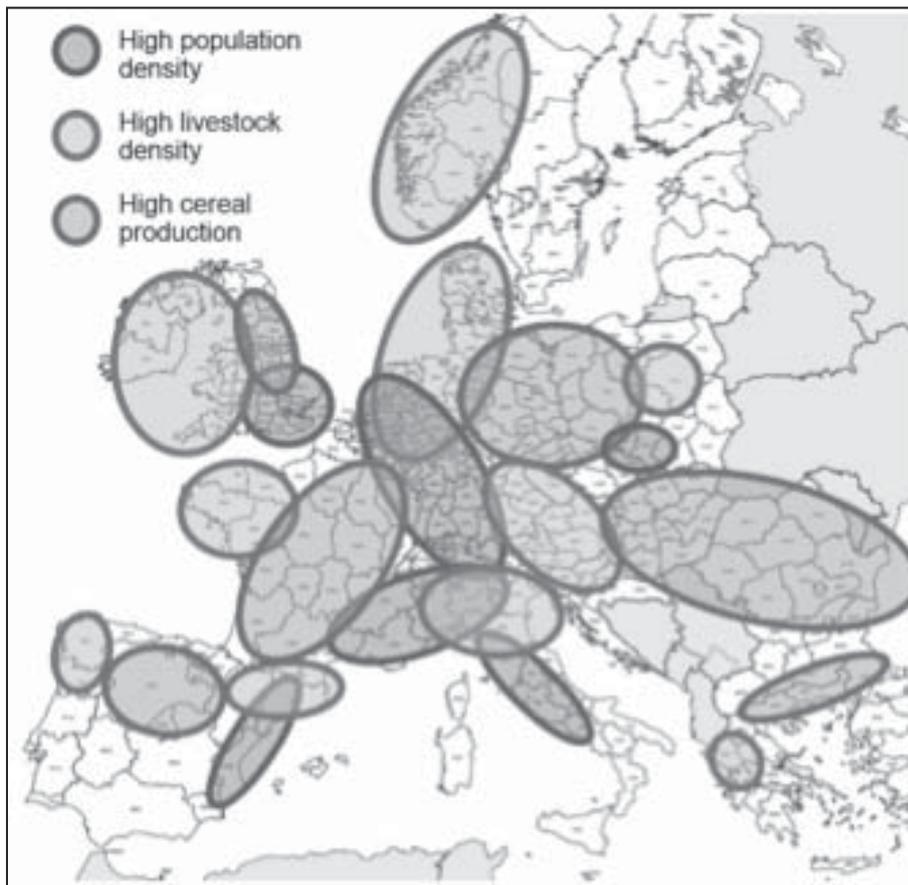
Dieses Dokument enthält Ergebnisse aus der laufenden Forschungsarbeit für das Umweltbundesamt (UBA) mit dem Titel „Schließen von landwirtschaftlichen Nährstoffkreisläufen durch einen überregionalen Wirtschaftsdünger- und Nährstoffaustausch“ (Projekt-nummer 37240). Veröffentlichung voraussichtlich im November 2014.

1 Funktionstrennung und Nutzung der Reststoffe

In der Vergangenheit ist es zu einer zunehmenden Spezialisierung zwischen Regionen mit und ohne Tierhaltung gekommen. So existieren in Europa und Deutschland Regionen mit sehr hohen Tierbesatzdichten und einem hohen Anfall an Wirtschaftsdünger und enthaltenen Nährstoffen. Der Eintrag großer Nährstoffmengen in die Umwelt kann zu einer Reihe von Belastungen der Ressourcen des Naturschutzes sowie des menschlichen Wohlbefindens führen. Hierzu zählen bspw. die Eutrophierung von aquatischen und terrestrischen Lebensräumen, direkte toxische Reaktionen bei Pflanzen und Tieren oder Geruchsbelastungen für den Menschen und ein verstärktes Vorkommen von Keimen aus der Tierhaltung. Demgegenüber stehen reine Ackerbauregionen, in denen die notwendigen ackerbaulichen Nährstoffe dem Boden über mineralische Dünger zugeführt werden, deren Herstellung teils sehr energieintensiv ist bzw. die notwendigen fossilen Ressourcen begrenzt sind.



Abbildung 1: Europäische Regionen mit unterschiedlichen Nutzungsschwerpunkten



Quelle: Eigene Darstellung

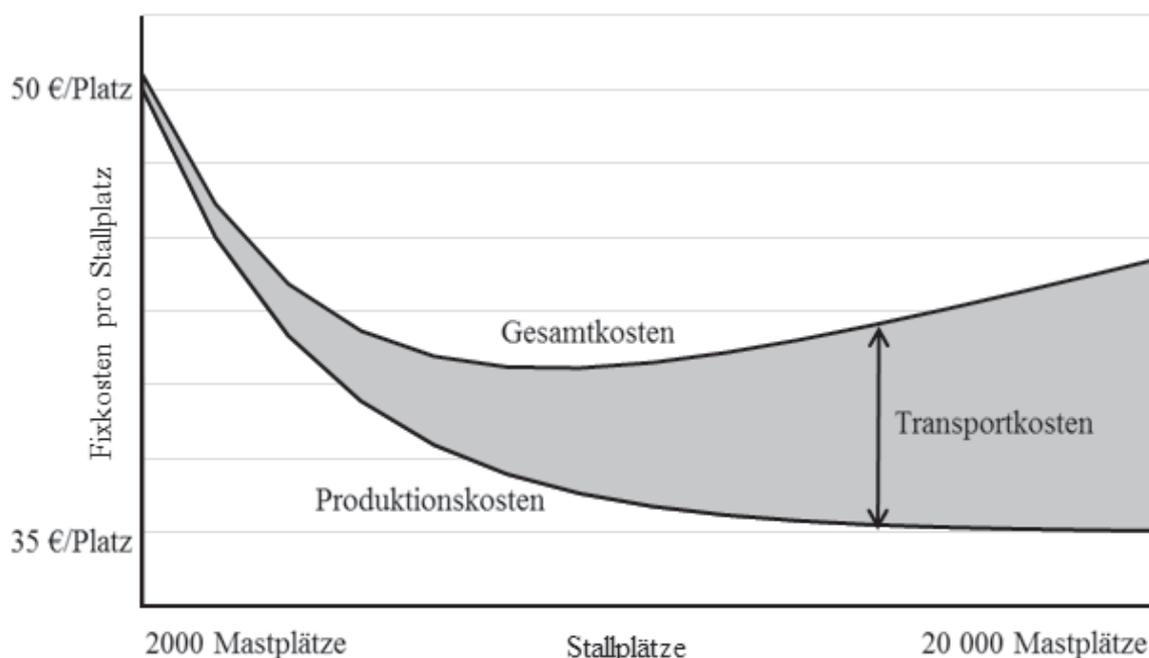
Ausgehend von dieser Problembeschreibung bieten sich zwei Lösungsansätze an: Vermeidung der Entstehung regional großer Mengen an Wirtschaftsdünger durch die Flächenbindung der Tierhaltung und damit einer relativ gleichmäßigen Verteilung des Wirtschaftsdüngeranfalls auf alle Regionen bzw. Aufbereitung und Abtransport des übermäßig anfallenden Wirtschaftsdüngers aus viehintensiven Regionen in Regionen mit einem Mangel an Wirtschaftsdünger. Da eine Durchsetzung der Flächenbindung der Tierhaltung zumindest kurzfristig als kaum umsetzbar erscheint, werden im vorliegenden Bericht die technischen und ökonomischen Rahmenbedingungen der Aufbereitung und des Transportes von Wirtschaftsdünger betrachtet.

Für das Beispiel der Schweinemast zeigt Abbildung 2 die Produktionskosten und die Transportkosten in Abhängigkeit der Bestandsgröße auf einzelbetrieblicher Ebene. Die Transportkosten ergeben sich aus einer Annahme, dass die Nährstoffe wieder zurück zu den Flächen transportiert werden müssen. Daraus kann nicht direkt die regionale Konzentration abgeleitet werden, dennoch gibt die Grafik einen Hinweis



dafür, warum es immer stärker zu einer Funktionstrennung auch auf regionaler Ebene kommt.

Abbildung 2: Produktionskosten



Quelle: Eigene Darstellung

Diese Funktionstrennung führt auch zu den negativen Effekten der Nährstoffanreicherung in den Regionen konzentrierter Tierhaltung und in Pflanzenbauregionen muss verstärkt Mineraldünger eingesetzt werden. Um diese Transportkosten zu reduzieren und einen Nährstoffaustausch zu fördern, könnte eine technische Aufbereitung der Wirtschaftsdünger vorgenommen werden. Durch die Trennung der Nährstoffe Phosphor und Stickstoff kann es zusätzlich zur Verbesserung der Düngewirkung und zu weiteren positiven Effekten auf die Eigenschaften des Wirtschaftsdüngers kommen.

2 Aufbereitung des Wirtschaftsdüngers

Die Analyse der Forschungsarbeiten zu dem Thema der Wirtschaftsdünger-aufbereitung zeigt, dass eine Reihe von Techniken zur Aufbereitung existiert. Häufig wird als „Tür-Öffner-Technologie“ die anaerobe Vergärung des Wirtschaftsdüngers eingesetzt. Diese erlaubt neben einer Verbesserung der Fließeigenschaften des Gärsubstrates, die Erzeugung von Wärme, die zur Hygienisierung und in weiteren Aufbereitungsschritten eingesetzt werden kann. In einem weiteren, nachgelagerten Schritt wird kann die feste Phase von der flüssigen Phase des Wirtschaftsdüngers separiert werden. Dabei verbleibt ein Großteil des Stickstoffs in der flüssigen Phase, während



Phosphor in höherer Konzentration in der festen Phase vorkommt. Der Abtransport der phosphorreichen festen Phase ist vor allem relevant in Regionen, in denen der Zufuhr von Phosphor der limitierende Faktor der Wirtschaftsdüngerbringung ist. Allerdings führt die Separierung insgesamt noch zu keiner Volumenreduzierung und erhöht damit die Transportwürdigkeit der flüssigen Phase des aufbereiteten Wirtschaftsdüngers nicht. Die Separierung ist jedoch die Voraussetzung für den Einsatz weiterer Aufbereitungstechnologien. So kann sowohl die feste Phase durch Kompostierung, Trocknung und Verbrennung weiter aufbereitet werden, als auch die flüssige Phase durch den Einsatz von Fällungs- oder Flockungsmitteln, Membrantechnologien, Verdampfung und Trocknung oder Nitrifikation/Denitrifikation. Bei Verfahren der Vollaufbereitung (z.B. Umkehrosmose) entsteht neben einer festen Phase, ein nährstoffangereichertes Konzentrat und einleitfähiges Wasser. Nachteilig sind der oft hohe Energiebedarf sowie die komplexe und kostenintensive Technik. Unter den vorhandenen Techniken findet in Europa bisher vor allem die Separierung und in einigen Ländern die Biogastechnologie Einsatz. Ebenfalls bis zur Praxisreife entwickelt ist die Umkehrosmose, die ebenfalls schon Anwendung, z.B. in den Niederlanden, findet.

Die Techniken sind durch unterschiedliche Vor- und Nachteile gekennzeichnet. So sind Verfahren der Separierung wie Pressschnecken-Separatoren und Dekanter zwar relativ kostengünstige und einfach in der Handhabung, jedoch kann durch den Einsatz der Separierung keine Reduktion des Transportvolumens erreicht werden und auch geruchliche und hygienische Eigenschaften der Ausgangsprodukte können nicht verbessert werden. Demgegenüber kann durch die Umkehrosmose einleitfähiges Wasser erzeugt werden, neben einem nährstoffreichen Konzentrat. Allerdings stellt diese Technik höhere Ansprüche in der Handhabung und erfordert für den Druckaufbau einen entsprechenden Energieeinsatz. Des Weiteren existieren Techniken, die sich zwar für die Entsorgung nicht jedoch für das Recycling von Nährstoffen eignen wie z.B. Nitrifikation/Denitrifikation. Techniken wie die Kompostierung werden hingegen eingesetzt, um den Böden organisches Material zuzuführen und den Humusaufbau zu unterstützen.



Tabelle 1: Wirtschaftsdüngeraufbereitung

Verfahren	Beschreibung	Anmerkungen	Kosten (pro m ³)
Fermentation	Biogas-Erzeugung	Türöffnertechnologie Geruchsreduktion	0 €
Separation	Pressschnecken Dekanter	Konzentration der Nährstoffe im Feststoff	0,22 - 1,30 €
Eindampfung	Dekantierung+ Vakuum-Evaporation	50 % Destillat Ammonium-Sulfat-Lösung (7%) Hoher Wärmebedarf	4,11 €
Ultrafiltration	Dekantierung + Ultrafiltration + Umkehrosiose	35 % Permeat Hoher Stromverbrauch	5,35 €
Stripung	Dekantierung + Ausfällung + Ammoniakwäsche	70 % Abwasser Ammonium-Sulfat-Lösung (38%)	4,73 €

Als wirtschaftliche Option kann unter den gegebenen Rahmenbedingungen in Deutschland bisher nur der Einsatz von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen angesehen werden, wobei diese Option wesentlich durch die gesetzlichen Fördermechanismen des EEG beeinflusst wird. Neben dieser Technik schwanken die Kosten der Aufbereitung zwischen 0,22 € (Pressschnecken-Separation) und 5,35 € (Ultrafiltration/Umkehrosiose) pro Tonne Ausgangsmaterial bei Integration in eine bestehende Anlage (Tabelle 1).

3 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen der Wirtschaftsdüngeraufbereitung werden EU-weit vor allem durch die Umsetzung der Nitratrictlinie in den Mitgliedsstaaten beeinflusst. Es können Auflagen, ökonomische und kommunikative Instrumente unterschieden werden. Im vorliegenden Bericht werden die Regelungen in Deutschland, den Niederlanden, Flandern/Belgien und Dänemark betrachtet. Dabei zeigt sich, dass in den Niederlanden, Flandern/Belgien und Dänemark hohe Auflagen durch ökonomische und kommunikative Instrumente flankiert werden. So ist bspw. die Haltung von Tieren in den Niederlanden und Flandern/Belgien durch Tierhaltungsrechte begrenzt und die Aufbereitung bzw. der Abtransport von Nährstoffüberschüssen vorgeschrieben und z.B. in Flandern/Belgien durch entsprechende Zertifikate nachzuweisen. In Dänemark wird jährlich jedem Betrieb eine maximal ausbringbare Menge an Stickstoff zugewiesen, die jedoch unterhalb des ökonomischen Optimums liegt. Demgegenüber sind die Auflagen in Deutschland häufig nicht



so hoch und es wird der Ansatz verfolgt, Veränderungen vorwiegend über ökonomische Anreize, flankiert durch Informationsvermittlung, zu erreichen. Aufgrund einer mangelhaften Zielerreichung bzgl. der Nitratgehalte in Gewässern hat die EU eine Verschärfung der Düngeverordnung in Deutschland angemahnt.

Mögliche Politikoptionen zur Verbesserung der Situation der anfallenden organischen Nährstoffüberschüsse betreffen:

- die Verschärfung des landwirtschaftlichen Ordnungsrechts (z.B. stärkere Bindung der Düngung an den Pflanzenbedarf)
- die Behebung des Vollzugs des landwirtschaftlichen Ordnungsrechtes
- die Verpflichtung zur Wirtschaftsdünger aufbereitung
- die Förderung von Aufbereitungsanlagen
- die weitere technische Entwicklung der Anlagen (technischer Fortschritt)
- die Erfassung innerbetrieblicher Stoffströme
- die Besteuerung von Substituten
- die Definition von Qualitätsstandards für Produkte der Aufbereitung
- die Definition von Standards des Wohn-Umfeld-Schutzes
- die Anpassung des landwirtschaftlichen Baurechtes
- den Ausbau der Beratung und sowie Intensivierung der Forschungsaktivitäten

Unter der Verschärfung des Ordnungsrechtes kann sowohl die Flächenbindung der Tierhaltung, die Definition einheitlicher Düngestandards auf Basis der Pflanzen- und Standortansprüche, die entsprechenden Dokumentationspflichten usw. zusammengefasst werden. Im vorliegenden Bericht wird eine Verschärfung des landwirtschaftlichen Ordnungsrechtes in Bezug auf die Reduzierung der maximal ausbringbaren Nährstoffmenge auf 90% des ökonomischen Optimums (wie bereits in Dänemark umgesetzt) betrachte. Diese kann zu einer Steigerung der Nährstoffnutzungseffizienz führen, beeinflusst jedoch evtl. auch die Akzeptanz der Landwirte zur Aufnahme von Wirtschaftsdünger bzw. die Mobilisierung von Stickstoffvorräten aus dem Boden negativ.

Es ist jedoch nicht nur das Ordnungsrecht zu verschärfen, sondern auch die entsprechenden Kontroll- und Sanktionsmechanismen anzupassen. So zeigen die vorgestellten Berechnungen, dass eine Aufhebung des Vollzugsdefizites der Düngeverordnung durch Einhaltung von schlagbezogenen Ausbringungsobergrenzen und



wirksamen Bilanzierungsobergrenzen zu einer effizienteren Nutzung der Nährstoffe beitragen kann, wobei jedoch höhere Aufwendungen für die Betriebe entstehen. Höhere Auflagen verbunden mit entsprechenden Sanktionen können evtl. – wie in den Niederlanden und Flandern/Belgien – dazu führen, dass der Einsatz von Aufbereitungs- und Transporttechniken an ökonomischer Vorteilhaftigkeit gewinnt, da die Alternativen der Flächenzupacht bzw. der Bestandsabstockung häufig begrenzt bzw. ökonomisch nachteilhafter sind.

Die Einführung einer verpflichtenden Nährstoffaufbereitung ist für die Betriebe i.d.R. mit hohen zusätzlichen Kosten verbunden, die z.B. durch eine Aufstockung des Bestandes reduziert werden können, was jedoch einer Reduzierung der regional anfallenden Nährstoffmenge entgegenstehen würde. Die mit der verpflichtenden Wirtschaftsdüngerherstellung entstehenden Kosten können des Weiteren z.B. durch staatliche Förderungen verringert werden. Hier kann sich eine Investitionsförderung durch Zuschüsse bzw. Zinsverbilligungen anbieten. Dabei ist jedoch zu beachten, dass hierdurch weitere Wettbewerbsnachteile für Betriebe mit extensiver Tierhaltung entstehen können.

Der technische Fortschritt kann zu einer Reduzierung der Investitionskosten, aber auch zu einer Verbesserung der technischen Vorgänge und Ergebnisse des Aufbereitungsprozesses führen. Dargestellt sind im Bericht zwei Ansätze von überbetrieblichen technischen Ansätzen, die neben der Reduzierung von Investitions- und/oder Betriebskosten evtl. auch zu ökologischen Verbesserungen beitragen können, da z.B. eine verbesserte Erfassung und Dokumentation von Stoffströmen möglich wird.

Der Preis der Produkte der Aufbereitung wird im Wesentlichen durch den Preis der Vergleichsprodukte, d.h. den Preis für mineralische Düngemittel, beeinflusst. Um die Wettbewerbsfähigkeit aufbereiteter Wirtschaftsdünger zu erhöhen, bietet sich demnach auch eine Verteuerung der Substitute z.B. durch Abgaben und Steuern auf mineralische Düngemittel an. Eine Verteuerung der Substitute kann die Transportwürdigkeit des aufbereiteten Wirtschaftsdüngers erhöhen. Für Stickstoff ergibt sich bei einem Preis von 1,08 €/kg Nährstoff eine Transportwürdigkeit von etwas mehr als 10 km bei einem Nährstoffgehalt von 5,1 kg N/t transportierten Wirtschaftsdünger. Für höhere Nährstoffgehalte können um die 20 Kilometer Transportentfernung in Kauf genommen werden, um den Transport durch Einsparungen beim Mineraldüngerkauf für Stickstoff zu kompensieren.



Damit die Handelbarkeit der Produkte der Aufbereitung möglich wird, sind des Weiteren Qualitätsstandards für diese Produkte zu definieren wie z.B. Vorgaben zu Nährstoff- und Kohlenstoffgehalte und Gehalt unerwünschter Stoffe wie z.B. Schwermetalle. Des Weiteren sind die Produkte in den entsprechenden Anhang der EU Düngemittelverordnung aufzunehmen.

Eine Überarbeitung des landwirtschaftlichen Baurechtes kann darüber hinaus notwendig werden, da es u.U. sinnvoll ist, Wirtschaftsdünger in den aufnehmenden Ackerbauregionen zu lagern. Hierfür sind entsprechende Lagerstätten notwendig, die evtl. von Betriebsgemeinschaften organisiert werden.

Zur Verbesserung der Situation des Düngemanagements, der Aufbereitung und des Transportes sind darüber hinaus die Aktivitäten im Bereich der Beratung und der Forschung zu intensivieren. So flankieren Mitgliedsstaaten wie die Niederlande, Belgien (Flandern) und Dänemark die strengen Auflagen mit dem Einsatz kommunikativer Instrumente und konnten damit bisher gute Erfolge erzielen. Durch die hohen Auflagen waren viele Landwirte gezwungen, sich mit der Problematik des Düngemanagements zu befassen und konnten durch die Bereitstellung kommunikativer Instrumente das Knowhow bzgl. des Themas wesentlich verbessern. Aktivitäten der Forschung können darüber hinaus dazu beitragen, ein besseres Verständnis der Zusammenhänge zu entwickeln, aber auch den technischen Fortschritt einzelner Aufbereitungstechniken und damit auch Kostensenkungen des Einsatzes der Techniken forcieren.

Des Weiteren macht jedoch auch die abnehmende Akzeptanz der Bevölkerung für die übermäßige Ausbringung von Wirtschaftsdünger, aufgrund der damit verbundenen geruchlichen und hygienischen Belastungen sowie die Beeinflussung durch den zunehmenden Verkehr mit großen landwirtschaftlichen Fahrzeugen, die Festsetzung entsprechender Standards und Grenzwerte notwendig. Dies betrifft die Einschränkung des übermäßigen Austrags von Wirtschaftsdünger, aber auch die zeitnahe Einarbeitung und die Berücksichtigung von Abständen zur Wohnbebauung sowie verkehrstechnischer Belange bei der Planung und Genehmigung von Großstall- bzw. Aufbereitungsanlagen. Landschaftliche Belastungen können darüber hinaus, das Überdenken des privilegierten Bauens im Außenbereich notwendig machen.



Der Einsatz von Aufbereitungs- und Transporttechniken ist jedoch nicht nur mit positiven Effekten wie einer Reduzierung von Nährstoffüberschüssen verbunden, sondern es wird auch eine Reihe von Kritikpunkten genannt. So entstehen durch den Einsatz von Aufbereitungs- und Transporttechniken entsprechende Trade-Offs bspw. im ökologischen und sozialen Bereich, die jedoch bisher meist nicht betrachtet werden. Zu den ökologischen Kriterien zählen bspw. der notwendige Energiebedarf sowie die Entstehung von Treibhausgasen mit teils höherem Treibhausgaspotential. Aber auch die Beeinflussung des Landschaftsbildes durch industrielle Überprägung kann zu den negativen Trade Offs der Aufbereitung von Wirtschaftsdünger gerechnet werden. Darüber hinaus werden auch soziale Kriterien wie z.B. die Belastung durch zunehmenden Verkehr oder die Verbreitung von Keimen beeinflusst. Des Weiteren sind insbesondere die Effekte aufbereiteter Wirtschaftsdünger auf den Boden bisher nicht in die Betrachtung eingeflossen. So ist davon auszugehen, dass mit der festen Phase neben organischem Material und Phosphor auch Schwermetalle verlagert und angereichert werden. Hingegen kann es in den abgebenden Regionen zu negativen Wirkungen auf den Humusgehalt des Bodens kommen, wenn das organische Material weitgehend exportiert wird. Findet mit der Aufbereitung keine Hygienisierung statt, können darüber hinaus auch Krankheitskeime verbreitet werden.

Des Weiteren wird angemerkt, dass andere Lösungen zur Minderung von Nährstoffüberschüssen in die Betrachtung mit eingezogen werden sollten und eine Abwägung dieser unterschiedlichen Lösungsansätze zu erfolgen hat. Zu nennen ist hier z.B. die Minderung des Problemdrucks durch nährstoffreduzierte Fütterung.

Die Förderung der Aufbereitung und des Transportes kann des Weiteren dazu führen, den Erhalt und den Ausbau der intensiven Tierhaltung zu stützen und weitere Wettbewerbsvorteile dieser intensiven Betriebe gegenüber extensiv wirtschaftenden Betrieben zu realisieren.

4 Politikoptionen und Handlungsempfehlung

Abschließend wird angemerkt, dass eine umfassende Strategie zum Umgang mit der Problematik der Nährstoffüberschüsse bisher fehlt. Meist erfolgt eine Betrachtung einzelner Nährstoffe und eine Definition von Ansätzen zur Behebung der Symptome des übermäßigen Nährstoffeintrage in die Umwelt, eine Nährstoffübergreifende Strategie, die an den Ursachen der Problementstehung ansetzt fehlt meist. Dabei ist auch zu beachten, dass andere Wirkungszusammenhänge der intensiven Tierhal-



tung wie z.B. Fragen der Tiergesundheit und des Tierschutzes ebenfalls zu adressieren sind. Tabelle 2 stellt die grundlegenden Politikoptionen dar, um eine Verbesserung der aktuellen Situation zu erreichen und die negativen Auswirkungen zu reduzieren. Bei der Gestaltung sollte darauf geachtet werden, die Maßnahmen Zielorientiert zu gestalten und den Landwirten Freiräume zur Umsetzung der Maßnahmen zu gewähren sind.

Tabelle 2: Politikoptionen zur Wirtschaftsdüngeranwendung

Maßnahmenorientiert		Zielorientiert
Viehichte	Stickstoffbilanz Nährstoffeffizienz	Nitrat im Grundwasser

Quelle: Eigene Darstellung nach OENEMA et al. (2011) und SCHROEDER et al. (2003)

Die Handlungsempfehlungen beziehen sich im Wesentlichen auf die weitere Betrachtung von im Zusammenhang mit der Wirtschaftsdünger aufbereitung und dem Wirtschaftsdüngertransport auftretenden Fragestellungen. So wird empfohlen die ökologischen und sozialen Trade Offs der Wirtschaftsdünger aufbereitung und dessen Transporte wie z.B. den notwendigen Energiebedarf, die Wirkungen auf den Boden und die örtliche Bevölkerung – mit in die Betrachtung einzubeziehen und eine Abwägung mögliche Alternativen der Problemlösung wie die Flächenbindung der Tierhaltung anhand dieser Kriterien vorzunehmen.

Eine Abwägung erscheint auch notwendig hinsichtlich der Diskussion, wie ein weiterer Bedeutungsverlust von Betrieben und Regionen mit extensiver Viehhaltung vermieden werden kann. Hierbei ist auch zu diskutieren, ob Umweltkosten der intensiven Tierhaltung von der Gesellschaft (Gemeinlastprinzip) zu tragen sind und ob diese Betriebe dadurch einen Wettbewerbsvorteil gegenüber Betrieben mit extensiver Tierhaltung realisieren können.

Des Weiteren ist der Einsatz der Instrumente zur Förderung der Wirtschaftsdünger aufbereitung und des -transportes anhand von Kriterien gegeneinander abzuwägen, bevor der Einsatz eines Instrumentenmix vorgeschlagen werden kann.

Abschließend wird empfohlen die Forschung zur Weiterentwicklung der entsprechenden Technologien voran zu treiben, da sowohl die Investitionskosten aufgrund des technischen Fortschritts hierdurch zu reduzieren sind, als auch negative Trade Offs innerhalb der Fortentwicklung Berücksichtigung finden können. Ebenso ist die



Handelbarkeit der Produkte der Aufbereitung durch die Setzung entsprechender Qualitätsstandards und die Aufnahme in den Anhang der EU-Düngemittelverordnung voran zu treiben.

Weiterführende Literatur

BALTIC FORUM FOR INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE MANURE MANAGEMENT (o.J.): Sustainable Manure Management in the Baltic Sea Region.

http://www.balticmanure.eu/download/News/131894_projektbrochure_baltic_manure_2013.pdf; Abgerufen am 28.4.2014.

BMU und BMELV (2012): Nitratbericht 2012. Bonn.

BONMATI, A., MAGRI, A. und FLOTATS, X. (2010): Manure treatment technologies: On-farm vs. centralized strategies. Catalonia as case study. Vortrag gehalten „Managing livestock manure for sustainable agriculture. 24-25.11.2010, Wageningen, Netherlands.

DE CLERCQ, P. (2005): European nutrient policies in relation to dairy farming. Nutrient management at farm scale- How to attain policy objectives in regions with intensive dairy farming?. First Workshop of the EGF Working Group „Dairy Farming Systems and Environment“, Quimper, France, 23-25 June 2013. Wageningen, S. 11-16.

EUROPEAN COMMISSION, DG ENVIRONMENT (2010): Workshop: Managing livestock manure for sustainable agriculture. Wageningen.

FLOTATS, X., BONMATI, A., FERNÁNDEZ, B. und MAGRI, A. (2009): Manure treatment technologies: On-farm versus centralized strategies. NE Spain as case study. In: Bioresource Technology 100 (2009), S. 5519-5526.

FOGED, H.L. (2010): Best Available Technologies for Manure Treatment – for intensive rearing of pigs in Baltic Sea Region EU Member States. Baltic Sea 2020 (Hrsg.). Stockholm.

GRANSTEDT, A. (2000): Increasing the efficiency of plant nutrient recycling within the agricultural system as a way of reducing the load to the environment – experience from Sweden and Finland. In: Agriculture, Ecosystems and Environment 80 (2000), S. 169-185.

HEIßENHUBER, A., HABER, W. und KRÄMER, C. (2014): 30 Jahre SRU-Sondergutachten „Umweltprobleme der Landwirtschaft“ – eine Bilanz. In Veröffentlichung.

INEMAD (2014): Second Newsletter, <http://www.inemad.eu/en/news-and-events->

KTBL (2008): Umweltgerechte, innovative Verfahren zur Abtrennung von Nährstoffen aus Gülle und Gärrückständen – Technologischer Stand, Perspektiven und Entwicklungsmöglichkeiten. DBU und FAL.

KTBL (2014): Investitionsbedarf und Jahreskosten landwirtschaftlicher Betriebsgebäude. [http://daten.ktbl.de/baukost2/?tx_ktblsso_checktoken\[token\]=7c9ae19d13d5ddc7377448379883e7f3](http://daten.ktbl.de/baukost2/?tx_ktblsso_checktoken[token]=7c9ae19d13d5ddc7377448379883e7f3); Abgerufen am 18. 4. 2014.



- LEBUF, V., ACCOE, F., VANEECKHAUTE, C., MEERS, E., MICHELS, E. und GHEKIERE, G. (2012): Nutrient recovery from digestates: techniques and end-products. Fourth International Symposium on Energy from Biomass and Waste. Venice.
- OENEMA, O. (2013): Manure processing in The Netherlands. Vortrag gehalten auf dem ReUseWaste mid-term review meeting, Wageningen, 14.-18. Oktober 2013.
- OENEMA, O., BLEEKER, A., BRAATHEN, N. A., BUDNÁKOVÁ, M., BULL, K., CERMÁK, P., GEUPEL, M., HICKS, K., HOFT, R., KOZLOVA, N., LEIP, A., SPRANGER, T., VALLI, L., VELTHOF, G. und WINIWARTER, W. (2011): Nitrogen in current European policies. In: Sutton, M.A. et al. (Hrsg): The European Nitrogen Assessment. Cambridge University Press.
http://www.nine-esf.org/sites/nine-esf.org/files/ena_doc/ ENA_pdfs/ENA_c4.pdf;
Abgerufen am 16.4.2014.
- SCHROEDER, J. J., AARTS, H. F. M., TEN BERGE, H. F. M., VAN KEULEN, H. und NEETESON, J.J. (2003): An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. European Journal of Agronomy Volume 20, Issue 1-3, S. 33-44.
- SUTTON, M., OENEMA, O., ERISMAN, J. W., LEIP, A., VAN GRINSVEN, H. und WINIWARTER, W. (2011): Too much of a good thing. In: Nature Vol 472, S. 159-161.
- TAUBE, F., BALMANN, A., BAUHUS, J., BIRNER, R., BOKELMANN, W., CHRISTEN, O., GAULY, M., GRETHE, H., HOLM-MÜLLER, K., HORST, W., KNIERIM, U., NIEBERG, H., LATACZ-LOHMANN, U., QAIM, M., SPILLER, A., TÄUBER, S., WEINGARTEN, P. und WIESLER, F. (2013): Novellierung der Düngeverordnung: Nährstoffüberschüsse wirksam begrenzen. In: Berichte über Landwirtschaft Sonderheft 219, September 2013.
- VAN GRINSVEN, H. J. M., TEN BERGE, H. F. M., DALGAARD, T., FRATERS, B., DURAND, P., HART, A., HOFMAN, G., JACOBSEN, B. H., LALOR, S. T. J., LESSCHEN, J. P., OSTERBURG, B., RICHARDS, K. G., TECHEN, A.-K., VERTÈS, F., WEBB, J. und WILLEMS, W. J. (2012): Management, regulation and environmental impacts of nitrogen fertilization in northwestern Europe under the Nitrate Directive; a benchmark study. In: Biogeoscience, 9, S. 5143-5160.

Anschrift des Kontaktautors

Peter Schießl (TUM)

Agrarberater

Fuhrn 12

92431 Neunburg v. W.

Tel.: 0160-97534362

eMail: peter.schiessl@tum.de



NÄHRSTOFFGEHALTE UND BIOGASERTRÄGE SEPARIERTER GÜLLE

Hans-Jörg Brauckmann, Johanna Hering und Gabriele Broll

Zusammenfassung

Die zunehmende Spezialisierung in der Landwirtschaft führt zu einer starken Konzentration der Viehhaltung in den Veredlungsregionen. Dort fallen mehr Nährstoffe in Wirtschaftsdüngern an, als sinnvoll pflanzenbaulich verwertet werden können. Die Verbringung von separierter Gülle aus den Nährstoffüberschussregionen in Biogasanlagen der Ackerbauregionen zur energetischen Nutzung und zur anschließenden Düngung mit Gärresten stellt eine Lösungsmöglichkeit dar. Es wurden zwei Zentrifugen und sechs Pressschneckenseparatoren mit Schweinegülle sowie fünf Pressschneckenseparatoren mit Rindergülle beprobt und untersucht. Die Zentrifugen scheiden 74 % des Phosphats in die feste Fraktion ab. Die Pressschnecken trennen 16 % des in der Schweinegülle und 22 % des in der Rindergülle enthaltenen Phosphats ab. Die Methanerträge der festen Fraktion sind mit 38 I_N/kg FM ca. achtmal höher als die der Schweine-Rohgülle (5 I_N/kg FM), während der Wert bei den Rindergülle-Feststoffen doppelt so hoch ist wie bei der Rohgülle (30 I_N/kg FM zu 14 I_N/kg FM).

Keywords

Wirtschaftsdünger, Gülle, Separation, Veredlung, Nährstoffmanagement, Kaskadennutzung, Mastschweine, Milchvieh

1 Einleitung

Die zunehmende Spezialisierung in der Landwirtschaft führt zu einer starken Konzentration der Viehhaltung in den Veredlungsregionen. Relevant sind vor allem die südlichen Niederlande, Belgien und Dänemark. In Deutschland sind der Nordwesten Niedersachsens, das Westmünsterland und einzelne Landkreise im Norden Bayerns zu nennen. Der Futtermittelbedarf der Veredelung übersteigt die pflanzliche Produktion in der Region, so dass Futtermittel in die Region importiert werden. Der kleine Anteil der darin enthaltenen Nährstoffe verlässt mit den Produkten aus der tierischen Erzeugung den landwirtschaftlichen Bilanzkreis. Der überwiegende Anteil der mit den Futtermitteln importierten Nährstoffe wird mit den tierischen Exkrementen ausgeschieden. In den Veredlungsregionen fallen mehr Nährstoffe im Wirtschaftsdünger an, als sinnvoll pflanzenbaulich verwertet werden können. Den Nährstoffüberschüssen in



den Veredlungsregionen stehen Nährstoffbedarfe in den Ackerbauregionen, die meist durch Mineraldünger gedeckt werden, gegenüber (WARNECKE et al., 2011). Am Beispiel Niedersachsens zeigt sich, dass, obwohl bereits jetzt ca. 1,78 Mio. t Wirtschaftsdünger aus der Region Weser-Ems exportiert werden, noch eklatante Nährstoffüberschüsse in einzelnen Landkreisen bestehen (LWK NIEDERSACHSEN, 2013). Durch eine konsequente Kontrolle der düngerechtlichen Normen sowie der anstehenden Novellierung der Düngeverordnung wird die zu transportierende Nährstoffmenge in Wirtschaftsdüngern und Gärresten in Zukunft weiter ansteigen.

Neben den Nährstoffen enthalten die Wirtschaftsdünger ein erhebliches Energiepotential, das in Biogasanlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt werden kann (KALTSCHMIDT et al., 2009). Im Hinblick auf die nachhaltige Biogaserzeugung bietet die Vergärung von Wirtschaftsdüngern über die Vermeidung von Geruchs-, Treibhausgas- und Ammoniak-Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung sowie durch die Substitution von Anbaubiomasse erhebliche Vorteile gegenüber der direkten Gülledüngung und der Biogaserzeugung aus Anbaubiomasse (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN, 2011; SCHMEHL et al., 2012). In Ackerbauregionen, in denen die Gärreste Mineraldünger ersetzen, verbessern die Gutschriften aus der Mineraldüngersubstitution die Ökobilanz der Biogaserzeugung aus in den Betrieb importierter Wirtschaftsdünger weiter. Das Konzept der Verbringung von Wirtschaftsdüngern aus den Nährstoffüberschussregionen in Biogasanlagen der Ackerbauregionen zur energetischen Nutzung und zur anschließenden Düngung mit Gärresten kann als „Überregionale Kaskadennutzung“ bezeichnet werden (BRAUCKMANN et al., 2010). Zur Erhöhung der Transportwürdigkeit der Gülle bieten sich Separationstechniken an (HJORTH et al., 2010). Hier stellt der Markt ein breites Angebot von Verfahren und Geräten zur Verfügung (FLOTATS et al., 2011). Die veröffentlichten Abscheidegrade variieren auch bei gleicher Technik in einem weiten Rahmen (HJORTH et al., 2010) und lassen keinen direkten Vergleich der Geräte zu. Das liegt zum großen Teil an starken Unterschieden der eingesetzten Rohgülle, so dass selbst bei dem gleichen Gerät Unterschiede im Abscheidegrad in die feste Fraktion von 3 – 23 % auftreten können (DLG, 2009).

Mit dem Ziel, vergleichbare Werte zur Leistung verschiedener Separationsverfahren und Techniken zu erhalten, wurden mehrere Separatoren mit der gleichen Gülle, die aus repräsentativen Haltungsformen stammte, beprobt und untersucht. Zur Separati-



on wurde Milchviehgülle sowie Mastschweinegülle aus jeweils repräsentativen Betrieben der Veredlungs- und der Milchviehregion Niedersachsens verwendet.

2 Methoden

Unter praxisnahen Bedingungen wurden acht verschiedene Separatoren mit Schweinegülle sowie fünf Geräte mit Rindergülle auf Durchsatz, Nährstoffverteilung und Biogaserträge untersucht. Allen bei der Untersuchung berücksichtigten Separatoren (Tabelle 1) wurde dieselbe homogenisierte Gülle zur Verfügung gestellt. Die Schweinegülle wurde von verschiedenen Mastbetrieben gesammelt, in einem Güllehochbehälter für zwei Tage gelagert und vor und während der Entnahme ständig durchmischt. Die Milchviehgülle lagerte unter dem Stall und wurde am Tag vor der Probennahme sowie am Tag der Beprobung durchmischt.

Als Zielvorgabe für die Separation wurde ein TS-Gehalt von > 250 kg/t in der festen Fraktion vorgegeben, um ein stapelbares und transportwürdiges Produkt zu erhalten. Den Herstellern blieb die Einstellung der Separatoren überlassen. Zudem sollten keine Flockungsmittel zum Einsatz kommen.

Unmittelbar vor Beginn einer Beprobung wurde ein Güllefass mit der Rohgülle gefüllt und dem jeweiligen Separator zur Verfügung gestellt. Aus dem Fass mit Rohgülle wurde die feste Fraktion in eine Mulde separiert und die dünne Fraktion in ein zweites Güllefahrzeug gepumpt. Die Massen wurden mittels einer Fahrzeugwaage erfasst. Aufgrund des geringen Durchsatzes wurde die feste Fraktion der Spaleck-Zentrifuge mit einer Hängewaage ausgewogen und die dünne Fraktion in IBC-Containern aufgenommen. Zur weiteren Berechnung der Abscheidung in die feste Fraktion wurde die Summe aus fester und dünner Fraktion als Durchsatz genommen, weil bei einigen Separatoren größere Güllemengen am Überlauf anfielen oder in den unterschiedlich langen Zuleitungen verblieben. Die Massendifferenz der Rohgülle im Vorlagefass wurde zur Kontrolle herangezogen.

$$\text{Abscheidegrad [\%]} = \frac{\text{feste Fraktion [t]}}{(\text{feste Fraktion [t]} + \text{dünne Fraktion [t]})} * 100$$

Die Abscheidegrade der Trockensubstanz und der Nährstoffe wurden berechnet, indem die gemessenen Konzentrationen mit den Massen multipliziert wurden.



Abscheidegrad a [%]

$$= \frac{\text{feste Fraktion [t]} * \text{Konz a } \left[\frac{\text{kg}}{\text{t}}\right]}{\left(\text{feste Fraktion [t]} * \text{Konz a } \left[\frac{\text{kg}}{\text{t}}\right] + \text{dünne Fraktion [t]} * \text{Konz b } \left[\frac{\text{kg}}{\text{t}}\right]\right)} * 100$$

Konz a = Konzentration von TS oder Nährstoff in der festen Fraktion

Konz b = Konzentration von TS oder Nährstoff in der dünnen Fraktion

Die Versuchsläufe dauerten ca. 45 min bzw. bis zum Entleeren des Vorlagefasses. Die exakte Dauer des Laufs wurde ermittelt (= t Separation) und der Durchsatz wie folgt berechnet:

$$\text{Durchsatz } \left[\frac{\text{t}}{\text{h}}\right] = \frac{(\text{feste Fraktion [t]} + \text{dünne Fraktion [t]})}{t \text{ Separation [min]}} * 60[\text{min}]$$

Während der gesamten Dauer einer Separation wurde aus den beiden Separationsprodukten jeweils eine Mischprobe entnommen, deren Masse zur Durchsatzleistung addiert wurde. Auch aus der Rohgülle ist vor Beginn jeder Separation eine Probe entnommen worden, um die Homogenität zu überprüfen. Für die Rohgülle ist, für jeden Parameter der Untersuchung, der Median aus den Analyseergebnissen errechnet und als Wert für die homogenisierte Rohgülle angenommen worden. Die Proben wurden mittels Standardmethoden auf Trockensubstanzgehalt und Nährstoffzusammensetzung analysiert. Der Biogasertrag wurde im praktischen Gärversuch nach VDI 4630 – Abschnitt 7 bei der LUFA Nord-West ermittelt.



Tabelle 1: Die bei der Separation von Schweine- bzw. Rindergülle eingesetzten Geräte (die im Folgenden verwendeten Kürzel sind fett gedruckt)

Gülle	Fabrikat	Gerät/ Typenbezeichnung	System
Schwein	Spaleck Oberflächen- technik	Zentrifuge N4	Zentrifuge
	GEA Westfalia Separator	Dekanter UFC 466-00- 35	Zentrifuge (Dekanter)
	Gyllex	AL-2 Agro A/S	Pressschnecke
	FAN	PSS 5.2-780	Pressschnecke
	Nock	SP 254.1	Pressschnecke
	Big Dutchman	Optipress II	Pressschnecke
	Anonym 1	###	Pressschnecke
	Anonym 2	###	Pressschnecke
	Rind	ITE GmbH	AgrarSEP
Regenis GE		Akkupress AL 200	Pressschnecke
FAN Separator GmbH		PSS 3.2-780	Pressschnecke
UTS Products GmbH		FSP A 52/15	Pressschnecke
Agrikomp GmbH		Quetschprofi	Pressschnecke

auf Wunsch des Hersteller anonymisiert

3 Ergebnisse

Der Durchsatz der im Praxismaßstab getesteten Geräte liegt zwischen 2 und über 20 t/h, was durch die sehr unterschiedliche Auslegung der Geräte bedingt ist (Tabelle 2). So arbeitet die Zentrifuge **Spa** im Batchbetrieb, das heißt eine Charge Rohgülle wird eingepumpt, zentrifugiert und dann das feste Produkt ausgetragen. Die Dekanterzentrifuge **GEA** setzt im kontinuierlichen Betrieb deutlich höhere Massen um. Innerhalb der Gruppe der Pressschneckenseparatoren wurden Durchsätze von ca. 1 bis 23 t/h erreicht, wobei das Gerät **Reg** im Versuch nicht zufriedenstellend funktionierte. Die übrigen Geräte lagen in dem von den Herstellern angegebenen Durchsatzbereich. Bei dem Gerät **An1** kam es zu einem Durchbruch von Rohgülle in die feste Fraktion, so dass die Masse der festen Fraktion aus der Differenz von Rohgülle und dünner Fraktion errechnet werden musste. Die Ergebnisse zeigen, dass auf dem Markt verschiedene Systeme angeboten werden, so dass für den Einsatz die betrieblichen Anforderungen genau definiert werden müssen, um das passende Gerät auszuwählen. So ist beim stationären Einsatz eher die Energieeffizienz relevant, während beim überbetrieblichen Einsatz der Durchsatz ausschlaggebend ist.



Tabelle 2: Die Abscheidegrade der mit Schweine- und Rindergülle betriebenen Separatoren

Gülle Einheit	Gerät	Durchsatz t/h
Schwein	Spa	2,325
	GEA	21,544
	Gyl	12,646
	FAN	18,046
	Noc	8,649
	BD	16,619
	An1 ###	23,430*
	An2 ###	10,047
Rind	ITE	9,368
	Reg	1,119
	FAN	16,601
	UTS	11,204
	Agr	8,930

auf Wunsch des Hersteller anonymisiert

* Berechnung aus dünner Fraktion und Differenz von Rohgülle und dünner Fraktion

Durchsatz und Abscheidegrad von Separatoren nehmen in der Regel mit steigendem Trockensubstanzgehalt des festen Produktes ab. Um eine Vergleichbarkeit zu erzielen, wurde in diesem Versuch ein Ziel-Trockensubstanzgehalt von 250 kg/t in der festen Fraktion vorgegeben. Dieser Wert wird nur von **An1** deutlich unterschritten. Der Separator **FAN** liefert im Schweinegülleversuch mit 333 kg/t den höchsten TS-Anteil. Der Trockenmasseanteil in der untersuchten Schweingülle liegt bei 53 kg/t und ist von der Dekanterzentrifuge GEA mehr als halbiert worden. In der dünnen Fraktion aus den Pressschneckenseparatoren liegt der TS-Gehalt sehr gleichmäßig um 38 (Schweinegülle) bzw. 54 (Rindergülle) kg/t.

Bei den beiden Zentrifugen **Spa** und **GEA** erhöht sich die Gesamtstickstoffkonzentration in der festen Fraktion deutlich gegenüber der unbehandelten Schweinegülle. Durch die Pressschneckenseparatoren wird diese bei beiden Güllearten in geringem Maße erhöht. Die Ammonium-Stickstoffkonzentration ist in der dünnen Fraktion meist höher als in der festen Fraktion. Damit steigt der direkt pflanzenverfügbare Anteil am Gesamtstickstoff in der dünnen Fraktion gegenüber der Rohgülle, so dass der Düngewert der meist auf dem Betrieb verbleibenden Dünngülle verbessert wird.



Tabelle 3: Trockensubstanz (TS)-, Gesamtstickstoff (Nges)-, Ammonium-Stickstoff (NH₄-N)-, Phosphat (P₂O₅)- und Kalium (K₂O)-Gehalte an der Frischmasse der Rohgülle und der festen und dünnen Separationsprodukte

Gülle Einheit	Rohgülle/ Separator	Fraktion	TS kg/t	Nges kg/t	NH ₄ -N kg/t	P ₂ O ₅ kg/t	K ₂ O kg/t
Schwein	Rohgülle	/	53	5,4	3,0	2,6	4,2
	Spa	fest	286	9,5	2,7	14,9	3,9
		dünn	30	6,2	2,8	1,1	4,1
	GEA	fest	263	10,1	3,3	16,4	3,9
		dünn	25	4,7	2,7	0,6	4,1
	Gyl	fest	235	7,8	2,7	6,4	4,1
		dünn	35	5,2	3,0	2,0	4,1
	FAN	fest	333	8,9	2,5	8,2	3,9
		dünn	39	5,4	2,8	2,4	4,1
	Noc	fest	343	8,5	2,5	7,8	3,9
		dünn	38	5,3	3,1	2,3	4,3
	BD	fest	305	8,0	2,5	4,6	3,6
		dünn	38	5,3	3,0	1,7	4,2
	An1	fest	206	7,4	2,5	4,4	3,9
		dünn	38	5,3	3,1	2,4	4,1
	An2	fest	254	7,5	2,4	3,6	3,7
dünn		38	5,3	3,2	2,2	4,2	
Rind	Rohgülle	/	86	4,0	1,6	1,6	3,6
	ITE	fest	273	5,3	1,2	2,1	3,4
		dünn	53	3,8	1,7	1,7	3,8
	Reg	fest	257	5,1	1,2	1,9	3,2
		dünn	54	3,7	1,7	1,6	3,8
	FAN	fest	281	5,5	1,4	2,1	3,1
		dünn	53	3,8	1,7	1,3	3,7
	UTS	fest	235	5,2	1,1	2,1	3,2
dünn		56	3,8	1,7	1,7	3,8	
Agr	fest	220	5,4	1,5	2,1	3,2	
	dünn	54	3,7	1,7	1,6	3,7	

Der deutlichste Effekt der Separation betrifft die Phosphatkonzentration bei den Zentrifugen. Diese ist in der festen Fraktion der Schweinegülle auf 14,9 (Spa) bzw. 16,4 kg/t erhöht. Die dünne Fraktion enthält nur noch 1,1 bzw. 0,6 kg Phosphat/t. Das N/P Verhältnis steigt dadurch stark an, so dass sich diese dünne Gülle vor allem für



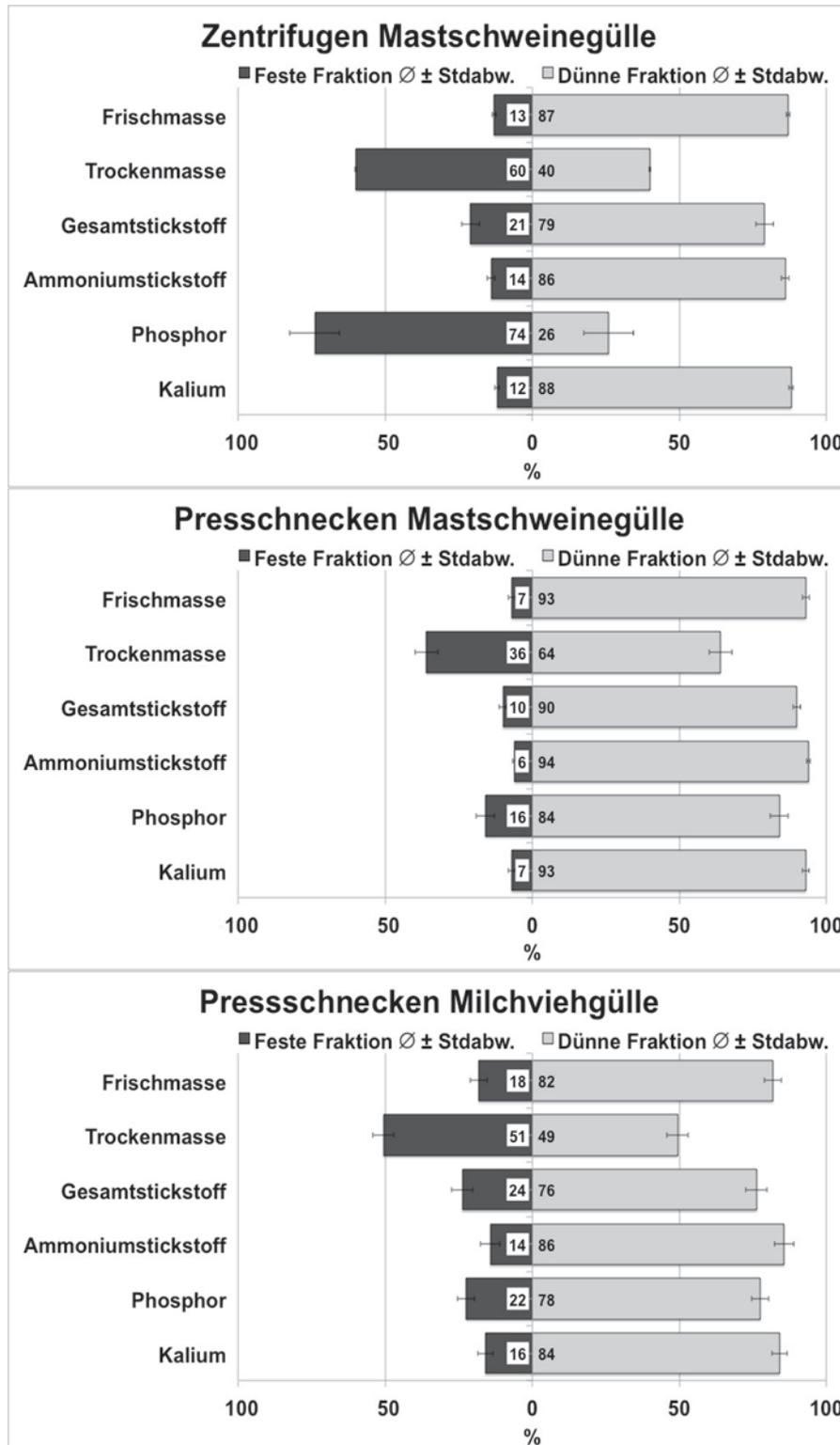
schon hoch mit Phosphat versorgte Böden anbietet. Die Pressschneckenseparatoren reduzieren den Phosphatgehalt in der dünnen Fraktion maximal um 20 %. Das N/P Verhältnis dieser Dünngülle entspricht dem Bedarf der meisten Ackerkulturen, so dass ein positiver P-Saldo, wie es bei der Düngung mit Schweinegülle regelmäßig auftritt, vermieden werden kann.

Bei der Separation von Schweinegülle mit Pressschneckenseparatoren werden im Mittel 7 % der Frischmasse in die feste Fraktion abgetrennt (Abbildung 1). In der gleichen Größenordnung liegt die Abscheidung von Gesamt- und Ammoniumstickstoff sowie von Kalium. Phosphat wird überrepräsentativ in der festen Fraktion angereichert, so dass mit 7 % fester Fraktion 16 % des Phosphats abtransportiert werden können. Deutlich höher liegt die Phosphatabscheidung in die feste Fraktion bei den beiden untersuchten Zentrifugen. In 13 % der Frischmasse werden 74 % des in der Rohgülle enthaltenen Phosphats eingelagert.

Durch die höheren Trockensubstanzgehalte und die Struktur der Feststoffe der Rindergülle werden von den Pressschneckenseparatoren im Mittel 18 % in die feste Fraktion abgeschieden. Die Stickstofffraktionen sowie Phosphat und Kalium werden in der gleichen Größenordnung abgetrennt, eine Phosphatanreicherung, wie bei der Schweinegülle, ist nicht festzustellen.



Abbildung 1: Auftrennung der Frischmasse und Trockenmasse sowie der Hauptnährstoffe in der festen und dünnen Fraktion der mit Schweinegülle getesteten Pressschneckenseparatoren und Zentrifugen sowie der mittels Pressschnecken separierter Milchviehgülle (Mittelwerte und Standardabweichung)





Die im praktischen Gärversuch ermittelten spezifischen Biogaserträge der Rohgülle sind mit 370 l_N/t oTS bei der Rindergülle deutlich höher als bei der Schweinegülle (Tabelle 4). Die festen Separationsprodukte aus den Pressschnecken der Schweinegülle haben einen etwas über dem der Rohgülle liegenden spezifischen Biogasertrag, die dünnen Fraktionen weisen jedoch einen deutlich geringeren Wert auf. Werden beide Werte über den Abscheidegrad gewichtet, so bleibt die Summe der spezifischen Biogaserträge deutlich hinter denen der Rohgülle zurück. Bei den Zentrifugen liegen die spezifischen Biogaserträge beider Fraktionen höher als bei der Rohgülle. Möglicherweise ist es durch die hohen auf die Gülle einwirkenden Kräfte zu einem mechanischen Aufschluss des organischen Materials gekommen. Die spezifischen Biogaserträge der festen Fraktion sind bei den Zentrifugen höher als bei den Pressschnecken. Da beim Zentrifugieren die Stoffe mit höherer Dichte abgetrennt werden, sind aber die Aschegehalte um das doppelte höher als bei den festen Produkten der Pressschneckenseparatoren. Da beide festen Fraktionen der Schweinegülle einen ähnlichen Methangehalt haben, führen die Unterschiede in den Aschegehalten zu einer Angleichung der Methanerträge bezogen auf die Trockensubstanz. Bei beiden Verfahren erhöht sich der Methanertrag bezogen auf die Frischmasse um das Siebenfache gegenüber der Rohgülle. Die durch Pressschnecken separierte feste Fraktion der Rindergülle hat dagegen, bezogen auf die Frischmasse, nur einen gut doppelten Methanertrag wie die Rohgülle. Die in die feste Fraktion separierten Stoffe haben sowohl einen um ca. 100 l_N/kg oTS geringeren spezifischen Biogasertrag als die Rohgülle als auch einen niedrigeren Methangehalt von 53 % gegenüber 60 % der Rohgülle. Dieser Wert stimmt mit dem von Pflanzenmaterial überein und zeigt, dass vor allem die unverdauten Pflanzenfasern in die feste Fraktion gelangen.



Tabelle 4: Spezifischer Biogasertrag, Aschegehalt, Methangehalt und Methanerträge bezogen auf die Trockensubstanz /TS) und Frischmasse (FM) der Rohgülle und der Separationsprodukte als Mittelwerte der Verfahren sowie die Standardabweichung (in Klammern)

Gülle	Rohgülle Separat- tor	Frak- tion	spezifi- scher Biogas- ertrag I _N /kg oTS	Asche- gehalt an der TS %	Methan- gehalt Vol %	Methan- ertrag bez. auf TS I _N /kg TS	Methan- ertrag bez. auf FM I _N /kg FM
Schwein	Rohgülle	/	241 (22,0)	36 (3,1)	66 (1,3)	100 (8,7)	5 (0,6)
	Press- schne- cke	fest	253 (21,9)	14 (2,3)	63 (1,1)	137 (10,3)	38 (8,1)
		dünn	158 (26,9)	43 (3,0)	76 (3,8)	68 (5,6)	3 (0,2)
	Zentrifu- ge	fest	284 (13,1)	30 (0,7)	64 (0,4)	126 (5,8)	35 (0,4)
		dünn	272 (23,1)	48 (0,2)	72 (2,3)	103 (11,5)	3 (0,0)
	Rind	Rohgülle	/	370 (13,4)	23 (0,47)	60 (0,0)	163 (12,8)
Press- schne- cke		fest	272 (12,2)	16 (0,9)	53 (0,0)	122 (5,6)	30 (3,0)
		dünn	350 (23,3)	30 (2,3)	67 (0,0)	165 (12,0)	9 (0,8)

4 Diskussion

Bei der Separation von Gülle handelt es sich um ein bewährtes Verfahren zur Verbesserung der Transportwürdigkeit und der Düngeeigenschaften (DÖHLER et al., 1999; MØLLER et al., 2000; AMON et al., 2006). Der Praxistest zeigt, dass die eingesetzten Geräte fast ausnahmslos die erwarteten Leistungen erbrachten. Die vorgefundenen Nährstoffabscheidungen liegen im Bereich der für die jeweiligen Verfahren und Güllequalitäten bekannten Bereiche (vgl. FOGED et al., 2011). Sowohl bei den Zentrifugen als auch bei den Pressschneckenseparatoren sind die gleichen Abscheideergebnisse ermittelt worden wie in schon über 20 Jahre zurückliegenden Untersuchungen (DÖHLER et al., 1999; FOGED et al., 2011). Das zeigt, dass die Verfahren weitgehend ausgereift sind und die Produkte dem landwirtschaftlichen Bedarf entsprechen. Zwar könnte, z.B. durch Zugabe von Fällungs- und Flockungsmitteln, eine fast vollständige Entfernung des Phosphats aus der dünnen Fraktion erfolgen, jedoch ist dann die landwirtschaftliche Verwertung dieser Fraktion kaum mehr möglich.



Die Verwertung der festen Fraktion separierter Gülle in Biogasanlagen der Ackerbau-regionen stellt eine Herausforderung für die Logistik dar. Der Vorteil der Gülle-Feststoffe im Vergleich zur Rohgülle liegt darin, dass einerseits höhere Nährstoff-frachten und Biogaserträge je Tonnen Material transportiert werden, andererseits nach der Reinigung der Kipper, Rückfrachten möglich sind. Die Qualität der Gülle kann jedoch sehr unterschiedlich sein. So ist das Alter der Gülle ein entscheidender Faktor für den Methanertrag. Durch die aerobe und anaerobe Umsetzungen im Güllelager nimmt mit zunehmender Lagerzeit der Methanertrag ab (AMON et al., 2006). Die Me-thanerträge frischer Schweinegülle sind deutlich höher als die im Praxisversuch er-mittelten. So erbrachten Schweinekotproben, die direkt nach der Exkretion entnom-men wurden (MØLLER et al., 2004), eine doppelt so hohen Biogasertrag wie die Gülle in dem Praxisversuch. Dieser fand im Sommer statt und die aus verschiedenen Mastanlagen stammende Gülle wurde nach Abschluss des Mastdurchgangs abge-fahren. Das bedeutet, dass die ältesten Anteile der Gülle bereits drei Monate bei ho-her Temperatur lagerten, während die zuletzt hinzugekommene wenige Tage alt war. Bei der Milchviehgülle sind die Unterschiede zu den von MØLLER et al. (2004) gemes-senen Werten mit etwa einem Fünftel weniger Gasertrag nicht ganz so stark ausge-prägt.

Auch bei der Lagerung der separierten festen Fraktion können erhebliche Verluste beim Gasbildungspotential auftreten. Durch die aerobe Umsetzung gingen in einem Versuch ca. 30 % der organischen Trockensubstanz der separierten Schweingülle verloren, gleichzeitig verminderte sich der spezifische Methanertrag des verbleiben-den Restes, so dass insgesamt ca. 50 % des nach der Separation vorhandenen Gasbildungspotentials verloren gingen (HOTHAN et al., 2013). Dieser Verlust ließ sich durch das luftdichte Abdecken des auf einer Siloplatte gelagerten Materials weitge-hend verhindern. Um einen möglichst hohen Biogasertrag der festen Fraktion sepa-rierter Gülle ausschöpfen zu können, ist eine enge Abstimmung zwischen dem abge-benden Betrieb, dem Transporteur und der aufnehmenden Biogasanlage notwendig. Durch die Möglichkeit, die feste Fraktion der Gülle wie eine Silage zu konservieren, können die Transporte gebündelt werden.



Literatur

- AMON B., KRYVORUCHKO V., AMON T. und ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S. (2006): Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems & Environment, Special Issue "Mitigation of Greenhouse Gas Emissions from Livestock Production"* 112 (2-3), S. 153-162.
- BRAUCKMANN, H.-J., BROLL, G., FÜBBEKER, A., KOWALEWSKI, H.-H. und WARNECKE, S. (2010): Cascade use of manure – Slurry separation in livestock farming regions, transportation of the solid phase in arable farming regions for biogas production followed by digestate fertilization. IBBK Tagungs-CD "Fortschritt bei der Gülle- und Gärrestaufbereitung" Internationales Symposium (Heiden/Westfalen, 24. und 25.02.2010).
- DLG (2009): DLG-Prüfbericht 5853F – Spaleck Oberflächentechnik GmbH Automatik-Zentrifuge N4 zur Gülle- und Gärrestseparierung. <http://www.dlg-test.de/tests/5853F.pdf>; Abgerufen am 20.08.2014.
- DÖHLER, H., SCHIEBL, K. und SCHWAB, M. (1999): Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und -verwertung. KTBL, Münster Hilstrup.
- FLOTATS, X., FOGED, H., BLASI, A., PALATSI, J., MAGRI, A. und SCHELDE, K. (2011): Manure Processing technologies. Technical Report No. II concerning "Manure Processing Activities in Europe" to the European Commission, Directorate-General Environment, S. 132 ff..
- FOGED, H., FLOTATS, X., BLASI, A., PALATSI, J. und MAGRI, A. (2011): End and by-products from livestock manure processing – general types, chemical composition, fertilising quality and feasibility for marketing. Technical Report No. III concerning "Manure Processing Activities in Europe" to the European Commission, Directorate-General Environment, S. 78 ff.
- HJORTH M., CHRISTENSEN K.V., CHRISTENSEN M.L. und SOMMER S.G. (2010): Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agron. Sust. Devel.* 30, S. 153-180.
- HOTHAN A., BRAUCKMANN, H.-J. und BROLL, G. (2013): Influence of storage on methane yields of separated pig slurry solids. *Biomass & Bioenergy* 52, S. 166-172.
- KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H. und HOFBAUER, H. (2009): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Auflage. Heidelberg.
- LWK NIEDERSACHSEN – LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2013): Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2012/2013, Stand 10.10.2013. Oldenburg.
- MØLLER, H.-B., LUND, I. und SOMMER, S.G. (2000): Solid-liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost, *Bioresource Technol.* 74, S. 223–229
- MØLLER, H.-B., SOMMER, S.D. und AHRLING, B.K. (2004): Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass and Bioenergy* 26, S. 485-495.



SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2011): Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung – Sondergutachten. Berlin.

SCHMEHL, M., HESSE, M. und GELDERMANN, J. (2012): Ökobilanzielle Bewertung von Biogasanlagen unter Berücksichtigung der niedersächsischen Verhältnisse, Research Paper Nr.11, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät Georg-August-Universität Göttingen. Göttingen.

WARNECKE, S.; BIBERACHER, M.; BRAUCKMANN, H.-J. und BROLL, G. (2011): Nährstoffeffizienzsteigerung organischer Nährstoffträger durch regionales Stoffstrommanagement. Berichte der DBG (online Publikation), <http://www.dbges.de>.

Anschrift des Kontaktautors

Dr. Hans-Jörg Brauckmann

Forschungsstelle Nachhaltige Biogaserzeugung der Universität Osnabrück

Seminarstr 19a/b, 49074 Osnabrück

Tel.: +49 541 969 4631

eMail: Hans-Joerg.Brauckmann@uni-osnabrueck.de

AKZEPTANZ UND POTENZIALE DER VERGÄRUNG VON FESTSTOFFEN AUS DER GÜLLESEPARATION IN BIOGASANLAGEN

Rhena Kröger und Ludwig Theuvsen

Zusammenfassung

In der deutschen Viehhaltung ist eine immer stärkere Konzentration auf Gunststandorten zu beobachten. Dies führt dazu, dass immer mehr Nährstoff die viehrefeichen Regionen verlassen müssen, um die rechtlichen Rahmenbedingungen bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern einzuhalten. Gängige Methoden zur Reduzierung des Nährstoffüberschusses sind dabei die Neupachtung von Fläche oder die Abgabe von Wirtschaftsdüngern über Güllerbörsen. Aufgrund der Entwicklungen der Rahmenbedingungen (Pachtpreise, Politik) ist die Abgabe über diese Wege mit zunehmend steigenden Kosten verbunden. Als eine mögliche Alternative wird daher derzeit das Verfahren der Gülleseparation mit anschließendem Feststoffexport/-vergärung diskutiert und erforscht. In dem vorliegenden Beitrag werden zunächst die sich aus der Gülleseparation mit anschließender Feststoffvergärung ergebenden regionalen und einzelbetrieblichen Potenziale herausgearbeitet. Anschließend erfolgt eine vergleichende Analyse der drei Verfahren aus ökonomischer Sicht. Die Analysen zeigen, dass die Gülleseparation mit anschließender Feststoffabgabe insbesondere auf einzelbetrieblicher Ebene Potenzial zu Verringerung des Nährstoffüberschusses hat. Im Vergleich zur Flächenneupacht und Güllerbörse ist die Gülleseparation jedoch derzeit noch am teuersten. Sie gewinnt allerdings mit zunehmender Flächenknappheit und steigenden Pachtpreisen an Bedeutung.

Keywords

Separation, Wirtschaftsdünger, Potenziale

1 Einleitung

Die deutsche Viehhaltung ist durch eine starke regionale Konzentration gekennzeichnet (BÄURLE und TAMÁSY, 2012). Aufgrund der bereits hohen und nach verbreiteter Ansicht auch weiterhin steigenden Viehdichten (LASSEN et al., 2008) fallen mehr und mehr Nährstoffe auf engem Raum an. Die fachgerechte Ausbringung und Nutzung dieser Nährstoffe führt immer häufiger zu Problemen. Insbesondere in den viehdichten Regionen in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen wird eine der guten fachlichen Praxis und dem – vor weiteren Verschärfungen stehenden (WÜSTHOLZ,



2014) – rechtlichen Rahmen genügende regionale Ausnutzung der anfallenden Wirtschaftsdünger immer schwieriger. Diese Situation wurde durch den in den vergangenen Jahren zu beobachtenden Biogas-Boom weiter verschärft, da der mit dem Ausbau der Biogaserzeugung einhergehende gestiegene Anbau von Energiepflanzen den Wettbewerb um Flächen auf dem Bodenmarkt zusätzlich anheizte (HABERMANN und BREUSTEDT, 2011; THEUVSEN et al., 2010). Gleichzeitig stiegen durch den vermehrten Anbau von Energiepflanzen für die Biogasproduktion die Futtermittel- und damit Nährstoffimporte in die Regionen mit intensiver Viehhaltung. Schließlich sanken durch den Bau von Biogasanlagen die wirtschaftlichen Anreize zum Export von eigentlich transportwürdigen Wirtschaftsdüngern, etwa Hühnertrockenkot. Die Nährstoffsituation hat sich daher in vielen Regionen weiter verschärft (WÜSTHOLZ, 2014).

Aufgrund der fehlenden regionalen Vermarktungsmöglichkeiten von Wirtschaftsdüngerüberschüssen wird zunehmend der überregionale Transport von Wirtschaftsdüngern in Betracht gezogen (WARNECKE et al., 2011). Lange Transportwege und die geringe Transportwürdigkeit von Rinder- und Schweinegülle stellen die Landwirte dabei vor neue ökonomische Herausforderungen, die zu Bestrebungen geführt haben, die Wirtschaftlichkeit von Wirtschaftsdüngertransporten zu verbessern. Das bereits aus der Vergangenheit bekannte Verfahren der Gülleseparation ist vor diesem Hintergrund erneut verstärkt ins Zentrum des Interesses gerückt.

Durch die Gülleseparation kann eine Feststofffraktion erzeugt werden, die mit Nährstoffen angereichert ist und aufgrund des im Vergleich zur Rohgülle geringeren Wassergehaltes eine höhere Transportwürdigkeit aufweist. Schwerpunkte um die Diskussion der Gülleseparation sind die damit sowohl auf regionaler als auch auf einzelbetrieblicher Ebene verbundenen ökologischen und wirtschaftlichen Effekte. Vorliegende Forschungsansätze beziehen sich u.a. auf die Frage, ob durch die Separation und den anschließenden Export von Feststoffen Nährstoffkreisläufe geschlossen, der Einsatz von Mineraldüngern in Regionen mit einer geringen Viehdichte reduziert oder der Anteil von Energiemais in der Fruchtfolge verringert werden können. Vor diesem Hintergrund ist das Ziel der vorliegenden Arbeit, regionale und einzelbetriebliche Effekte, die sich aus der Gülleseparation mit anschließendem Feststoffexport ergeben können, anhand von Beispielen darzustellen sowie aus regionaler wie einzelbetrieblicher Perspektive zu betrachten. Im Folgenden wird zunächst auf die Bedeutung des Verfahrens eingegangen. Dabei wird die Relevanz, die das Verfahren in der Wissen-



schaft sowie in der betrieblichen Praxis erlangt hat, herausgearbeitet. Anschließend werden potenzielle regionale und einzelbetriebliche Effekte erläutert und die Möglichkeit einer Kooperation zwischen einem viehhaltenden Betrieb und einer Biogasanlage betrachtet. Zum Abschluss werden die Ergebnisse diskutiert und Handlungsempfehlungen gegeben.

2 Das Verfahren in Theorie und Praxis

Ein Blick in die Literatur zeigt, dass bereits in den 1970er Jahren eine Beschäftigung mit dem Verfahren der Gülleseparation einsetzte. Der Forschungsschwerpunkt lag dabei auf der technischen Umsetzung. So untersuchten PAIN et al. (1978), REXILLUS und RÜPRICH (1989), REIMANN und POTSDAM (1991) sowie ZHANG und WESTERMAN (1997) verschiedene Separatoren beim Einsatz unterschiedlicher Gülle (zitiert nach MØLLER et al., 2000). Bei weiteren Arbeiten standen neben der Durchführbarkeit und Effizienz der Technik die Verbesserung der Gülleeigenschaften, pflanzenbauliche Vorteile sowie die Düngewirkung und die Verringerung der Geruchsemissionen im Vordergrund (WEILAND, 2002; RAWERT, 1995). Wesentliche Erkenntnisse der Arbeiten waren, dass die Durchsatzleistungen der Separatoren in Abhängigkeit von der Art der Separation variieren. Die Pressschneckenseparatoren sind den Zentrifugen und Wendelfiltern in der Durchsatzleistung deutlich überlegen. Sie erreichen jedoch niedrigere Nährstoffabscheidegrade als Zentrifugen.

Die Wirtschaftlichkeit des Separationsverfahrens wurde von MEIER (1994), RAWERT (1995) und MØLLER et al. (2000) untersucht. MEIER (1994) stellte in seiner Arbeit heraus, dass aufgrund der hohen Betriebskosten ein überbetrieblicher Einsatz von Separatoren sinnvoll erscheint, da die erforderliche Auslastung sonst nicht erreicht wird. RAWERT (1995) kommt zu dem Schluss, dass unter den damaligen Rahmenbedingungen Gülleaufbereitungsverfahren aufgrund der fehlenden Wirtschaftlichkeit keine Lösung zum Abbau von Nährstoffüberschüssen sind. MØLLER et al. (2000) wiederum zeigten, dass insbesondere der Energiebedarf der unterschiedlichen Separationstechniken die Kosten beeinflusst. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich die Gülleseparation vornehmlich aus Kostengründen bisher nicht durchsetzen konnte.

Mit der Einführung des Güllebonus durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2009 wurde die Separation von Gülle in Deutschland wieder interessanter. Der finanzielle Anreiz führte dazu, dass über den Einsatz der Separationsprodukte in Biogasanlagen nachgedacht wurde. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Bioenergiereg-



on Südoldenburg“ wurden daher die Separation von Schweinegülle und die Substrateigenschaften der Feststoffe hinsichtlich ihres Methanertrages genauer untersucht. Die Laboranalysen der Separationsprodukte haben gezeigt, dass die Feststoffe der Schweinegülle einen siebenfach höheren Methanertrag als die Rohgülle haben. So können ca. 2,5 t Feststoffe aus der Schweinegülle eine Tonne Mais ersetzen (BRAUCKMANN et al., 2011). Die Wirtschaftlichkeit der Schweinegülleseparation mit anschließender Vergärung der Feststoffe wurde von FASTJE (2010) untersucht. Sie kam zu der Schlussfolgerung, dass mit der Gülleseparation und dem Einsatz der Feststoffe in Biogasanlagen durchaus ökonomische Vorteile einhergehen können. Der wirtschaftliche Erfolg hängt jedoch sowohl von den betrieblichen als auch von den marktlichen Einflussfaktoren (Pachtpreise, Preise an der Güllerbörse, Düngemittelpreise etc.) ab (FASTJE, 2010).

Die Erzeugung von Separationsprodukten aus der Rindergülle und deren Einsatz in Biogasanlagen sind Gegenstand des Forschungsprojektes „Nutzung von separierter Rindergülle als alternatives Gärsubstrat in der Biogasproduktion: technische Möglichkeiten und ökonomische Bewertung“. Durch die Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass rund 3,7 t Frischmasse Feststoffe, die durch Separation von Rindergülle gewonnen werden, eine Tonne Maissilage ersetzen können (BRAUCKMANN und BROLL, 2013). Des Weiteren wurde herausgearbeitet, dass die Kosten der Gülleseparation aufgrund der Fixkostendegression vor allem durch die jährliche Separationsmenge beeinflusst werden (KRÖGER und THEUVSEN, 2013).

Obwohl das Verfahren der Gülleseparation mit anschließender Feststoffvergärung nun schon seit einigen Jahren bekannt ist und erforscht wird, findet es dennoch in der Praxis kaum Anwendung. Die fehlende Praxisrelevanz der Gülleseparation wird in der Literatur zum einen auf die hohen Verfahrenskosten zurückgeführt (MEIER, 1994; KRÖGER und THEUVSEN, 2013). Zum anderen sind die zu geringen Wirkungsgrade der Separatoren (KOWALEWSKY, 2009) sowie die fehlenden Absatzmärkte für die Separationsprodukte, insbesondere die Feststoffe (MEIER, 1994), Gründe für die Akzeptanzprobleme in der Praxis. Das Problem der fehlenden Absatzmärkte ist vor allem auf das bis heute geringe Interesse seitens der Betriebe in Ackerbauregionen, Feststoffe aufzunehmen, zurückzuführen. Ein Grund für das fehlende Interesse an dem Produkt ist das fehlende Wissen auf Seiten der Biogasanlagenbetreiber über die Nährstoffkonzentration und die Düngewirkung der Feststoffe. Ein weiteres Hemmnis



sind seuchenhygienische Bedenken. Hinzu kommt, dass die Biogasanlagenbetreiber eine Vielzahl an Substraten haben, die sie in ihren Anlagen prinzipiell einsetzen können und die derzeit oftmals noch günstiger zu erwerben sind.

3 Akzeptanz der Güllefeststoffvergärung

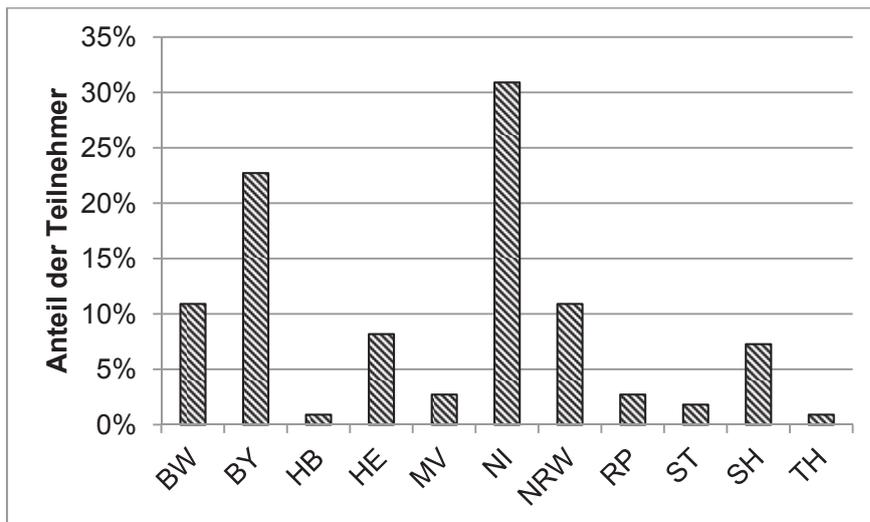
Um die Gründe für die geringe Praxisbedeutung des Verfahrens der Gülleseparation sowie Einzelheiten über die generelle Einstellung der Biogasanlagenbetreiber zu diesem Verfahren herauszufinden, wurde im Frühjahr 2014 eine quantitative Online-Umfrage zur Akzeptanz und Nutzungsabsicht von Güllefeststoffen unter Biogasanlagenbetreibern in Deutschland durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte mit Hilfe des EFS Surway Global Park. Insgesamt nahmen 110 Biogasanlagenbetreiber an der Umfrage teil. Es wurden Fragen mit fünfstufigen Likert-Skalen (1 = stimme voll und ganz zu bis 5 = stimme überhaupt nicht zu), Rangierungsfragen (1 = weniger wichtig bis 9 = sehr wichtig) sowie Ja-Nein-Fragen gestellt. Der Fragebogen gliederte sich in vier Teile: betriebliche Fragen, Fragen zum Wissen über die Gülleseparation und die Feststoffvergärung, Fragen zur Nutzungsabsicht von Feststoffen sowie soziodemografische Fragen.

3.1 Stichprobenbeschreibung

Der überwiegende Teil der Befragungsteilnehmer stammt aus Niedersachsen (31 %), Bayern (23 %), Nordrhein-Westfalen (11 %) und Baden-Württemberg (11 %) (Abbildung 1). Nimmt man die Verteilung der Zahl der Biogasanlagen in Deutschland sowie die installierte elektrische Leistung zum Maßstab, so sind dies die Bundesländer, in denen die Biogaserzeugung von größerer Bedeutung ist (FACHVERBAND BIOGAS E.V., 2013; GUENTHER-LÜBBERS et al., 2014). Deutlich weniger Teilnehmer kamen aus den Bundesländern Bremen (1 %), Hessen (8 %), Mecklenburg-Vorpommern (3 %), Rheinland-Pfalz (3 %), Sachsen-Anhalt (2 %), Schleswig-Holstein (7 %) und Thüringen (1 %). Aus Berlin, Brandenburg, dem Saarland und Sachsen nahmen gar keine Biogasanlagenbetreiber an der Umfrage teil.



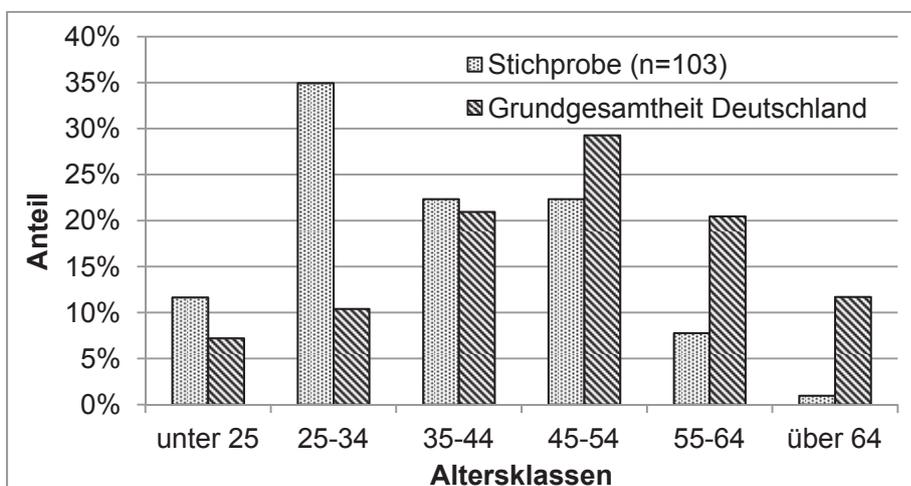
Abbildung 1: Anteil der Teilnehmer nach Bundesländern (n=110)



Quelle: Eigene Berechnungen (2014)

Im Durchschnitt waren die Teilnehmer an der Befragung etwa 38 Jahren alt. Ein Vergleich der Altersstruktur in der Stichprobe mit der Altersverteilung der Betriebsinhaber, Familienangehörigen und ständigen familienfremden Arbeitskräfte in der Landwirtschaft im Jahr 2010 (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2010) zeigt, dass die Altersklassen „unter 25“, „25-34“ und „35-44 Jahre“ in der Stichprobe über-, die anderen Altersklassen hingegen unterrepräsentiert sind (Abbildung 2). Dieser Befund ist auf die Art der Umfrage zurückzuführen. So nutzen vor allem jüngere Landwirte das Internet zur Informationsbeschaffung, während – wie auch in der Gesamtbevölkerung (FORSCHUNGSGRUPPE WAHLEN, 2014) – Ältere das Internet seltener in Anspruch nehmen (LANDWIRTSCHAFTSVERLAG MÜNSTER, 2013; VENNEMANN und THEUVSEN, 2004).

Abbildung 2: Altersstruktur in der Stichprobe und der Arbeitskräfte in der Landwirtschaft in Deutschland



Quelle: Eigene Berechnungen (2014)



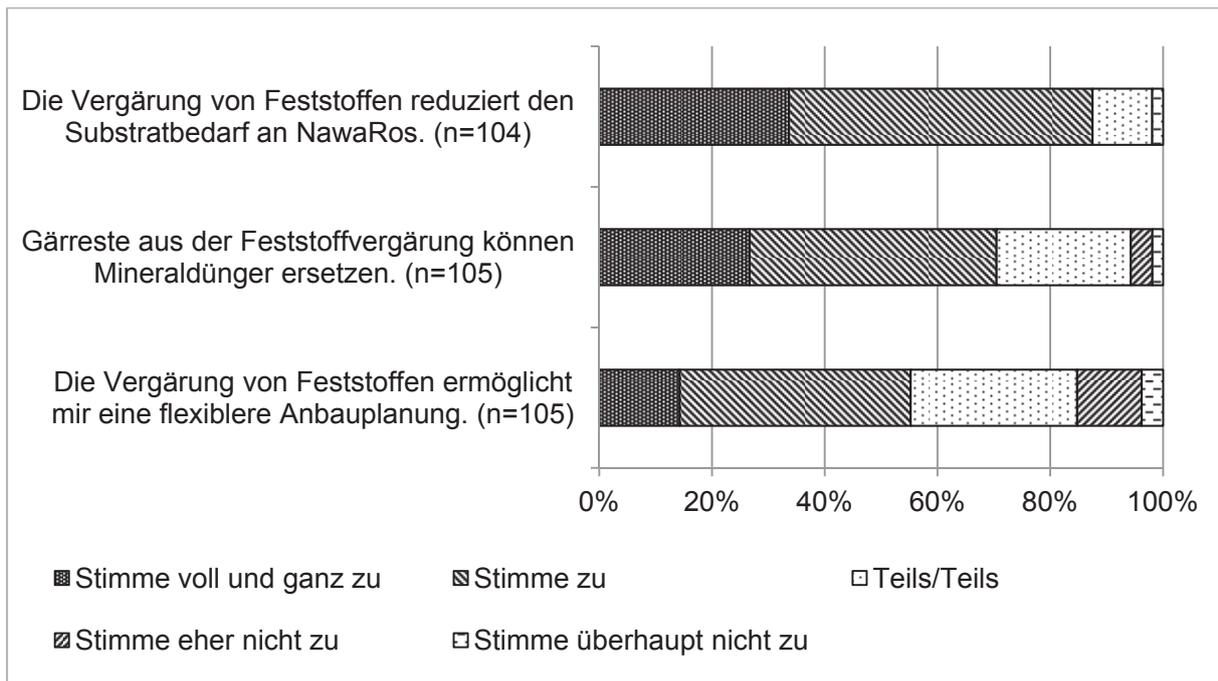
3.2 Wissen als Determinante des Feststoffeinsatzes

Etwa 80 % der durch Biogasanlagen erzeugten Energie stammen aus nachwachsenden Rohstoffen (RENSBERG, 2011). Mais ist derzeit das in Biogasanlagen am meisten eingesetzte Gärsubstrat (FNR, 2014). 76 % der nachwachsenden Rohstoffe, die bei der Biogasproduktion eingesetzt werden, sind Maissilage; auf Getreideganzpflanzen- sowie Grassilage entfallen etwa 18 % (RENSBERG, 2011). Obwohl die entsprechende Forschung stetig vorangetrieben wird, wird nach den vorliegenden Informationen zum Substrateinsatz Maissilage bislang nur selten durch Feststoffe substituiert. Eine der empirischen Erhebung zugrunde liegende Vermutung war, dass sich bisher nur wenige Anlagenbetreiber mit dieser Alternative auseinandergesetzt haben und somit auch nur über wenig Wissen darüber verfügen. Die Befragungsergebnisse können dies jedoch nicht bestätigen.

Entgegen der Erwartungen schätzen rund 50 % der Befragungsteilnehmer ihr Wissen über die Güllefeststoffvergärung als gut bis sehr gut ein. Etwa 40 % meinen, ihr Wissensstand sei als mittelmäßig zu bewerten; nur 11 % bewerten ihn als (sehr) schlecht. Wichtige Informationsquellen sind Bücher und Fachzeitschriften (65 %), das Internet (56 %) sowie Beratungsgespräche (55 %) und Vortragsveranstaltungen (51 %). Das nach eigener Einschätzung überwiegend gute bis sehr gute Wissen der Probanden zeigt sich auch bei der Beantwortung weiterer Fragen. Rund 88 % der Teilnehmer stimmen der Aussage zu, dass durch die Vergärung von Feststoffen der Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen reduziert werden kann. Große Zustimmung besteht auch bei dem Statement, dass Gärreste aus der Feststoffvergärung Mineraldünger substituieren können. Unsicherheit besteht in Bezug auf die Aussage, dass die Vergärung von Feststoffen den Anlagenbetreibern eine flexiblere Anbauplanung ermöglicht (Abbildung 3).



Abbildung 3: Effekte der Feststoffvergärung



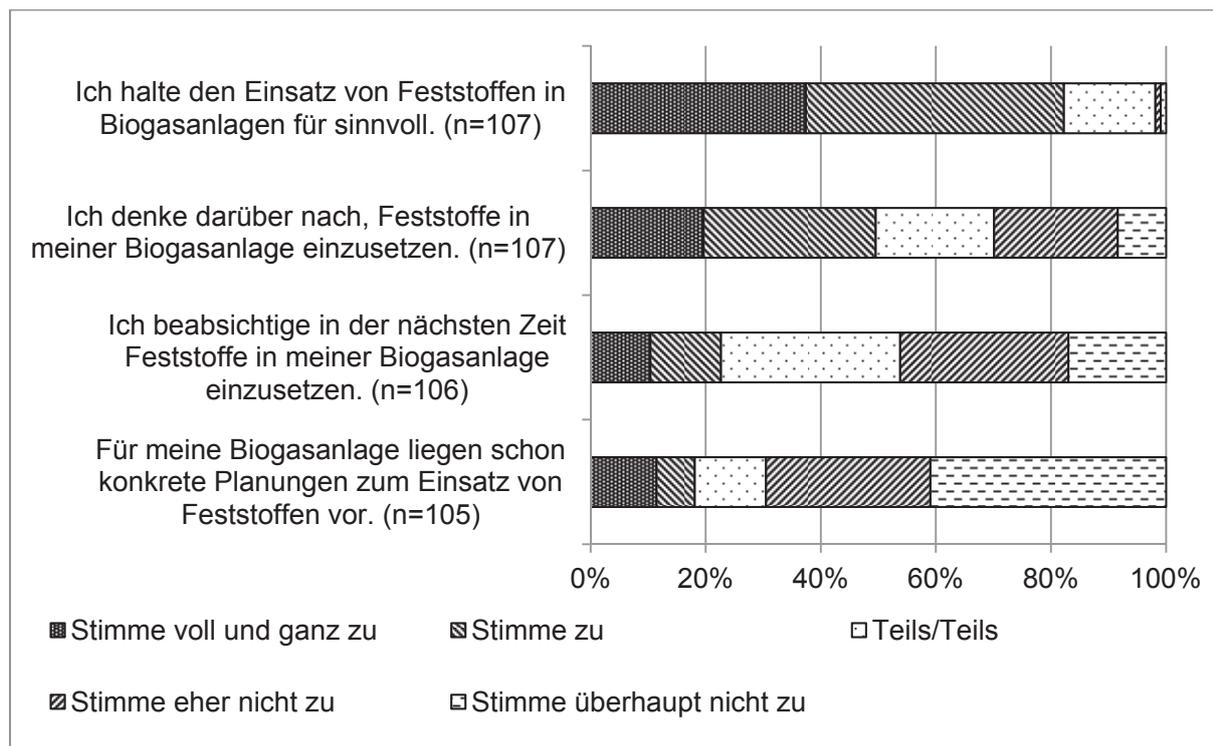
Quelle: Eigene Berechnungen (2014)

3.3 Nutzungsabsicht von Güllefeststoffen

Etwa 82 % der Probanden halten die Vergärung von Güllefeststoffen für sinnvoll. Obwohl den Feststoffen aktuell nur eine geringe Bedeutung als Gärsubstrat bei gemessen wird, denken doch bereits 48 % der Probanden über den Einsatz von Feststoffen in der eigenen Biogasanlage nach. 23 % der befragten Biogasanlagenbetreiber haben die Absicht, in nächster Zeit Feststoffe in ihrer Biogasanlage einzusetzen. Konkrete Pläne liegen bei rund 18 % der Befragten vor (Abbildung 4).



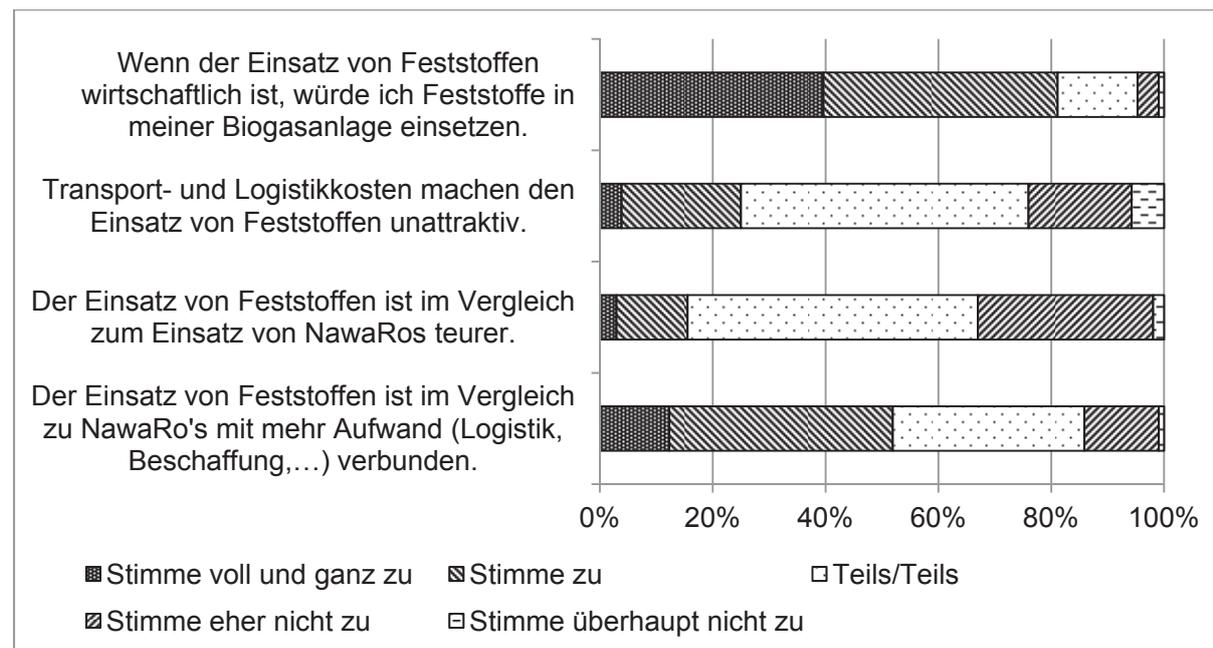
Abbildung 4: Nutzungsabsicht von Güllefeststoffen



Quelle: Eigene Berechnungen (2014)

Wichtige Einflussfaktoren auf die Nutzungsabsicht sind die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens sowie der zusätzliche Aufwand, der mit dem Einsatz von Feststoffen verbunden ist (vgl. Abbildung 5). Unsicherheit herrscht bei den Teilnehmern bezüglich der Relevanz der Transport- und Logistikkosten.

Abbildung 5: Wahrgenommene Hemmnisse

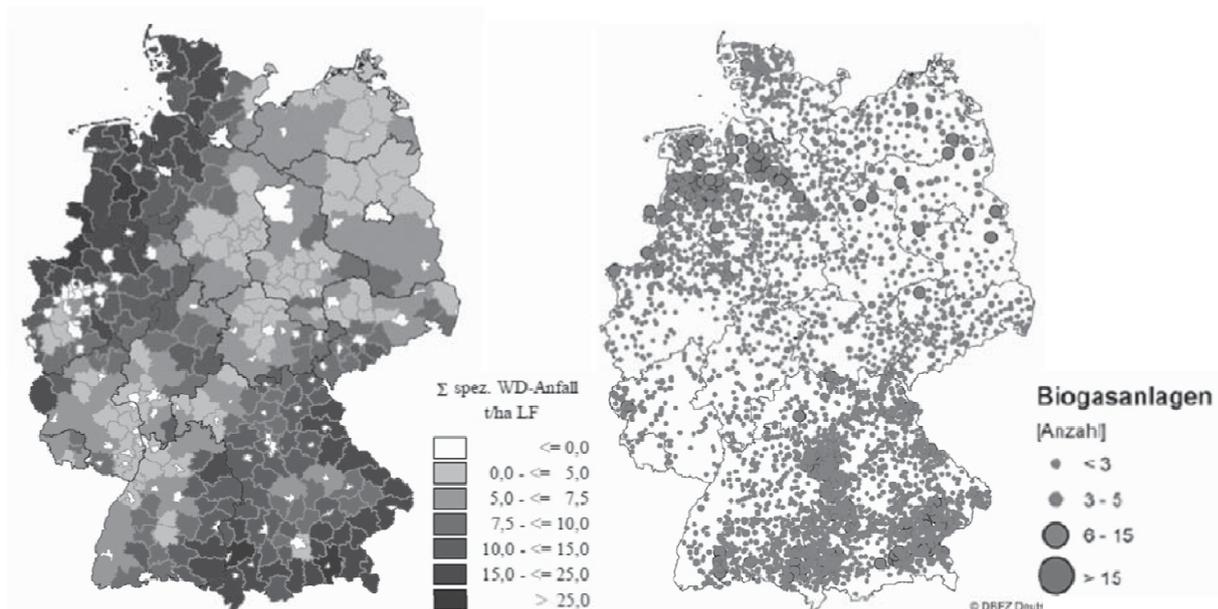


Quelle: Eigene Berechnungen (2014)

4 Potenziale des Feststoffeinsatzes

In Deutschland fallen jährlich große Mengen Wirtschaftsdünger an; allein in Niedersachsen fallen 7 Mio. t Festmist und rund 40 Mio. t Gülle pro Jahr an (JANSEN-MINßEN, 2012). Wie aus der Abbildung 6 zu erkennen ist, ist der Wirtschaftsdüngeranfall vor allem im nordwestlichen Niedersachsen sowie im südlichen Teil Bayerns überdurchschnittlich hoch. Insbesondere in den viehrefeichen Regionen in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen stoßen daher immer mehr landwirtschaftliche Betriebe an die Stickstoffobergrenze von 170 kg N/ha (§ 4 DüV) (WÜSTHOLZ, 2014). Die Landkreise Vechta und Cloppenburg sind die Regionen, in denen die N-Obergrenze regional nicht eingehalten wird und somit ein Nährstoffüberschussproblem besteht. Hinzu kommen die Landkreise Emsland, Grafschaft Bentheim, Osnabrück und Oldenburg, in denen der Phosphorsaldo die gesetzliche Jahreshöchstmenge überschreitet (JANSEN-MINßEN, 2014). Aufgrund der Förderungen durch den Güllebonus im EEG 2009 ist in den Regionen mit einem hohen Wirtschaftsdüngeranfall häufig auch eine hohe Biogasanlagendichte zu finden (Abbildung 6).

Abbildung 6: Regionaler Wirtschaftsdüngeranfall und Verteilung der Biogasanlagen in Deutschland



Quelle: DE WITTE (2012), DBFZ (2013)

Vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussionen um die Novellierung der Düngeverordnung und der damit verbundenen Anrechnung von Nährstoffen aus Gärresten aus Biogasanlagen auf die N-Ausbringungsobergrenze ist zu erwarten, dass es in zahlreichen Landkreisen zu einer weiteren Verschärfung der Nährstoffdebatte



kommen wird; hiervon werden dann auch Landkreise in weiteren Regionen, etwa Schleswig-Holstein, betroffen sein (WÜSTHOLZ, 2014).

4.1 Regionale Effekte am Beispiel der Region Weser-Ems

Im Folgenden wird exemplarisch die Region Weser-Ems betrachtet und es werden mögliche Effekte erläutert, die sich als Folge der Separation von 50 % der anfallenden Rindergülle in der Region ergeben können. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem Nährstoff Stickstoff. Die Region Weser-Ems zählt aufgrund der hohen Vieh- und Biogasanlagendichte zu den Regionen mit den bundesweit höchsten Nährstoffüberschüssen. Aus dem Nährstoffbericht der LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2013) geht hervor, dass dort im Wirtschaftsjahr 2012/13 rund 13,11 Mio. t Rindergülle angefallen sind. Dies entspricht einem Anfall von rund 77,82 Mio. kg N (anrechenbar 46,69 Mio. kg) und 31,84 Mio. kg P₂O₅. Angenommen wird, dass 50 % der anfallenden Rindergülle, d.h. 6,56 Mio. t, separiert werden. Die Separation erfolgt mittels eines Pressschneckenseparators. Die erzielbaren Abscheidegrade sind in der Tabelle 1 dargestellt. Legt man diese Werte zugrunde, so ergeben sich nach der Separation rund 1,18 Mio. t Feststoffe sowie etwa 5,38 Mio. t Dünngülle. In den Feststoffen sind ca. 5,60 Mio. kg N sowie 3,50 Mio. kg P₂O₅ enthalten (Tabelle 2).

Tabelle 1: Abscheidegrade Pressschneckenseparator

	Feststoffe	Dünngülle
Masse	18 %	82 %
N	24 %	76 %
P ₂ O ₅	22 %	78 %

Quelle: Eigene Berechnungen (2014)

Tabelle 2: Rindergülle- und Nährstoffanfall in der Region Weser-Ems (50 % Separation)

	t	kg N (kg N/t)	kg N _{anrech.} (kg N _{anrech.} /t)	kg P ₂ O ₅ (kg P ₂ O ₅ /t)
Rindergülle	6.555.205	38.909.897 (5,94)	23.345.938 (3,56)	15.920.192 (2,43)
Feststoffe	1.179.937	9.338.375 (7,91)	5.603.025 (4,75)	3.502.442 (2,97)
Dünngülle	5.375.268	29.571.522 (5,50)	17.742.913 (3,30)	12.417.750 (2,31)

Quelle: Eigene Berechnungen (2014)

Wird unterstellt, dass die Feststoffe die Region Weser-Ems verlassen und in eine Nährstoffbedarfsregion transportiert werden, können sich für den Landkreis folgende



Effekte ergeben: Wird die gesetzliche Stickstoffobergrenze (§ 4 DüV) von 170 kg N/ha berücksichtigt, ergibt sich nach dem Export der Feststoffe eine freiwerdende Fläche von rund 33.000 ha. Dies entspricht rund 5,4 % der gesamten Ackerfläche in der Region. Bei einem Stickstoffanfall von 118 kg N/Kuh und Jahr (Annahme: Ackerfutterkuh, 8.000 kg Milch/Jahr (§ 4 DüV)) entspricht dies dem Stickstoffanfall von rund 79.100 Milchkühen. Dies sind rund 22 % des Milchviehbestandes in der Region. Wird unterstellt, dass die Feststoffe in einer Biogasanlage in der Region eingesetzt werden, könnte der Einsatz von Mais in der Region reduziert und somit Maisanbaufläche eingespart werden. Unter der Annahme von Methanerträgen für die Rohgülle von 14 I_N/kg FM, für die Feststoffe von 30 I_N/kg FM und für die Maissilage von 112 I_N/kg FM ergibt sich, dass 0,5 t Feststoffe eine Tonne Rohgülle substituieren. Eine Tonne Maissilage kann durch 3,7 t Feststoffe ersetzt werden. Insgesamt können durch die ca. 1,2 Mio. t Feststoffe somit etwa 318.900 t Maissilage substituiert werden. Bei einem Maisertrag von 50 t FM Maissilage/ha (KTBL, 2012) könnte die Maisanbaufläche demnach um rund 6.380 ha verringert werden. Dies entspräche 2,2 % der Maisanbaufläche in der Region Weser-Ems.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass, wie die Betrachtung des Beispiels der Weser-Ems-Region gezeigt hat, das Verfahren der Gülleseparation, des Feststoffexports und der Feststoffvergärung bei einem Großteil der Betriebe angewendet werden muss, damit regional spürbare Effekte mit Blick auf die Reduzierung des Nährstoffüberschusses erzielt werden können.

4.2 Einzelbetriebliche Effekte

Auch wenn das Verfahren regional nur begrenzte Verbesserungen im Hinblick auf die Nährstoffproblematik erzielen kann, sind auf einzelnen Betrieben größere Effekte nicht auszuschließen. Im Folgenden werden daher am Beispiel eines Milchviehbetriebs und einer mit ihm kooperierenden Biogasanlage mögliche einzelbetriebliche Effekte erläutert.

4.2.1 Milchviehbetrieb

Nachfolgend werden die Effekte für einen Beispiel-Milchviehbetrieb in Niedersachsen dargestellt, der aufgrund des Wegfalls der Derogation, d.h. der Ausnahme von der N-Obergrenze für intensiv genutztes Grünland, zu Beginn des Jahres 2014 ein Nährstoffüberschussproblem hat. Mit Auslaufen der Derogationsregelung können auf den 60 ha Grünland des Betriebs nur noch 170 kg N anstatt 230 kg N pro ha ausgebracht



werden. Für den Betrieb ergibt sich somit rechnerisch ein Überschuss von rund 3.600 kg N pro Jahr.

Basierend auf den in Kapitel 4.1 vorgestellten Ergebnissen werden für die Rindergülle Nährstoffgehalte von 5,9 kg N/t Rohgülle und 2,4 kg P₂O₅/t Rohgülle unterstellt. Die Feststoffe haben demnach einen Nährstoffgehalt von 7,9 kg N/t und 3,0 kg P₂O₅/t. Der Nährstoffüberschuss von 3.600 kg N entspricht einer Rohgüllemenge von 607 t bzw. einer Feststoffmenge von 455 t. Um diese Menge an Feststoffen zu erzeugen, müssen rund 2.527 t Rindergülle separiert werden.

Die Separation der Gülle kostet in Lohnarbeit 2 €/t Rohgülle. In der Summe ergeben sich somit jährliche Separationskosten in Höhe von 5.054 € (11,1 €/t Feststoffe; 1,4 €/kg N_{exp.}). Die Dünggülle verbleibt zu Düngezwecken auf dem Betrieb. Unter der Annahme, dass das intensiv genutzte Grünland mehr als 170 kg N/ha braucht, um die bisher erzielten Erträge auf weiterhin erzielen zu können führt die Abgabe der Nährstoffe dazu, dass diese durch Mineraldünger substituiert werden müssen.

Zur Berechnung der Mineraldüngerersatzkosten wird die Menge der exportierten Nährstoffe (3.600 kg N; 1.350 kg P₂O₅) mit deren Reinnährstoffpreisen bewertet; angenommen werden 0,9 €/kg N und 0,8 €/kg P₂O₅. Insgesamt fallen Mineraldüngerersatzkosten in Höhe von 4.356 €/Jahr (9,6 €/t Feststoffe; 1,2 €/kg N_{exp.})³ an. Wie in der Tabelle 3 ersichtlich wird, ergeben sich unter Berücksichtigung sowohl der Kosten der Gülleseparation als auch der Mineraldüngerersatzkosten zusätzliche Kosten in Höhe von 9.410 €/Jahr (20,7 €/t Feststoffe; 2,6 €/kg N_{exp.}).

Tabelle 3: Kosten der Gülleseparation mit Export der Nährstoffe

	Separation	
Kosten der Maßnahme	€/Jahr	-5.054
	€/t Feststoffe	-11,1
	€/kg N	-1,4
Mineraldüngerersatzkosten	€/Jahr	-4.356
	€/t Feststoffe	-9,6
	€/kg N	-1,2
Gesamt	€/Jahr	-9.410
	€/t Feststoffe	-20,7
	€/kg N	-2,6

Quelle: Eigene Berechnungen (2014)

³ Bei N_{exp.} wird die Menge von 3.600 kg N unterstellt.



4.2.2 Biogasanlage

Durch die Aufnahme von Güllefeststoffen ergeben sich auch für eine Biogasanlage neue Potenziale. Im Folgenden wird daher das Beispiel einer 500 kW_{el} Biogasanlage betrachtet (nach BRAUCKMANN und BROLL, 2013). Die Biogasanlage ist annahmegergemäß eine Trockenfermentationsanlage, die bislang nur Maissilage vergärt. Die tägliche Einsatzmenge beträgt 27 t Maissilage, d.h. pro Jahr werden 9.855 t Maissilage vergoren. Bei einem TS-Gehalt von 33 % und einem oTS-Gehalt von 95 % der Maissilage ergibt sich eine Raumbelastung von 3,31 kg oTS/m³ effektives Nutzvolumen pro Tag. Bei einem Fermentervolumen von 2.560 m³ beträgt die mittlere hydraulische Verweilzeit rund 95 Tage. Bei einer Lagerdauer von 9 Monaten und einem Fugatfaktor von 0,76 muss das Gärrestlager ein Volumen von 5.540 m³ haben. Durch die Aufnahme der Güllefeststoffe ergibt sich für die Biogasanlage noch die Möglichkeit, nachträglich den Güllebonus zu aktivieren, sofern sie nach dem EEG 2009 vergütet wird (LOIBL, 2014). Voraussetzung ist, dass der Gülleanteil mindestens 30 % der täglichen Substratmenge ausmacht. Angenommen wird, dass eine Tonne Maissilage (TS=35 %) durch 3,7 t Feststoffe aus der Rindergülle (TS=25 %) substituiert werden kann. Bei einem Anteil von mindestens 30 % Güllefeststoffen am gesamten Substratinput setzt sich die tägliche Substratmenge aus 24 t Maissilage und 12 t Feststoffen zusammen (8.760 t Maissilage/Jahr und 4.380 t Feststoffe/Jahr). Die tägliche Raumbelastung beträgt 3,92 kg oTS/m³ effektives Nutzvolumen. Die mittlere hydraulische Verweilzeit sinkt auf rund 71 Tage. Das benötigte Volumen des Gärrestlagers erhöht sich auf 8.035 m³.

Zusammengefasst bedeutet dies, dass durch den Einsatz von Feststoffen aus der Rindergülleseparation täglich 3,0 t Maissilage eingespart werden können. Die Raumbelastung erhöht sich um 0,61 kg oTS/m³ effektives Nutzvolumen pro Tag, die mittlere hydraulische Verweilzeit verringert sich um 24 Tage und das benötigte Volumen für das Gärrestlager steigt an (+ 2.495 m³). Für die Biogasanlage ergeben sich somit zusätzliche Kosten für die Erweiterung des Gärrestlagers. Nach Angaben des KTBL liegen die Kosten⁴ für eine Erweiterung des Gärrestlagers bei etwa 55 €/m³. Insgesamt ergeben sich damit Kosten für den zusätzlichen Lagerraum in Höhe von 137.225 €. Für bauliche Anlagen erfolgt die Abschreibung auf 20 Jahre. Bei einem kalkulatorischen Zinssatz von 6 % und einem durchschnittlich gebundenen Kapital von 50 % der Investition liegen die jährlichen zusätzlichen Kosten, die sich aus der Erwei-

⁴ Gärrestlager für stapelbare Gärreste; dreiseitig umwandet; Stapelhöhe 2 m.



terung des Gärrestlagers ergeben, bei etwa 10.987 €/Jahr (2,5 €/t Feststoffe; 0,3 €/kg N)⁵.

Durch den Einsatz von Güllefeststoffen können jährlich etwa 1.095 t Maissilage eingespart werden. Bei einem Ertrag von 50 t/ha und Jahr bedeutet dies, dass 22 ha weniger für den Maisanbau benötigt werden. Bei einem Pachtpreis von 445 €/ha Ackerland würden sich die Ausgaben für Pachtgeld um 9.746 €/Jahr (2,2 €/t Feststoffe; 0,3 €/kg N) reduzieren. Durch die Feststoffvergärung ergibt sich eine erhöhte Nährstoffkonzentration in den Gärresten. Der Biogasanlage stehen nach der Umstellung jährlich rund 29.400 kg N und 9.900 kg P₂O₅ mehr zur Verfügung, wodurch der Bedarf an Mineraldüngern gesenkt wird. Wird der zusätzliche Nährstoffanfall mit den bereits genannten Reinnährstoffpreisen bewertet, errechnet sich ein Einsparpotential von rund 34.675 €/Jahr (7,9 €/t Feststoff; 1,0 €/kg N). Insgesamt ergibt sich ein zusätzliche Einnahmen in Höhe von 33.478 €/Jahr (7,6 €/t FS; 1,0 €/kg N), da die jährlichen Betriebskosten um diesen Betrag gesenkt werden.

Tabelle 4: Monetäre Effekte der Feststoffvergärung

		Separation
Erweiterung des Gärrestlagers	€/Jahr	-10.987
	€/t Feststoffe	-2,5
	€/kg N	-0,3
Flächeneinsparung	€/Jahr	9.746
	€/t Feststoffe	2,2
	€/kg N	0,3
Mineraldüngereinsparung	€/Jahr	34.675
	€/t Feststoffe	7,9
	€/kg N	1,0
Gesamt	€/Jahr	33.478
	€/t Feststoffe	7,6
	€/kg N	1,0

Quelle: Eigene Darstellung (2014)

4.2.3 Kooperation zwischen Milchviehbetrieb und Biogasanlage

Ökonomische Betrachtung

Wird eine Kooperation zwischen den betrachteten Beispielbetrieben angestrebt, sind die gesenkten Kosten seitens der Biogasanlage als Zahlungsbereitschaft für Fest-

⁵ Kg N berechnet mittels der Menge N, die die Biogasanlage durch die Feststoffaufnahme aufnimmt (ca. 34.660 kg/a).



stoffe zu interpretieren. Der Milchviehbetrieb hat somit die Möglichkeit, nach der Separation die Feststoffe an die Biogasanlage abzugeben und von dieser bis zu 7,6 €/t Feststoffe zu erhalten. Dieser Erlös steht den Kosten, die dem Milchviehbetrieb durch die Separation entstehen, gegenüber (20,7 €/t Feststoffe). In der Summe reduzieren sich für den Milchviehbetrieb durch die Abgabe der Feststoffe an eine Biogasanlage die Kosten auf 13,0 €/t Feststoffe (1,7 €/kg N), sofern die maximale Zahlungsbereitschaft des Anlagenbetreibers mobilisiert werden kann.

Zur Interpretation dieses Ergebnisses ist es notwendig, die Separation mit anschließender Abgabe von Feststoffen mit anderen Verfahren zur Reduzierung des Nährstoffüberschusses zu vergleichen. Aufgrund der fehlenden unmittelbaren Vergleichbarkeit von Feststoffen und Rohgülle werden im Folgenden die Kosten in Bezug zum Jahr und zum kg Stickstoff gesetzt.

Eine Alternative zur Separation und Abgabe von Feststoffen ist die Neupachtung von Flächen. Unter Berücksichtigung der gesetzlichen Stickstoffobergrenze von 170 kg N/ha (§ 4 Absatz 3 DüV) werden zum Abbau des Nährstoffüberschusses in Höhe von 3.600 kg N werden rund 21 ha benötigt. Bei einem Pachtpreis von 445 €/ha fallen Kosten in Höhe von 9.423 €/Jahr (2,6 €/kg N) an. Zusätzlich muss davon ausgegangen werden, dass Mineraldünger zugekauft werden muss, um die fehlenden Nährstoffe auf den bisher zum Betrieb gehörenden Flächen auszugleichen. Daher müssen die zusätzlichen Kosten für Mineraldünger in Höhe von 4.454 €/Jahr (1,2 €/kg N) noch mit einkalkuliert werden. Insgesamt ergeben sich somit Kosten in Höhe von 13.878 €/Jahr (3,9 €/kg N) für diese Maßnahme.

Eine weitere Alternative ist die Abgabe der überschüssigen Nährstoffe über die Güllerbörse. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Preise an der Güllerbörse stark schwanken (10,00-15,00 €/t Rohgülle) in Abhängigkeit von der Menge, der Region und des Zeitpunktes im Jahr. Bei einem Abgabepreis von 15 €/t Rohgülle erheben sich zusätzliche Kosten in Höhe von ca. 9.097 €/Jahr (2,5 €/kg N). Auch in diesem Fall müssen die in der Rohgülle enthaltenen Nährstoffe durch Mineraldünger ersetzt werden. Daher fallen nochmal zusätzliche Kosten in Höhe von 4.454 €/Jahr (1,2 €/kg N) an. In der Summe betragen die Kosten 13.551 €/Jahr (3,8 €/kg N).

In der Tabelle 5 sind die drei Alternativen zur Reduzierung des Nährstoffüberschusses des Beispiel-Milchviehbetriebs zusammenfassend dargestellt. Unter den getroff-



enen Annahmen stellt die Gülleseparation das kostengünstigste Verfahren dar. Hierbei gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass für den Transport vom Milchviehbetrieb zur Biogasanlage noch keine Kosten mit einkalkuliert wurden. Werden für den Transport einer Tonne Feststoffe Kosten von 0,3 €/km angesetzt, beträgt die maximale Transportentfernung, bis die Kosten des Exports der Feststoffe gleich den Kosten der Güllebörse sind, 55,7 km. Bis zum Erreichen der Kosten der Flächenneupacht sind es 58,1 km.

Tabelle 5: Kosten der Alternativen im Vergleich

		Separation	Flächenneupacht	Güllebörse
Kosten der	€/Jahr	-5.054	-9.423	-9.097
Maßnahme	€/kg N	-1,4	-2,6	-2,5
Mineraldünger-	€/Jahr	-4.356	-4.454	-4.454
ersatzkosten	€/kg N	-1,2	-1,2	-1,2
Einnahmen	€/Jahr	3.476		
aus dem FS	€/kg N	1,0		
Verkauf				
Gesamt	€/Jahr	-5.933	-13.877	-13.551
	€/kg N	-1,6	-3,9	-3,8

Quelle: Eigene Berechnungen (2014)

Sensitivitätsanalyse

Bei Betrachtung der Entwicklung auf den Agrarmärkten wird deutlich, dass die Preise für Mineraldünger im Zeitablauf schwanken. Ebenso ist auf dem Pachtmarkt seit einigen Jahren ein kontinuierlicher Anstieg der Pachtpreise zu beobachten (EMMANN et al., 2012). Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, die Sensitivität der Ergebnisse in Bezug auf Preisschwankungen zu untersuchen. Im Folgenden wird daher angenommen, dass die Pachtpreise und die Mineraldüngerpreise gegenüber den bisherigen Annahmen um 10 % steigen. Ferner wird betrachtet, welchen Effekt eine 10 %ige Preissteigerung an der Güllebörse hätte. Die Ergebnisse der Szenario-Analyse sind in der Tabelle 6 dargestellt. Eine Steigerung der Pachtpreise hätte zur Folge, dass die Alternative der Flächenneupacht teurer wird und somit an Attraktivität verliert. Die maximale Transportentfernung ändert sich nicht, da die Kosten der Güllebörse immer noch niedriger sind. Steigen die Mineraldüngerpreise, bleibt die Separation den anderen Verfahren überlegen. Bei der maximalen Transportentfernung ist nur ein geringer Effekt festzustellen; sie steigt auf 55,9 km. Ändern sich die Preise an der Güllebörse, ist die Flächenneupacht günstiger als die Abgabe über die



Güllebörsen. Die maximale Transportentfernung steigt auf 58,1 km. Wird unterstellt, dass eine Transportentfernung von 100 km überwunden werden soll, müsste der Pachtpreis auf rund 851 €/ha ansteigen, damit die Separation mit Feststoffvergärung günstiger ist als die Neupachtung von Fläche. Der Preis an der Güllebörse müsste auf ca. 29,0 €/t steigen.

Tabelle 6: Ergebnisse Szenario-Analyse

		Separation	Flächenneupacht	Güllebörsen
Anstieg der Pacht- preise +10%	€/Jahr	-5.933	-14.820	-13.551
	€/kg N	-1,7	-4,1	-3,8
Steigerung Mineral- düngerpreise +10%	€/Jahr	-6.369	-14.323	-13.997
	€/kg N	-1,8	-4,0	-3,9
Steigerung Güllebörsen +10%	€/Jahr	-5.933	-13.877	-14.461
	€/kg N	-1,7	-3,9	-4,0

Quelle: Eigene Berechnungen (2014)

Einfluss des Güllebonus

Sofern der Feststoffanteil 30 % des gesamten Substratinputs ausmacht, besteht für die Biogasanlage auch nachträglich noch die Möglichkeit, den Güllebonus zu bekommen (LOIBL, 2014). Die ist in dem den Berechnungen zugrunde liegenden Beispiel der Fall. Wird daher nun angenommen, dass mit dem Feststoffeinsatz der Güllebonus an die Biogasanlage ausgezahlt wird, verändert sich die ökonomische Betrachtung abermals. Der Güllebonus ist durch das EEG 2009 eingeführt (und mittlerweile wieder abgeschafft) worden. Für Biogasanlagen bis 150 kWh liegt dieser bei 4,0 ct/kWh, bis 500 kWh bei 1,0 ct/kWh. Die Bemessungsleistung für die Vergütung errechnet sich aus dem Quotienten der erzeugten Strommenge und den Zeitstunden im Kalenderjahr (8.750 Stunden). Die betrachtete Beispielbiogasanlage erzeugt jährlich rund 4,3 Mio. kWh Strom. Die Bemessungsleistung liegt somit bei ca. 490 kW. Für die betrachtete Anlage errechnet sich daraus ein Güllebonus in Höhe von rund 1,9 ct/kWh $((150 \text{ kW} \cdot 4,0 \text{ ct/kW} + (490 \text{ kW} - 150 \text{ kW}) \cdot 1,0 \text{ ct/kW}) / 490 \text{ kW} = 1,92 \text{ ct/kW})$. Der zusätzliche Erlös aus dem Güllebonus beträgt bei einer Stromleistung von jährlich rund 4,3 Mio. kWh etwa 82.211 €/Jahr. Umgerechnet auf die benötigte Menge an Feststoffen beläuft sich dieser auf rund 18,8 €/t Feststoffe. Bei durchschnittlichen Transportkosten pro km von 0,3 €/t Feststoffe entspricht dies eine zusätzlichen Transportentfernung von rund 63 km. Die Nährstoffabgabe über die



Gülleseparation mit anschließender Feststoffvergärung gewinnt somit durch Aktivierung des Güllebonus erheblich an Attraktivität.

5 Diskussion und Fazit

Aus den Analysen der regionalen Effekte für die Weser-Ems-Region ging hervor, dass bei Separation von 50 % der dort anfallenden Rindergülle und anschließenden Export der sich daraus ergebenden Feststoffe rund 33.000 ha weniger zur fachgerechten Ausbringung der anfallenden Stickstoffmengen benötigt würden. Was zunächst recht viel klingt, relativiert sich jedoch, wenn berücksichtigt wird, dass dies lediglich 5,4 % der verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzfläche, auf denen Ackerkulturen angebaut werden, in der Region entspricht. Durch den Export von Feststoffen und den damit einhergehenden geringeren Flächenbedarf könnte der Druck auf den Bodenmarkt sinken. Dies – so die Erwartung – könnte wiederum zu niedrigeren Pachtpreisen führen. Unter Berücksichtigung einer möglichen Flächeneinsparung von lediglich 5,4 % der verfügbaren Ackerfläche ist eine Pachtpreissenkung durch Gülleseparation jedoch in Frage zu stellen. Ebenso geringe Effekte sind aus der möglichen regionalen Reduzierung der Energiemaisanbaufläche von 2,2 % zu erwarten. Die Ergebnisse der hier vorgestellten Analysen lassen daher folgende Schlussfolgerungen zu:

- Damit das Verfahren der Gülleseparation mit Feststoffexport und Feststoffvergärung Effekte auf den Bodenmarkt und somit auch auf die Pachtpreise hat, ist es notwendig, dass das Verfahren eine deutlich größere Akzeptanz findet und die Bereitschaft zur Kooperation zwischen viehhaltenden Betrieben in Nährstoffüberschussregionen und Biogasanlagen in Nährstoffbedarfsregionen steigt. Zugleich müsste die Separation auf weitere Güllemengen ausgedehnt werden, um nennenswerte Wirkungen erzielen zu können. Um dies zu erreichen, ist vor allem die Beratung gefordert. Beispiele für entsprechende Maßnahmen wären eine übersichtliche Bereitstellung von Informationen und Kontaktadressen, Hofvorführungen oder auch die Publikation von Beispielen aus der betrieblichen Praxis.
- Die Effekte des Verfahrens werden im Wesentlichen von der Effizienz und Effektivität der Separatoren beeinflusst. Je höher die Abscheidegrade und je niedriger die Kosten sind, desto vorzüglicher wird die Separation von Gülle. Hier erscheint es sinnvoll, die Forschung und Entwicklung im Bereich der Se-



parationstechnik weiter voranzutreiben. Die einfache und robuste Technik der Pressschneckenseparation muss nach Möglichkeit mit den hohen Abscheidegraden der Zentrifugen und Wendefilter kombiniert werden.

Für viehhaltende Betriebe ist die Abgabe von Nährstoffen über Feststoffe aus der Gülleseparation eine Möglichkeit von vielen, um den betrieblichen Nährstoffüberschuss zu reduzieren. Für die Betriebe ist es daher notwendig, die für sie kostengünstigste Alternative herauszufinden. Drei mögliche und zum Teil gängige Alternativen wurden in der vorliegenden Studie vorgestellt und miteinander verglichen. Wie die Analysen gezeigt haben, ist die Abgabe von Nährstoffen durch Feststoffe nach vorheriger Separation eine interessante Möglichkeit. Die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens hängt jedoch stark von den Kosten der anderen Alternativen ab. Insbesondere die Entwicklungen auf dem Pachtmarkt sind für die wirtschaftliche Vorzüglichkeit der Gülleseparation wichtig. Der Pachtpreisanstieg der vergangenen Jahre begünstigt die Gülleseparation. Von 1991 bis 2010 ließ sich in den alten Bundesländern eine durchschnittliche Pachtpreissteigerung von rund 38,8 % auf 347 €/ha und Jahr beobachten, wobei überdurchschnittlich hohe Pachtpreise in den viehrefeichen Regionen namentlich in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen gezahlt werden (DBV, 2013; EMMANN et al., 2012). Boden wird daher zunehmend knapper und somit zum begrenzenden Produktionsfaktor; aktuelle rechtliche Entwicklungen wie die Novellierung der Düngeverordnung verschärfen diese Entwicklung noch zusätzlich (WÜSTHOLZ, 2014). Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung ist anzunehmen, dass ein Nährstoffabbau durch die Neupachtung von Flächen immer schwieriger werden wird. Es ist daher durchaus denkbar, dass die Separation mit anschließender Feststoffvergärung ein Verfahren ist, das in Zukunft an Bedeutung gewinnen könnte. Dies wäre nicht nur ökonomisch ein Gewinn, sondern auch ökologisch vorteilhaft, wie entsprechende Analysen etwa durch SCHMEHL et al. (2012) zeigen. Wiederrum lässt sich festhalten, dass es notwendig erscheint, die Landwirte vermehrt über das Verfahren und die damit einhergehenden Möglichkeiten aufzuklären. Des Weiteren seitens der Landwirte auch mal über den Tellerrand hinaus zu schauen und die teilweise skeptische Haltung gegenüber neuen Technologien – die im agrarstrukturellen Wandel bedeutender werden – kritisch zu überprüfen.



Literatur

- BÄURLE, H. und TAMÁSY, C. (2012): Regionale Konzentrationen der Nutztierhaltung in Deutschland; ISPA Mitteilungsheft 79, Vechta.
- BRAUCKMANN, H.-J. und BROLL, G. (2013): Biogaserträge der Rindergüllefeststoffe. Vortrag, gehalten beim Praxisforum „Gülleseparation“, 02.07.2013, Rodenkirchen.
- BRAUCKMANN, H.-J., HOTHAN, A. und BROLL, G. (2011): Biogaspotential der festen Güllefraktion; Vortrag im Rahmen des Workshop Gülleseparation am 17.02.2011 in Vechta.
- DBFZ (DEUTSCHES BIOMASSEFORSCHUNGSZENTRUM) (2013): Stromerzeugung aus Biomasse. Zwischenbericht. URL: https://www.dbfz.de/web/fileadmin/user_upload/Referenzen/Berichte/biomasse_monitoring_zwischenbericht_bf.pdf; Abrufdatum: 15.09.2014.
- DBV (DEUTSCHER BAUERNVERBAND E.V.) (HRSG.) (2013): Situationsbericht 2012/13 – Trends und Fakten zur Landwirtschaft.
- DE WITTE, T. (2012): Entwicklung eines betriebswirtschaftlichen Ansatzes zur Ex-ante-Analyse von Agrarstrukturwirkungen der Biogasförderung – angewendet am Beispiel des EEG 2009 in Niedersachsen. Landbauforschung, Sonderheft 366.
- EMMANN, C. H., PLUMEYER, C.-H. und THEUVSEN, L. (2012): Einfluss der Biogasproduktion auf den Landpachtmarkt in Niedersachsen. In: Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie 21(2), S. 139-148.
- FNR (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V.) (2014): Massebezogener Substrateinsatz in Biogasanlagen. Infografik. URL: <http://mediathek.fnr.de/catalog/product/gallery/id/93/image/1019/>; Abrufdatum: 13.05.2014.
- FACHVERBAND BIOGAS E.V. (2013): Branchenzahlen – Prognose 2013/2014. URL: [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/13-11-11_Biogas%20Branchenzahlen_2013-2014.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/13-11-11_Biogas%20Branchenzahlen_2013-2014.pdf); Abrufdatum: 07.05.2014.
- FASTJE, L. (2010): Nährstoffmanagement in landwirtschaftlichen Veredelungsbetrieben – Eine Fallstudie zur Wirtschaftlichkeit der Separation von Schweinegülle unter Berücksichtigung der Feststoffvergärung in einer Biogasanlage. Masterarbeit am Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Georg-August-Universität Göttingen.
- FORSCHUNGSGRUPPE WAHLEN E.V. (2014): Internet-Strukturdaten IV. Quartal 2013. <http://www.bvdw.org/medien/forschungsgruppe-wahlen-internet-strukturdaten-iv-quartal-2013?media=5465>; Abrufdatum: 10.03.2014.
- GUENTHER-LÜBBERS, W., HENKE, S., SCHAPER, C. und THEUVSEN, L. (2014): Der Markt für Bioenergie. In: German Journal of Agricultural Economics 63(1), Supplement, S. 94-111.



- HABERMANN, H. und BREUSTEDT, G. (2011): Einfluss der Biogaserzeugung auf landwirtschaftliche Pachtpreise in Deutschland. In: German Journal of Agricultural Economics 60, S. 85-100.
- JANSEN-MINßEN, F. (2014): Vorstellung und Diskussion des Nährstoffberichtes Niedersachsen. Vortrag im Rahmen der Tagung „Nährstoffmanagement von Wirtschaftsdüngern“ am 03. Juli 2014 in Hannover.
- KOWALEWSKY, H.-H. (2009): Güllefeststoffe in Biogasanlagen einsetzen – Überprüfung der Separierung und Vergärung. Bericht, unveröffentlicht.
- KRÖGER, R. und THEUVSEN, L. (2013): Separation of cattle slurry: Technical solutions and economic aspects. In: Geldermann, J.; Schumann, M. (Hrsg.): First International Conference on Resource Efficiency in Interorganizational Networks – ResEff 2013. Universitätsverlag Göttingen, Göttingen, S. 453-464.
- KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V.) (HRSG.) (2012): Energiepflanzen – Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus. Darmstadt.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2013): Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger in Niedersachsen. Oldenburg.
- LANDWIRTSCHAFTSVERLAG MÜNSTER (Hrsg.) (2013): agrar Mediafacts – Kommunikation mit der Landwirtschaft. Landwirtschaftsverlag, Münster. URL: http://www.lv.de/agrarmediaservice/bilder/agrima_pdf/AgriMA_2013.pdf?catalogId=8026; Abrufdatum: 14.05.2014.
- LASSEN, B., ISERMEYER, F. und FRIEDRICH, C. (2008): Milchproduktion im Übergang – eine Analyse von regionalen Potenzialen und Gestaltungsspielräumen. Arbeitsbericht 09/2008 aus der vTI – Agrarökonomie, Braunschweig.
- LOIBL, H. (2014): Rechtsanwalt, Fachanwalt für Verwaltungsrecht. Experteninterview. Regensburg.
- MEIER, U. (1994): Gülleseparierung – Eine Technik zur Verbesserung der Gülleeigenschaften. FAT-Berichte, Nr. 445, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (Hrsg.), Tänikon/Schweiz.
- MØLLER, H. B., LUND, I. und SOMMER, S.G. (2000): Solid-liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost. In: Bioresource Technology 74, S. 223-229.
- PAIN, B.F., HEPHERD, R.Q. und PITTMAN, R.J. (1978): Factors affecting the performances of four slurry separating machines. Journal of Agricultural Engineering Research 23, S. 231-242.
- RAWERT, K. (1995): Gülleaufbereitungsverfahren – Wirtschaftlichkeit und Auswirkungen auf die regionale Konzentration der Veredelungsproduktion. Peter Lang, Frankfurt am Main.
- REIMANN, W. und POTSDAM, M.S. (1991): Fest-flüssig-trennung anaerob behandelter Gülle. Landtechnik 46, S. 11-91.
- RENSBERG, N. (2011): Historische Entwicklung und Auswirkung der Biogaserzeugung in Deutschland. In: Nachhaltige Biogaserzeugung in Deutschland – Bewertung der Wirkungen des EEG. Leipzig: DBFZ, S. 15-49.



- REXILLUS, R. und RÜPRICH, W. (1989): Feststoffabtrennung aus Flüssigmist. In: Landtechnik 9, S. 331-333.
- SCHMEHL, M., HESSE, M. und GELDERMANN, J. (2012): Ökobilanzielle Bewertung von Biogasanlagen unter Berücksichtigung der niedersächsischen Verhältnisse. Research Paper der Georg-August-Universität Göttingen, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Schwerpunkt Unternehmensführung, Professur für Produktion und Logistik, Nr. 11, Göttingen.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2010): Publikation – Land- & Forstwirtschaft – Statistisches Bundesamt (Destatis) – Arbeitskräfte; URL: <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Landwirtschaftzaehlung/Arbeitskraefte.html>; Abrufdatum: 21.02.2014.
- THEUVSEN, L., PLUMEYER, C.-H. und EMMANN, C. H. (2010): Einfluss der Biogasproduktion auf den Landpachtmarkt in Niedersachsen. Bericht für das Niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung.
- VENNEMANN, H. und THEUVSEN, L. (2004): Landwirte im Internet: Erwartungen und Nutzungsverhalten. In: Schiefer, G.; Wagner, P.; Morgenstern, M.; Rickert, U. (Hrsg.): Referate der 25. GIL-Jahrestagung in Bonn 2004, S. 241-244. URL: https://www.gil.de/dokumente/berichte/DDD/R17_2004_057.pdf; Abrufdatum: 18.02.2014.
- WARNECKE, S., BRONSEMA, H., BIBERACHER, M., BRAUCKMANN, H.-J., BROLL, G. und THEUVSEN, L. (2011): Effizienzsteigerung durch Optimierung von Wirtschaftsdüngertransporten: Möglichkeiten einer modellbasierten Analyse. In: Clasen, M.; Schätzel, O.; Theuvsen, B. (Hrsg.) Qualität und Effizienz durch informationsgestützte Landwirtschaft, Fokus: Moderne Weinwirtschaft. Köllen Verlag, Bonn, S. 173-176.
- WEILAND, P. (2002): Möglichkeiten der Nährstoffabtrennung aus Flüssigmist – Technik und Wirtschaftlichkeit. In: KTBL (Hrsg.): Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm, Gülle und anderen Düngern unter Berücksichtigung des Umwelt- und Verbraucherschutzes, KTBL-Schrift 404. Darmstadt, S. 339-348.
- WÜSTHOLZ, R. F. (2014): Ökologische Erfordernisse und ökonomische Auswirkungen ordnungsrechtlicher Veränderungen bezüglich des Nährstoffeinsatzes in der Landwirtschaft im Kontext der europäischen Nitrat- und Wasserrahmenrichtlinie. Dissertation Universität Hohenheim.
- ZHANG, R.H. und WESTERMAN, P.W. (1997): Solid-liquid separation of animal manure for odor control and nutrient management. Appl.Eng. Agric. 13, S. 657-664.

Anschrift des Kontaktautors

*Rhena Kröger
Georg-August-Universität Göttingen
Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung
Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness
Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen
Tel.: +49 551 39 13868
eMail: rhena.kroeger@agr.uni-goettingen.de*



RECHTLICHE UND ÖKONOMISCHE ASPEKTE DES EINSATZES VON WIRTSCHAFTSDÜNGER IN BIOGASANLAGEN – EINE SZENARIOANALYSE

Welf Guenther-Lübbers, Antonius Diekmann und Ludwig Theuvsen

Zusammenfassung

In den letzten zehn Jahren ist in Deutschland die Biogasproduktion stark ausgebaut worden. Die im Zuge dieser Entwicklung errichteten unterschiedlichen Biogasanlagentypen setzen verschiedene Substrate ein und produzieren entweder elektrische Energie und Wärme oder stellen Biogas zur Aufbereitung auf Erdgasqualität bereit. Zahlreiche Anlagen sind in viehdichten Regionen errichtet worden und nutzen neben nachwachsenden Rohstoffen in erheblichem Umfang Wirtschaftsdünger als Gärsubstrat. In Ackerbauregionen gibt es dagegen zahlreiche Biogasanlagen, die nur oder vornehmlich nachwachsende Rohstoffe einsetzen. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Nährstoffüberschüsse in viehstarken Regionen wird daher verstärkt darüber nachgedacht, den überschüssigen Wirtschaftsdünger in bestehenden Biogasanlagen in Ackerbauregionen energetisch zu nutzen und die Gärreste anschließend zur Düngung auszubringen. Vor diesem Hintergrund werden in diesem Beitrag in einem ersten Schritt die bei der Realisierung eines solchen Konzepts zu beachtenden rechtlichen Rahmenbedingungen skizziert. Sodann wird eine ökonomische Betrachtung des Wirtschaftsdüngereinsatzes in einer exemplarisch betrachteten Biogasanlage, die bislang keine Wirtschaftsdünger eingesetzt hat, vorgenommen. Die Ergebnisse zeigen, dass das Konzept grundsätzlich wirtschaftlich tragfähig ist, dass jedoch umfangreiche rechtliche Regelungen zu beachten sind und es zwischen den verschiedenen Wirtschaftsdüngern deutliche Unterschiede hinsichtlich ihrer Vorzüglichkeit gibt.

Keywords

Biogasanlage, Wirtschaftsdünger, Investitionen, Leistungs-Kostenrechnung, Rechtsrahmen

1 Einleitung

Zum Ende des Jahres 2013 waren deutschlandweit insgesamt 7.850 Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von 3.543 MW_{el} installiert (FvB, 2014). Die Vergütung der produzierten Kilowattstunde Strom oder des Normkubikmeters Biomethan richtet sich zum einen nach den eingesetzten Substraten und zum anderen nach der zum Zeit-



punkt der Inbetriebnahme gültigen Version des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG). Entsprechend der Verfügbarkeit der verschiedenen Substrate (bspw. nachwachsende Rohstoffe, Wirtschaftsdünger oder Abfälle) sind in Deutschland unterschiedliche Biogasanlagen errichtet worden. Den weitaus größeren Teil machen Anlagen aus, die entweder ausschließlich nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) oder nachwachsende Rohstoffe kombiniert mit Wirtschaftsdüngern (WD) einsetzen. Ein deutlich geringerer Teil nutzt Speisereste oder Abfallstoffe im Vergärungsprozess (WILKEN, 2014). Von der Wahl des eingesetzten Rohstoffes hängen die rechtlichen Bestimmungen (a) beim Bau der Biogasanlage, (b) bei der Anlieferung und Lagerung der unterschiedlichen Inputstoffe sowie (c) bei der Verbringung und der Verwendung der Gärsubstrate ab.

Während in Regionen mit nennenswerter Tierproduktion regelmäßig Wirtschaftsdünger, z.B. Gülle oder Hühnertrockenkot (HTK), in Biogasanlagen eingesetzt werden, ist dies in Ackerbauregionen in deutlich geringerem Umfang der Fall. Hier gibt es in größerer Anzahl Biogasanlagen, die ausschließlich oder ganz überwiegend nachwachsende Rohstoffe, vor allem Energiemais, als Gärsubstrat nutzen (KOMPETENZ-ZENTRUM 3N, nn). In Ackerbauregionen sind daher noch erhebliche Potenziale für den Einsatz von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen zu erkennen. Die Nutzung von Wirtschaftsdüngern aus viehdichten Regionen in Biogasanlagen in Ackerbauregionen stellt eine bislang nur in Ansätzen genutzte Option dar (KRÖGER et al., 2014), die jedoch sowohl aus Sicht der tierhaltenden Betriebe als auch der Biogasanlagenbetreiber eine interessante Option darstellt.

Regionen mit hoher Viehdichte wie die Weser-Ems-Region sind regelmäßig durch erhebliche Nährstoffüberschüsse gekennzeichnet (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2013). Die Nährstoffsituation vieler landwirtschaftlicher Betriebe wird sich durch anstehende Änderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen, namentlich die Novellierung der Düngeverordnung, nochmals deutlich verschärfen (WÜSTHOLZ, 2014). Die bereits in der Vergangenheit praktizierte, aber u.a. durch die entstehenden Transportkosten stark limitierte (KOWALEWSKY, 2014) Nährstoffverbringung aus Veredelungszentren in Ackerbauregionen muss daher zukünftig noch intensiviert werden. Dies droht die Wirtschaftlichkeit der tierhaltenden Betriebe erheblich zu belasten (WÜSTHOLZ, 2014). Die Transportwürdigkeit der tierischen Exkrememente kann jedoch durch eine Doppelnutzung – zunächst in Form einer energetischen Nutzung in einer Biogasanlage und



im Anschluss als hochwertiges Mineraldüngersubstitut auf landwirtschaftlichen Nutzflächen – erhöht werden. Diese Doppelnutzung kann unter Umständen zu einer Reduzierung der Verbringungskosten, die die tierhaltenden Betriebe zu tragen haben, führen.

Auch aus Sicht einer Biogasanlage in einer Ackerbauregion kann der Wirtschaftsdüngereinsatz eine interessante Alternative darstellen. So wirkt sich die Kovergärung von z.B. Gülle und nachwachsenden Rohstoffen u.a. positiv auf den Fermentationsprozess aus (bspw. AMON, 2003). Darüber hinaus kann möglicherweise noch der Güllebonus nach dem EEG 2009 aktiviert werden. Schließlich trägt der Einsatz von Wirtschaftsdüngern dazu bei, den Flächenbedarf der Anlagen zu reduzieren. Dies ist bei hohen Agrarpreisen wirtschaftlich interessant, wirkt aber auch der zunehmend kritischen, u.a. unter dem Schlagwort „Tank oder Teller“ geführten öffentlichen Diskussion (ZSCHACHE et al., 2010; HENKE, 2014) entgegen.

Der erstmalige Einsatz von Wirtschaftsdüngern in einer Biogasanlage, welche zuvor allein auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen konzipiert und betrieben worden ist, erfordert meist eine Erweiterung und einen Umbau der gesamten Anlage. Eine solche technische Änderung an einer bestehenden Biogasanlage ist zum einen genehmigungsrechtlich bedeutsam und erfordert daher eine rechtliche Beurteilung. Zum anderen sind mit dem Einsatz anderer Inputstoffe auch wirtschaftliche Auswirkungen verbunden. Diese resultieren aus den in aller Regel notwendigen Investitionen, aber auch der veränderten Einnahmen- und Ausgabesituation der Anlage, die sich aus möglichen Veränderungen bei den EEG-Vergütungssätzen sowie den Mehr- bzw. Minderkosten für Substrate, Betriebsstoffe, Eigenstromverbrauch etc. ergeben können (KTBL, 2013).

Vor dem beschriebenen Hintergrund ist es das Ziel dieses Beitrags, den Einsatz von Wirtschaftsdüngern in einer bestehenden, bislang ausschließlich mit nachwachsenden Rohstoffen betriebenen Biogasanlage umfassend unter rechtlichen und ökonomischen Aspekten zu beleuchten. Neben den zu beachtenden rechtlichen Rahmenbedingungen des Einsatzes von tierischen Exkrementen in Biogasanlagen werden insbesondere die sich aus den notwendigen Investitionen sowie den Veränderungen der laufenden Aufwendungen und Erträge ergebenden wirtschaftlichen Auswirkungen betrachtet. Mittels einer Szenarioanalyse werden dabei unterschiedliche Formen des Wirtschaftsdüngereinsatzes berücksichtigt.



2 Methodik und Datengrundlage

Die Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen stützt sich auf eine umfangreiche Sichtung der einschlägigen Rechtsquellen, die beim Bau bzw. bei Veränderungen der Biogasanlage, bei der Anlieferung und Lagerung der Substrate sowie bei der Verbringung und dem Einsatz der Gärsubstrate zu beachten sind. Die ökonomische Betrachtung erfolgt dagegen mit Hilfe einer Leistungs-Kostenrechnung (LKR). Sie dient der Ermittlung des jährlichen Betriebserfolges einer Biogasanlage aus der Differenz von Leistungen und Kosten des Anlagenbetriebs. Dabei können in die Erfolgsermittlung ggf. auch kalkulatorische Kosten, namentlich für eigene Produktionsfaktoren, mit einbezogen werden (DABBERT und BRAUN, 2012). Die LKR kann als Planinstrument fungieren und die Grundlage für zukünftige Entscheidungen bilden (MUßHOFF und HIRSCHAUER, 2011).

Den Berechnungen liegt die Betrachtung einer Beispiel-Biogasanlage auf NawaRo-Basis zugrunde (vgl. zu Einzelheiten Kapitel 4). Die Datengrundlage bilden zum einen ausgewählte KTBL-Daten zum Bau und Betrieb von Biogasanlagen und zum anderen Werte, die im Wege der Durchführung von Experteninterviews ermittelt wurden. Die einbezogenen Experten umfassen sowohl Biogasanlagenbetreiber und -komponentenhersteller als auch Bau- und Generalunternehmen von Biogasanlagen. Diese wurden mittels eines Telefoninterviews zu den entsprechenden Sachverhalten, die mit der Veränderung der Substratzusammensetzung zusammenhängen, befragt. Weiterhin sind zu veterinärmedizinischen, betriebswirtschaftlichen und rechtlichen Themengebieten die Officialberatung sowie spezialisierte private Berater in die Expertenbefragung eingebunden worden.

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Der Bau und der Betrieb einer Biogasanlage werden durch eine Vielzahl rechtlicher Bestimmungen geregelt. Im Folgenden werden die bau-, veterinär- und transportrechtlichen Rahmenbedingungen, die bei dem erstmaligen Einsatz von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen zu beachten sind, dargestellt und analysiert.



Baurechtliche Anforderungen

Vor der Errichtung einer Biogasanlage ist eine entsprechende Genehmigung zu beantragen. Neben dem klassischen baurechtlichen Genehmigungsverfahren nach Baugesetzbuch (BauGB) kann auch eine Genehmigung nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) erforderlich werden. Das BImSchG-Verfahren muss bei größeren Anlagen in Abhängigkeit von der Feuerungswärmeleistung oder der erzeugten Rohgasmenge durchgeführt werden. Das BImSchG-Verfahren ist ferner für Anlagen verpflichtend, deren Güllelagerkapazität die Menge von 6.500 m³ pro Jahr überschreitet (GABLER et al., 2013). Das immissionsrechtliche Genehmigungsverfahren ist komplexer und teurer als ein baurechtliches Genehmigungsverfahren, bietet dafür aber eine höhere Rechtssicherheit für die Anlage. Im BImSchG-Verfahren wird geprüft, ob von der Anlage schädliche Umweltwirkungen ausgehen werden oder Benachteiligungen für die Nachbarschaft entstehen können (FNR, 2013). Das Genehmigungsverfahren nach BImSchG entfaltet eine sogenannte Konzentrationswirkung; es schließt daher bau-, abfall- und veterinärrechtliche Genehmigungsverfahren mit ein.

Mit der Novellierung des Baugesetzbuchs im Jahr 2013 wurde u.a. die Privilegierung von Biogasanlagen und gewerblichen landwirtschaftlichen Tierhaltungsanlagen im Außenbereich geändert bzw. eingeschränkt. Unabhängig davon soll nach Auskunft des Rechtsanwalts LOIBL (2014) der privilegierte Bau für Biogasanlagen im Außenbereich nach § 35 Abs.1 Nr.6 BauGB weiterhin aufrechterhalten bleiben. Biogasanlagen dürfen somit weiterhin am Standort eines landwirtschaftlichen Betriebes errichtet werden, sofern der Landwirt der Eigentümer der Anlage ist und mindestens die Hälfte des eingesetzten Substrats aus dem eigenen Betrieb oder aus der näheren Umgebung stammen (FNR, 2013). Die vormalige Privilegierungsobergrenze von Anlagen bis 500 kW_{el} Leistung wurde im novellierten Baugesetzbuch ersetzt durch die Bedingung, dass die maximale Erzeugungskapazität der Anlage 2,3 Mio. Normkubikmeter (Nm³) Biogas pro Jahr nicht überschritten werden darf (GABLER et al., 2013). Die Produktion von 2,3 Mio. Nm³ Biogas entspricht jedoch in etwa einer elektrischen Leistung von 500 kW, weswegen große Anlagen im Außenbereich auch weiterhin nicht privilegiert sind (TOP AGRAR, 2011). Es besteht aber weiterhin die Möglichkeit, eine größere Biogasanlage als „sonstiges Vorhaben“ im Außenbereich genehmigen zu lassen, falls das Vorhaben keinen anderen allgemeinen öffentlichen Belangen entgegensteht (FNR, 2013).



Die Bund-Länder-Arbeitsgruppe (BLAG) hat im Jahr 2012 in ihrem Abschlussbericht zur Novellierung der Düngeverordnung vorgeschlagen, die Mindestlagerdauer für Gärreste von Biogasanlagen von sechs auf neun Monate zu erhöhen (BLAG, 2012). Falls es zur Umsetzung dieser Regelung kommen sollte, hätte dies erhebliche Konsequenzen für alle Biogasanlagen. Nach Auskunft eines Biogasberaters des Westfälischen Landwirtschaftsverbandes (WLV) genießen die in Betrieb befindlichen Biogasanlagen aber Bestandsschutz und wären von der Änderung der Düngeverordnung nicht direkt betroffen (SCHMIDT, 2014). Anders verhält es sich bei einer wesentlichen Änderung einer nach BImSchG genehmigten Biogasanlage. Hier wird eine Änderungsgenehmigung nach § 16 BImSchG erforderlich. In diesem Fall würde im Änderungsgenehmigungsverfahren von der Behörde u.a. die Nachrüstung auf eine neunmonatige Mindestlagerkapazität gefordert werden (LOIBL, 2014).

Durch die Umstellung einer bestehenden NawaRo-Biogasanlage auf eine Gülle-NawaRo-Biogasanlage, die nach dem Baugesetzbuch (BauGB) genehmigt wurde, wird auch eine Erhöhung der Lagerkapazität für die Gärreste notwendig werden (KOWALEWSKY, 2014). Für diese Anlage wäre bei einer Erweiterung der Lagerkapazität lediglich eine Baugenehmigung zur Erhöhung des Lagervolumens notwendig. Im Gegensatz zur nach BImSchG genehmigten Anlage werden hier die weiteren gesetzlichen Auflagen, die sich in der Zwischenzeit verändert haben, nicht mit in das Genehmigungsverfahren eingezogen (LOIBL, 2014).

Veterinärrechtliche Anforderungen

Biogasanlagenbetreiber, die bereits Wirtschaftsdünger einsetzen oder diese in Zukunft als weiteren Einsatzstoff planen, haben zahlreiche veterinärrechtliche Regelungen zu beachten. Durch den Einsatz von Gülle, Festmist oder Geflügelmist (Gemisch aus Hühnertrockenkot (HTK) und Hähnchenmist) unterliegen die Biogasanlagen dem Tierische Nebenprodukte-Recht. In diesem Zusammenhang sind hauptsächlich die folgenden Rechtsvorschriften zu beachten:

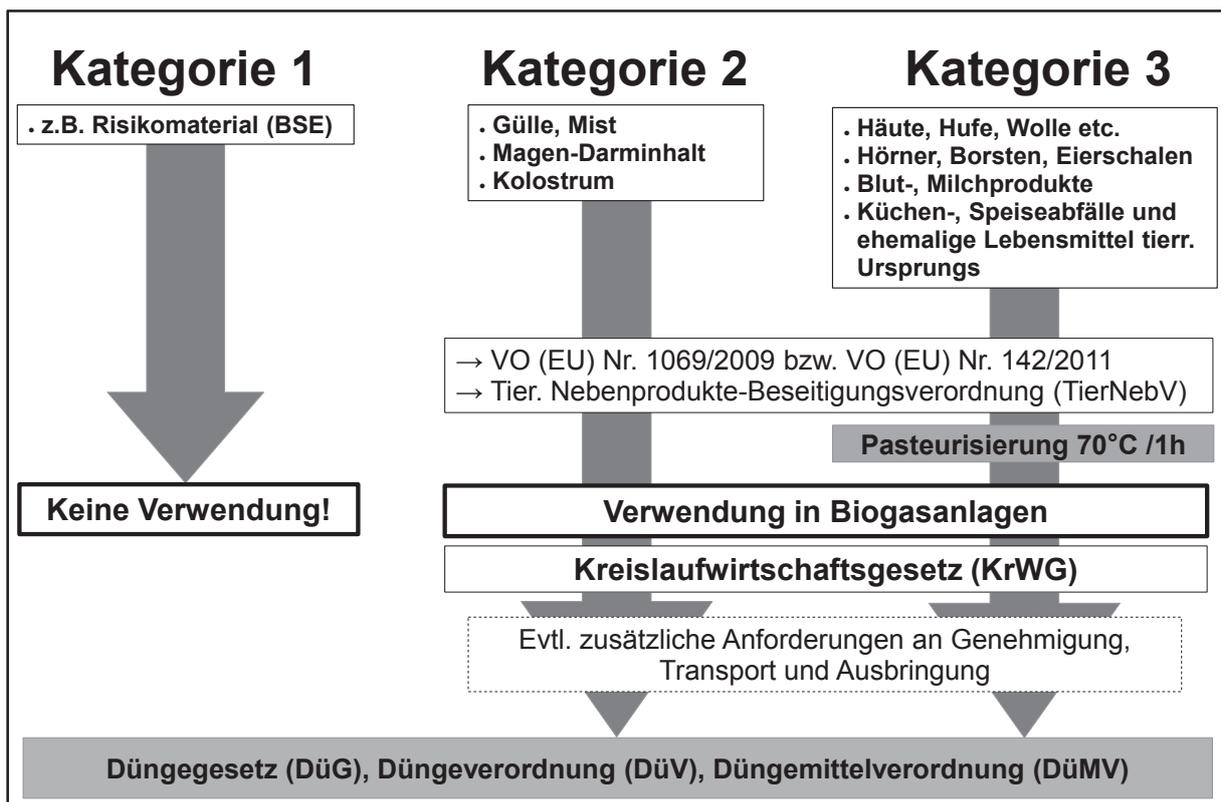
- Tierisches Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz (TierNebG)
- Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung (TierNebV)
- Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte
- Durchführungsverordnung (EU) Nr. 142/2011
- Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)



- Schweinehaltungshygieneverordnung (SchHaltHygV)

Eine Biogasanlage ist nach Art. 24 der VO (EG) 1069/2009 zulassungspflichtig und der Betreiber unterliegt somit der Informationspflicht gegenüber dem zuständigen Amt. Die Zulassung wird von der jeweiligen Landesbehörde ausgestellt (MAHNKEN, 2014). Die Einsatzmöglichkeiten von tierischen Nebenprodukten in Biogasanlagen hängen von deren Risikoeinstufung ab. Gemäß der genannten Verordnung werden tierische Nebenprodukte in drei Risikokategorien eingeteilt. Besonders risikoreiches Material, zum Beispiel mit BSE-Erregern belastetes Material, wird in die Kategorie 1 eingeteilt und darf nicht in Biogasanlagen eingesetzt werden. In die Kategorie 3 fallen beispielsweise Schlachtabfälle und Küchenabfälle tierischen Ursprungs. Gülle und Mist werden der Kategorie 2 zugerechnet (vgl. Abbildung 1).

Abbildung 1: Rechtliche Einordnung tierischer Nebenprodukte nach nationalem und europäischem Recht



Quelle: Eigene Darstellung nach WILKEN (2013)

Das Risiko einer Seuchenverbreitung wird abgestuft beurteilt. Es wird zwischen einer Biogasanlage, welche mit einer Tierhaltungsanlage gemeinsam an einem Standort betrieben wird, und einer räumlich abgegrenzt errichteten Anlage unterschieden. Im ersten Fall werden als Genehmigungsaufgaben i.d.R. die Errichtung eines Zaunes



sowie eine separate Zufahrt zur Biogasanlage gefordert (vgl. VO (EU) 142/2011). Das höchste Risiko besteht bei Anlagen, welche gemeinsam mit einer Tierhaltung betrieben werden und zusätzlich Fremdgülle einsetzen. In diesem Fall ist eine strikte physische Trennung zwischen Fremdgülle und z.B. Futtermitteln oder Einstreu der betriebseigenen Tierhaltung zu gewährleisten. Zudem sind eine Reinigung der Transportfahrzeuge und der Einsatz von Desinfektionsschleusen vorgeschrieben (vgl. VO (EU) 142/2011) (WILKEN, 2014). Für Schweinegülle aus Fremdbetrieben gilt die Auflage, dass diese gemäß der Schweinehaltungshygieneverordnung mindestens acht Wochen auf dem Herkunftsbetrieb gelagert werden muss, bevor sie in die BGA verbracht werden darf (SCHULZE SIEVERT, 2014).

Grundsätzlich unterliegt Gülle, welche zur Verwendung in Biogasanlagen vorgesehen ist, dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) und somit auch der Bioabfallverordnung. Die Gülle ist entweder als Bioabfall oder als tierisches Nebenprodukt einzustufen, woraus sich unterschiedliche Konsequenzen ergeben. Bioabfälle werden in § 2 der Bioabfallverordnung definiert als Abfälle tierischer und pflanzlicher Herkunft zur weiteren Verwertung, die durch Mikroorganismen, bodenbürtige Lebewesen oder Enzyme abgebaut werden können. Biogasanlagen, welche Bioabfälle einsetzen, müssen die Auflagen der Bioabfallverordnung beachten. Alle eingesetzten Bioabfälle unterliegen einer Registrierpflicht seitens des Biogasanlagenbetreibers. Die Bioabfallverordnung schreibt eine Hygienisierung der eingesetzten Inputstoffe vor. Des Weiteren werden konkrete Grenzwerte für die Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen vorgegeben. Das nordrhein-westfälische Landwirtschaftsministerium hat einen Vollzugshinweis zur Einstufung der Gülle bekanntgegeben. Gärreste aus einem Gemisch von Gülle und NawaRo unterliegen gemäß KrWG § 2 Abs. Nr. 4 nicht dem Anwendungsbereich des Abfallrechts, sofern eine spätere Verwendung als landwirtschaftlicher Dünger vorgesehen ist. Diese Auffassung wird auch vom Niedersächsischen Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) geteilt. Demnach fällt die Gülle als Substrat (Inputstoff) nicht unter die Bioabfallverordnung, sondern ist als tierisches Nebenprodukt gemäß VO (EG) 1069/2009 anzusehen (MAHNKEN, 2014). Die strengeren Anforderungen des Bioabfallrechts gelten somit für den Einsatz von Gülle in Biogasanlagen nicht. Falls Gülle und NawaRo aber gemeinsam mit Bioabfällen fermentiert werden, wie dies in Kofermentationsanlagen geschieht, unterliegen die anfallenden Gärreste den Anwendungsbestimmungen des Abfallrechts.



Transportrechtliche Aspekte

Die Regelungen zum Transport der Gülle im Tierseuchenfall können bei Eintreten eines Seuchenfalls große Auswirkungen auf den Betrieb der Biogasanlagen haben. Die Regelungen zum Transport tierischer Nebenprodukte im Seuchenfall sind in den verschiedenen Tierseuchenspezialverordnungen (u.a. MKS-VO, Geflügelpest-VO) enthalten. Die Möglichkeit einer weiteren Verbringung der Gülle hängt insbesondere von der jeweiligen Tierseuche und dem Ausbreitungspotenzial dieser Seuche ab (SCHULZE SIEVERT, 2014). Ein weiterer entscheidender Punkt ist, ob der Betrieb im Sperrgebiet, z.B. in einem 3 km-Radius um den Ort des Seuchenausbruchs, oder im Beobachtungsgebiet (z.B. 10 km-Radius) liegt. Der Transport der Gülle im Sperrgebiet ist untersagt bzw. die Gülle ist zu desinfizieren, bevor sie verbracht werden darf. Weiterführende Desinfektionsmaßnahmen und die Vorgaben zur Ausbringung der betroffenen Gülle sind in den Tierseuchenspezialverordnungen detailliert beschrieben. Im Beobachtungsgebiet ist beispielsweise eine bodennahe Ausbringung der Gülle mit Schleppschläuchen weiterhin möglich. In jedem Fall ist gemäß MAHNKEN (2014) der Transport der Gülle in den von der Tierseuche betroffenen Gebieten nur mit einer Sondergenehmigung seitens der zuständigen Behörde möglich.

Der überregionale Transport von Gülle wird durch die Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdüngern (WDüngV) geregelt. Diese Verbringungsverordnung ergänzt die Anforderungen der Düngemittelverordnung (DüMV) und der Düngeverordnung (DüV) und ist von Tierhaltern, Biogasanlagenbetreibern und am Nährstofftransport beteiligten Lohnunternehmern, Transporteuren oder Händlern einzuhalten. Die Verbringungsverordnung soll durch umfangreiche Dokumentationspflichten die einzelnen Nährstofftransporte nachvollziehbarer machen. Die abgebenden Betriebe, die Beförderer und die aufnehmenden Betriebe von Wirtschaftsdüngern müssen Aufzeichnungen in Form von Nährstofflieferscheinen über die Verbringung und den Empfang von Wirtschaftsdüngern führen (LWK-NRW, 2014). Die Wirtschaftsdünger abgebenden Betriebe sind dazu verpflichtet, die zuständige Behörde über die Nährstofflieferungen zu informieren (z.B. Meldeprogramm LWK Niedersachsen).

Die überregionalen Transporte von Wirtschaftsdüngern und Futtermitteln in einem Transportmedium zwischen den Veredelungsregionen und den Ackerbauregionen haben zugenommen. Der Transport von Gülle und Getreide in einem Fahrzeug ist



allerdings aus hygienischer Sicht bedenklich. Die neuerdings eingesetzten innovativen Transportfahrzeuge, die auch unter dem Begriff DuoLiner bekannt sind, verfügen daher über voneinander getrennte Ladekammern. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass z.B. Wirtschaftsdünger und Futtergetreide nicht in demselben Laderaum transportiert werden. Die Zertifizierung dieser Transportfahrzeuge im Rahmen des GMP+-Systems ist möglich. Nach jedem Transportvorgang muss die stattgefundene Reinigung des Fahrzeugs dokumentiert werden; weiterhin ist vor jedem neuen Beladen eine optische Kontrolle der Ladefläche durchzuführen (BIELEFELD, 2014).

4 Ökonomische Betrachtung des Wirtschaftsdüngereinsatzes

Ausgangssituation und betrachtete Szenarien

Um eine ökonomische Bewertung der Umstellung einer bestehenden NawaRo-Biogasanlage auf den Einsatz von Wirtschaftsdüngern vornehmen zu können, wird exemplarisch eine bereits von SCHMEHL et al. (2012) ökobilanziell bewertete Biogasanlage in Südniedersachsen herangezogen. Diese Anlage wurde im Dezember 2005 in Betrieb genommen und unterliegt somit dem EEG 2004. Es handelt sich um eine NawaRo-Anlage, die bislang keine Wirtschaftsdünger einsetzt, aber aufgrund ihrer Lage für den Bezug von Wirtschaftsdüngern insbesondere aus der Weser-Ems-Region in Betracht kommt. Die installierte elektrische Leistung beträgt $2 \times 300 \text{ kW}_{\text{el}}$, wobei davon ausgegangen wird, dass die beiden Blockheizkraftwerke zwecks Optimierung der Vergütung als eigenständige Anlagen betrieben werden. Die jährlich erzeugte elektrische Energie beträgt 5.086 MWh, die Wärmeenergie 5.120 MWh. Weiterhin verfügt die Anlage über ein Reaktorvolumen von 4.400 m^3 im Hauptfermenter und Nachgärer. Entsprechend den Einsatzstoffen, der Rationsgestaltung und den baulichen Gegebenheiten (Eintrags-, Rühr- und Pumpentechnik) beträgt die durchschnittliche Verweilzeit in der Anlage 134 Tage. Das angeschlossene Gärrestlager umfasst ein Volumen von insgesamt 4.500 m^3 . Die anfallende Wärme wird zur Trocknung von Getreide, Körnermais und Scheitholz verwandt. Die Anlage erhält den Technologiebonus für die Trockenfermentation (TF-Bonus) nach EEG 2004 und setzt Maissilage (8.040 t; 67 %), Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS) und Zuckerrüben (je 1.800 t; 15 %) sowie Getreidekörner (360 t; 3 %) ein.

Mit Blick auf den Wirtschaftsdüngereinsatz in der Beispiel-Biogasanlage werden drei Szenarien betrachtet: 1. Einsatz von flüssiger Schweinegülle, 2. Einsatz von separierter Schweinegülle (Schweinegülle Dekanter), 3. Einsatz von Geflügelmist. Die



Szenarien sind so angelegt, dass die in der Ausgangssituation, in der nur nachwachsende Rohstoffe in den o.g. Mengenanteilen eingesetzt werden, produzierte Menge an Biogas, Strom und Wärme beibehalten wird. Die jeweils neu hinzukommenden Wirtschaftsdüngerkomponenten substituieren annahmegemäß ausschließlich die Fütterungskomponente Silomais, während die Einsatzmengen der übrigen Substrate unverändert bleiben (vgl. Tabelle 1). In allen drei Szenarien wird der jeweilige Wirtschaftsdünger zu einem Anteil von 33 % eingesetzt. Diese Menge orientiert sich am EEG 2009, das zur Erlangung des Güllebonus verlangt, dass jederzeit mindestens 30 % Wirtschaftsdünger in der Futtermischung vorhanden sind. In der Praxis wird in der Regel aus Sicherheitsgründen ein gewisser Zuschlag realisiert, sodass die folgenden Berechnungen auf 33 % WD-Einsatz basieren. Weiterhin wird in den ökonomischen Berechnungen davon ausgegangen, dass die jeweiligen Wirtschaftsdünger aus 150 km Entfernung zur BGA transportiert werden müssen. Dabei wird angenommen, dass bei Inkaufnahme einer Zwischenfahrkilometeranzahl von insgesamt 50 km eine Beladung für die Rückfahrt zur Verfügung steht. In den folgenden Berechnungen wird weiterhin unterstellt, dass auf der bestehenden Anlage nach der Novellierung der Düngeverordnung (DüV) die Mindestlagerzeit für Gärreste von 6 auf 9 Monate erhöht werden soll. Zum einen um den rechtlichen Anforderungen nach zu kommen und zum anderen um die Gärreste zum idealen pflanzenbaulichen Zeitpunkt auf den Bedarfslächen ausbringen zu können. Hiermit wären Investitionen in Höhe von 243.500 € verbunden.

Notwendige Investitionen

Mit der Substitution von Silomais durch die drei genannten Wirtschaftsdünger sind mehrere bauliche Veränderungen an der Biogasanlage notwendig, um die veterinär- und baurechtlichen Voraussetzungen für den WD-Einsatz zu schaffen (vgl. Tabelle 1). Überwiegend werden Gülle und Festmiste vom Gesetzgeber gleich behandelt. Daher unterscheiden sich die drei Szenarien nicht hinsichtlich der Investitionen im Bereich der Dokumentation und der Anlageninfrastruktur. Unterschiede zwischen den Szenarien ergeben sich jedoch aus den unterschiedlichen Eigenschaften (flüssig oder fest bzw. stapelbar) der verschiedenen Wirtschaftsdünger. In den Szenarien 2 und 3 müssen neue Lagerstätten geschaffen werden, deren Größe sich aus der täglich einzubringenden Menge und der geplanten Vorratshaltung (mindestens 10 Tage) ergibt. Entsprechend muss im Szenario 2 ein Lager für 140 t Schweinegülle Dekanter und im Szenario 3 für 119 t Geflügelmist geschaffen werden. Um den gesetzlichen



Auflagen zu entsprechen, ist eine überdachte Leichtbauhalle mit einer Grundfläche von 84 m² und einer zu drei Seiten hin 2,5 m hohen Stahlbetonwand geplant. Der einseitig offene Giebel ermöglicht es, die mit einem LKW angelieferten Wirtschaftsdünger abzukippen und anschließend aufzuschieben. Im Szenario 1 muss hingegen ein Flüssiglagerbehälter errichtet werden, um die entsprechende Menge an flüssiger Schweinegülle aufzunehmen. Laut KTBL (2013) stehen dazu verschiedene Arten von Hoch- und Tiefbehältern zur Verfügung. In der folgenden Berechnung wird von einem 300 m³ fassenden Tiefbehälter ausgegangen, der über einen befahrbaren Deckel verfügt. In der Kalkulation belaufen sich die Baukosten einer solchen Lagerung einschließlich der nötigen Elektrik, Pump- und Rührtechnik auf 61.680 €.

Weiterhin unterscheiden sich die drei Szenarien durch nötige Um- und Neubaumaßnahmen entlang der Gärstrecke. Aufgrund unterschiedlicher Viskosität, möglicher Fremdbestandteile und verschiedenartiger thermischer Eigenschaften müssen hier verschiedene Komponenten ergänzt bzw. verändert werden. Im Falle des Einsatzes flüssiger Schweinegülle (Szenario 1) ist die vorhandene Eintragstechnik zu erweitern und eine zusätzliche Heizeinheit im Hauptfermenter nötig, um die für die Bakterien optimale Temperatur weiterhin einhalten zu können. Im Szenario 3 (Geflügelmist) muss dagegen nachträglich eine Nassvermahlungseinheit am Beginn der vorhandenen Gärstrecke installiert werden, um grobfaseriges Material zerkleinern und möglichst früh Fremtteile entfernen zu können.



Tabelle 1: Investitionsplanungen

Bemessungsgrößen / Investitionen	Preis/ Einheit	Ausgangssituation NawaRo 100 %		Szenario 1 Schweinegülle flüssig 33 %		Szenario 2 Schweinegülle Dekanter 33 %		Szenario 3 Geflügelmist 33 %	
		in %	in t	in %	in t	in %	in t	in %	in t
Substrateinsatz									
Silomais		67	8.040	44	7.440	42	6.445	37	4.865
GPS		15	1.800	11	1.800	12	1.800	14	1.800
Zuckerrübe		15	1.800	11	1.800	12	1.800	14	1.800
Getreidekörner		3	360	2	360	2	360	3	360
Geflügelmist (Gemisch)		0	0	0	0	0	0	33	4.351
Schweinegülle flüssig		0	0	33	5.619	0	0	0	0
Schweinegülle Dekanter		0	0	0	0	33	5.121	0	0
Summe Substrate	t/a		12.000		17.019		15.526		13.176
Summe Gärreste	t/a		8.990		14.041		12.694		10.058
vorh. Hauptvermentervolumen	m³		2.400		2.400		2.400		2.400
vorh. Nachgärvolumen	m³		2.000		2.000		2.000		2.000
vorh. Gärsubstratlager	m³		4.500		4.500		4.500		4.500
zusätzl. benötigtes Gärsubstrat- vol. (rechnerisch) praktisch	m³	(2.242)	2.500	(6.031)	6.500	(5.021)	5.500	(3.044)	3.500
Einfriedung	lfd m			400		400		400	
20,00 €/lfd m	€ gesamt				8.000		8.000		8.000
Toreinfahrt (automatisch)									
18.000 € - 20.000 €	pauschal				20.000		20.000		20.000
Waageeinrichtung									
4.000 € - 8.000 €	pauschal				4.000		4.000		4.000
Infrastruktur auf der Anlage	m²			300		300		300	
55,00 - 65,00 €/m²	€				16.500		16.500		16.500
Planungs-, Gutachten- und Genehmigungskosten									
15.000 € - 40.000 €	pauschal		15.000		25.000		25.000		25.000
Lager feste Wirtschaftsdünger	t bzw. m³					140		119	
Betonplatte	150 €/m²					7 m * 12 m	12.600	7 m * 12 m	12.600
Betonwand (2,5 m Höhe)	250 €/lfd m						6.500		6.500
Bedachung u. Seitenverkleidung	150 €/m²					120	18.000	120	18.000
Lager flüssige Wirtschaftsdünger	m³			154					
Tief- oder Hochbehälter	120 €/m³			300 m³	36.000				
Rührwerk	8.000 €/Stck. €				8.000				
Abtankplatz	160 €/m²				7.680				
Leitung und Elektrik	pauschal				10.000				
Gärstrecke									
Nassvermahlung integriert	pauschal €								50.000
zusätzliches Rührwerk	€								8.000
modifizierte Eintragstechnik	pauschal €				10.000				
zusätzliche Heizleitung	pauschal €				5.000				
Gärsubstratlager									
Lagerraum	€/m³	73	182.500	44	286.000	44	242.000	54	189.000
Rührwerk	8.000 €/Stck. €		16.000		16.000		16.000		16.000
Zuwegung/Entnahmestation									
Rohrleitungen/Technik/ Elektrik	pauschal €		30.000		30.000		30.000		30.000
Investitionssumme	€		243.500		482.180		398.600		403.600

Quelle: Eigene Berechnungen nach KTBL (2009), KTBL (2013), EXPERTENINTERVIEWS (2014)

Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeit des Wirtschaftsdüngereinsatzes in vormals auf NawaRo-Basis laufenden Biogasanlagen wird im Folgenden für die drei Szenarien im Vergleich zur Ausgangssituation mit Hilfe einer Leistungs-Kostenrechnung beurteilt. Darin gehen die jährlichen Leistungen und Kosten der Anlage sowie die sich aus dem Investiti-



onsbedarf ergebenden Abschreibungen ein (vgl. Tabelle 2). Dabei kann sich die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf diejenigen Veränderungen der Leistungen und Kosten beschränken, die durch den Wirtschaftsdüngereinsatz ausgelöst werden. Soweit sich aus dem Einsatz von Wirtschaftsdünger keine Veränderungen gegenüber dem laufenden Betrieb der Anlage in der Ausgangssituation ergeben, ist dies in Tabelle 2 mit „n.r.“ (nicht relevant) gekennzeichnet. Die in der Tabelle 2 aufgezeigten Veränderungen (Leistungen, Kosten und kalkulatorischer Gewinnbeitrag) sind jeweils als Abweichungen gegenüber dem momentanen Betrieb der BGA zu interpretieren. Sie stellen nicht die Differenz der einzelnen Szenarien zu der als Ausgangssituation gekennzeichneten Lage dar, die ebenfalls mit (Anpassungs-)Investitionen einhergeht.

Die Leistungen der betrachteten Anlage können sich bei Einsatz von Wirtschaftsdüngern zunächst dadurch verändern, dass Biogasanlagen, die während der Gültigkeit des EEG 2004 und 2009 in Betrieb gegangen sind, auch im Nachhinein noch den Güllebonus in Anspruch nehmen können, sofern sie mindestens 30 % Wirtschaftsdünger als Substrat einsetzen. Nach Anlage 2 Nummer II 2 zum EEG 2009 handelt es sich bei Wirtschaftsdünger bzw. Gülle um alle Stoffe, welche in der EG-Hygieneverordnung 1774/2002 aufgeführt sind. Die Möglichkeit, diesen Bonus erstmals in Anspruch nehmen zu können, ist nach Ansicht von LOIBL (2014) auch mit der Einführung des EEG 2012 nicht verlorengegangen. Dies bedeutet, dass eine NawaRo-Biogasanlage, welche zwischen 2004 und 2011 oder zwischen 2012 und Mitte 2014 in Betrieb gegangen ist, auch heute noch den Güllebonus in der zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Anlage gültigen Form und Höhe in Anspruch nehmen kann (LOIBL, 2014). Für die Beispielanlage besteht die Möglichkeit der Inanspruchnahme des Güllebonus nach EEG 2009. In der Ausgangssituation erzielte die Anlage Stromerlöse in Höhe von 1.054.162 €. Durch die Aktivierung des Güllebonus erhöhen sich diese im Szenario 1 um 27.980 € und in den Szenarien 2 und 3 jeweils um 129.700 €.

**Tabelle 2: Leistungs-Kostenrechnung**

Leistungs-/Kostenart		Preis/ Einheit	Ausgangssituation NawaRo 100 %		Szenario 1 Schweinegülle flüssig 33 %		Szenario 2 Schweinegülle Dekanter 33 %		Szenario 3 Geflügelmist 33 %	
Gesamtinvestitionssumme (€)			243.500		482.180		398.600		403.600	
Abschreibungen										
Technik/Maschinen	8 Jahr	€	31.000	3.875	76.000	9.500	43.000	5.375	101.000	12.625
bauliche Anlagen	20 Jahr	€	197.500	9.875	381.180	19.059	330.600	16.530	277.600	13.880
jährliche Abschreibung			€/a 13.750		28.559		21.905		26.505	
Leistungen										
EEG Einspeisevergütung		€/kW _{el}	0,2073		0,2128		0,2328		0,2328	
Stromerlöse		€/a		1.054.162		1.082.142		1.183.862		1.183.862
Preis für Wärmeverkauf		€/kW _{th}	0,02		0,02		0,02		0,02	
Wärmeerlöse		€/a		n.r.		n.r.		n.r.		n.r.
Gärsubstraterlöse*	€/m ³	€/a		n.r.	4,41	27.414	6,89	68.236	11,55	89.156
Summe Leistungen			€/a 1.054.162		1.109.556		1.252.098		1.273.018	
Veränderung Leistungen			€/a		55.394		197.936		218.856	
Variable Kosten			Mengen €		Mengen €		Mengen €		Mengen €	
Silomais	34	€/t FM	8.040	n.r.	-600	-20.400	-1.595	-54.230	-3.175	-107.950
GPS	35	€/t FM	1.800	n.r.	1.800	n.r.	1.800	n.r.	1.800	n.r.
Zuckerrübe	30	€/t FM	1.800	n.r.	1.800	n.r.	1.800	n.r.	1.800	n.r.
Getreidekörner	140	€/t FM	360	n.r.	360	n.r.	360	n.r.	360	n.r.
Geflügelmist	20	€/t FM	0	0	0	0	0	0	4.351	87.020
Schweinegülle flüssig	0	€/m ³	0	0	5.619	0	0	0	0	0
Schweinegülle Dekanter	12	€/t	0	0	0	0	5.121	61.452	0	0
Ausbringung Gärsubstrat	4,14	€/m ³		n.r.	5.051	20.910	3.704	15.334	1.068	4.421
Betriebsstoffe (Strom, Diesel, etc.)		€/a		n.r.		14.132		17.607		4.381
Wartung/Reparaturen	1-1,5 %	€/a		2.285		6.858		5.604		5.679
Laboranalysen (1x/Monat)		€/a		n.r.		1.500		1.500		1.500
Sonstiges		€/a		n.r.		1.500		1.500		4.000
Veränderung variable Kosten			€/a 2.285		24.499		48.767		-949	
Fixe Kosten										
Abschreibungen		€/a		13.750		28.559		21.905		26.505
Zinskosten Anlagekapital	2 %	€/a		5.916		11.716		9.685		9.806
Planungs- und Genehmigungskosten		€/a		750		1.250		1.250		1.250
Zinskosten Planung u. Genehmigung	2 %	€/a		364		607		607		607
Versicherungen	0,5 %	€/a		1.218		2.411		1.993		2.018
Netto-Arbeitszeitbedarf		AKh/a			183		183		183	
Lohnkosten	18 €/Akh	€/a		n.r.		3.285		3.285		3.285
Gemeinkosten		€/a		n.r.		n.r.		n.r.		n.r.
Veränderung fixe Kosten			€/a 21.998		47.828		38.725		43.472	
kalkulatorische Gewinnbeitrags-Veränderung			€/a -24.283		-16.933		110.443		176.334	

* Preis für Gärsubstrat: 50% äquiv. zum Mineraldüngerwert; n.r. – nicht relevant.

Quelle: Eigene Berechnungen nach KTBL (2013), EEG (2009), DLG (2006), GÖRISCH und HELM (2007), EXPERTENINTERVIEWS (2014)

Der Wert im Szenario 1 ist geringer, da die Trockenfermentation nicht mehr gegeben ist und aus diesem Grund der Technologiebonus wegfällt. Darüber hinaus stehen zusätzliche Gärrestmengen für den Verkauf an landwirtschaftliche Betriebe zur Verfügung. Der Wert des Gärrests wurde über die Nährstoffzusammensetzung (NPK) je m³ errechnet. Da dieser Wert in der Praxis jedoch aus verschiedenen Gründen (u.a.



arbeitstechnische Gründe, Kalkulierbarkeit der Verfügbarkeit etc.) in der Regel nicht erzielt werden kann, sind der Biogasanlage nur 50 % des Wertes als Leistung gutgeschrieben worden. Der Wert, der durch die aufgrund des Wirtschaftsdüngereinsatzes zusätzlich anfallenden Gärrestmengen erzielt werden kann, beträgt zwischen 27.414 € (Szenario 1) und 89.156 € (Szenario 3). Insgesamt erhöhen sich damit die Leistungen der betrachteten Anlage durch den Einsatz von Wirtschaftsdüngern um 55.394 € im Szenario 1, 197.936 € im Szenario 2 und 218.856 € im Szenario 3 gegenüber der Ausgangssituation.

Neben den steigenden Erlösen sind in der LKR auch die Veränderungen bei den fixen und variablen Kosten zu berücksichtigen.

Die fixen Kosten in der LKR umfassen u.a. Abschreibungen, Zinsen, Versicherungen, Lohn- und Gemeinkosten. Die Berechnungen in Tabelle 2 basieren darauf, dass die Investitionen in Technik/Maschinen über 8 Jahre und in bauliche Anlagen über 20 Jahre abgeschrieben werden. Der Zinsansatz ist der aktuellen Marktlage entsprechend mit 2 % veranschlagt worden. Ferner ist angenommen worden, dass aufgrund der Substitution von Silomais durch die verschiedenen Wirtschaftsdünger der Arbeitskraftbedarf auf der Biogasanlage aus organisatorischen und arbeitstechnischen Gründen bei der Beschaffung und dem Einbringen des zusätzlichen Inputsubstrates in den Gärprozess um 0,5 Zeitstunden je Tag steigt. Insgesamt erhöhen sich in allen drei Szenarien die fixen Kosten vor allem durch die höheren Abschreibungen im Vergleich zur Ausgangssituation deutlich um Werte zwischen 38.725 € (Szenario 2) und 47.828 € (Szenario 1). In der Ausgangssituation findet gegenüber dem Status quo ebenfalls eine Erhöhung der fixen Kosten statt, da die Lagerkapazität des Gärrestlagers erhöht werden muss.

In allen drei Szenarien verändern sich aber auch die Substratkosten. Im Szenario 1 entstehen der Biogasanlage durch das Substitut Schweinegülle keine weiteren Kosten, da erfahrungsgemäß die abgebenden Betriebe die Kosten des Transports der Gülle bis zu einer Entfernung von 150 km (äquivalent 12 €/m³) übernehmen (KOWALEWSKY, 2014). Daher ergibt sich in diesem Szenario gegenüber der Ausgangssituation ein Kostenvorteil durch den eingesparten Silomais in Höhe von 20.400 €. In den Szenarien 2 und 3 sind die Einsparungen an Silomais aufgrund der im Vergleich zur flüssigen Schweinegülle deutlich höheren Energiegehalte von Schweinegülle Dekanter und Geflügelmist wesentlich höher. Dem entgegensetzen



sind jedoch die Kosten für die Bereitstellung der alternativ eingesetzten Wirtschaftsdünger (Szenario 2+3). Weitere Veränderungen der variablen Kosten sind in Tabelle 2 für jedes Szenario aufgeführt. Insgesamt sind die drei Szenarien durch sehr unterschiedliche Änderungen der variablen Kosten gekennzeichnet. Während die Szenarien 1 und 2 gegenüber der Ausgangssituation deutlich erhöhte variable Kosten aufweisen, ist im Szenario 3 ein leichter Rückgang um ca. 950 € festzustellen.

Aus dem Vergleich der Veränderungen der Leistungen und der Kosten mit den Bedingungen in der Ausgangssituation werden die Veränderung des kalkulatorischen Gewinnbeitrags und damit die wirtschaftliche Vorzüglichkeit der betrachteten Formen des Wirtschaftsdüngereinsatzes in der Biogasanlage ersichtlich. Die drei Szenarien unterscheiden sich aus ökonomischer Sicht grundlegend. Während die Integration von flüssiger Schweinegülle (Szenario 1) in eine bestehende NawaRo-Anlage einen kalkulatorischen Gewinnbeitrag im Vergleich zum Status quo von jährlich -16.933 € aufweist bzw. anders formuliert: das Betriebsergebnis um ca. 17.000 € schmälert, führen die Szenarien 2 und 3 zu einer kalkulatorischen Gewinnerhöhung in Höhe von 110.443 € (Szenario 2) bzw. 176.334 € (Szenario 3). Der kalkulatorische Gewinnbeitrag entwickelt sich in der Ausgangssituation am ungünstigsten gegenüber dem Status quo: Würde man die zu erwartenden Auflagen bezüglich der Lagerkapazitäten umsetzen und ansonsten nichts am Betrieb der Anlage verändern, verringerte sich der kalkulatorische Gewinn gegenüber dem jetzigen Zeitpunkt um ca. 24.000 €. Verglichen damit wäre selbst der eigentlich wirtschaftlich nachteilige Einsatz von Schweinegülle die sinnvollere Lösung, da der Rückgang des kalkulatorischen Gewinns moderater ausfallen würde.

5 Diskussion und Fazit

Die in diesem Beitrag vorgenommene Analyse zeigt, dass der Einsatz von Wirtschaftsdüngern in bislang nur auf NawaRo-Basis betriebenen Biogasanlagen unter rechtlichen und ökonomischen Aspekten realisierbar ist. Insofern ist hier ein gangbarer, bislang gleichwohl nur vereinzelt genutzter Weg aufgezeigt worden, einen Beitrag zur Entspannung der sich verschärfenden Nährstoffproblematik in viehdichten Regionen zu leisten und gleichzeitig die Systemdienstleistungen von Biogasanlagen zu nutzen, die sich aus ihren Beiträgen für die Strom- und Abfall- sowie die Ernährungswirtschaft ergeben (HÖHER, 2014).



Die Ergebnisse der LKR haben gezeigt, wie unterschiedlich die Auswirkungen des Wirtschaftsdüngereinsatzes auf den Betriebserfolg einer Biogasanlage sein können. Tabelle 3 fasst die notwendigen Investitionen und die Veränderungen der Kosten und Leistungen nochmals zusammen. Der Einsatz von flüssiger Schweinegülle (Szenario 1) ist nach diesen Berechnungen für Biogasstandorte in intensiven Ackerbauregionen als unattraktiv zu bewerten, da er sich negativ auf den Betriebserfolg auswirkt (-16.933 €/a).

Tabelle 3: Szenario-Vergleich

Biogasanlage 2*300 kW_{el} BHKW 1.325.512 Nm³/a Methanertrag	Ausgangs- situation NawaRo 100 %	Szenario 1 Schweinegülle flüssig 33 %	Szenario 2 Schweinegülle Dekanter 33 %	Szenario 3 Geflügelmist 33 %
Investitionssumme €	243.500	482.180	398.600	403.600
Leistungen €/a	0	55.394	197.936	218.856
Kosten (variable + fixe) €/a	-24.283	72.327	87.492	42.523
kalkulatorischer Gewinnbeitrag €/a	-24.283	-16.933	110.443	176.334

Quelle: Eigene Berechnung

Diese Bewertung gilt dann nicht mehr, wenn – wie in der Ausgangssituation angenommen – BGA auf NawaRo-Basis sich durch zusätzliche Investitionen an die verlängerten Lagerzeiten anpassen müssen und ansonsten den Betrieb der Anlage nicht verändern würden. Die Szenarien 2 und 3 hingegen sind in jedem Fall durch positive Gewinnbeiträge gekennzeichnet; das Szenario 3 ist insgesamt ökonomisch am vorteilhaftesten. Es hat sich gezeigt, dass eine Umstellung auf den Einsatz von Wirtschaftsdüngern in NawaRo-Biogasanlagen erhebliche zusätzliche Investitionen erfordert. Speziell bei der Entscheidung für den Einsatz flüssiger Wirtschaftsdünger bleiben dem Anlagenbetreiber keinerlei Möglichkeiten, die entsprechende Technik anderweitig zu nutzen. Ein späterer Ausstieg aus dem Einsatz flüssiger Wirtschaftsdünger oder gar aus der Biogasproduktion würde daher enorme versunkene Kosten nach sich ziehen (EMMANN, 2013, MUßHOFF und HIRSCHAUER, 2011). Für den Anlagenbetreiber ergäbe sich somit aus der Entscheidung für den Einsatz von Schweinegülle eine erhebliche Veränderung seiner Risikosituation, die in der durchgeführten LKR noch nicht monetär bewertet worden ist. Zugleich wird dadurch eine Pfadabhängigkeit begründet, die den Umstieg auf einen sich zu einem späteren Zeitpunkt



eigentlich als vorteilhafter erweisenden Betriebszweig möglicherweise verhindern könnte (THEUVSEN, 2004). Die Entscheidung für den Einsatz von Wirtschaftsdüngern muss daher eigentlich methodisch anspruchsvoller fundiert werden, als dies in diesem Beitrag geschehen ist, etwa unter Rückgriff auf Ansätze der Neuen Investitionstheorie wie den Realoptionsansatz (MUßHOFF und HIRSCHAUER, 2003).

Der Einsatz von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen, die bislang nur mit NawaRo betrieben wurden, kann auch unter dem Gesichtspunkt der sinnvollen Entlastung der Nährstoffsituation in Überschussregionen diskutiert werden. Aus dem 2013 veröffentlichten Nährstoffbericht der Landwirtschaftskammer Niedersachsen wird ersichtlich, dass einige niedersächsische Landkreise (z.B. Vechta und Cloppenburg) durch einen erheblichen Nährstoffüberschuss gekennzeichnet sind, der hauptsächlich durch Schweinegülle hervorgerufen wird (LWK-NDS, 2013). Aufgrund ihrer niedrigen Energiedichte kann die flüssige Gülle nur begrenzt wirtschaftlich transportiert werden (KOWALEWSKY, 2014). Die Ergebnisse des Szenarios 1 zeigen, dass der Einsatz von Schweinegülle in flüssiger Form in Biogasanlagen nicht in jedem Fall wirtschaftlich ist. Anders hingegen stellt sich die Situation beim Einsatz von Schweinegülle Dekanter dar (Szenario 2). Durch die Erhöhung des Trockenmassegehalts und somit der Energiedichte ist dieses Produkt besser für den Transport und den Einsatz in Biogasanlagen geeignet. Die LKR hat gezeigt, dass durch die Integration dieses WD ein positiver Gewinnbeitrag erwirtschaftet werden kann. Anders als beim Geflügelmist, sind bei der Bereitstellung von Schweinegülle Dekanter auch bei steigender Nachfrage kaum Engpässe zu erwarten (LWK-NDS, 2013).

Geflügelmist führt auch in viehdichten Regionen nicht zu einem Nährstoffproblem, da er ohne weitere Behandlung transportwürdig ist und bereits ein funktionierender Handel dieses Wirtschaftsdüngers zwischen abgebenden Tierhaltern und aufnehmenden landwirtschaftlichen Betrieben und Biogasanlagen in Ackerbauregionen in Gang gekommen ist. Daher steht der Geflügelmist auch nur in begrenzter Menge für einen verstärkten Einsatz in Biogasanlagen zur Verfügung. Aufgrund sehr geringer Angebotselastizität würde der Preis dieses Wirtschaftsdüngers bei einer Nachfrageerhöhung innerhalb kürzester Zeit deutlich ansteigen, so dass die Verwendung als Substrat in einer Biogasanlage vermutlich schnell an Vorzüglichkeit verlieren würde. Obwohl die LKR für den Einsatz von Geflügelmist den höchsten kalkulatorischen Gewinnbeitrag auswies, ist daher kein wesentlich stärkerer Einsatz von Geflügelmist



in Biogasanlagen in Ackerbauregionen zu erwarten. Vielmehr stellt der Einsatz von Feststoffen aus der Gülleseparation den Königsweg für die Kaskadennutzung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen außerhalb viehdichter Regionen dar.

Die Untersuchungsergebnisse lassen auch politischen Handlungsbedarf erkennen. So ist ein uneingeschränkter Bestandsschutz, der nachträgliche Veränderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen ausschließt, für die Anlagenbetreiber aufgrund der hohen Investitionen außerordentlich wichtig. Kommen Zweifel an der nötigen langfristigen Rechtssicherheit auf, werden die Anlagenbetreiber von Investitionen, die für den Einsatz von Wirtschaftsdüngern notwendig sind, absehen. Ferner wäre zu erwägen, ob Biogasanlagen, die erst zu einem späteren Zeitpunkt Wirtschaftsdünger einsetzen, zusätzliche Sicherheit hinsichtlich der Vergütungsstrukturen gegeben wird, wenn die nach dem EEG garantierte Einspeisevergütung nach 20 Jahren ausgelaufen ist. Die zur Integration von Wirtschaftsdüngern erforderlichen Investitionen gehen jedenfalls bei den bestehenden NawaRo-Anlagen mehr oder weniger weit über den durch das EEG garantierten Zeitraum hinaus.

Weiterer Forschungsbedarf besteht dahingehend, die Akzeptanz des Einsatzes von Wirtschaftsdüngern bei Anlagenbetreibern näher zu untersuchen. Insbesondere ist bislang ungeklärt, wie Anlagenbetreiber die möglicherweise entstehende langjährige Abhängigkeit von Lieferanten von Wirtschaftsdüngern einschätzen. Darüber hinaus bietet es sich an, vertiefte Untersuchungen zu den ökologischen Vorteilen des Wirtschaftsdüngereinsatzes in Biogasanlagen durchzuführen.

Abschließend ist festzuhalten, dass die Integration einzelner Wirtschaftsdüngerarten in eine bestehende NawaRo-Biogasanlage unter bestimmten Rahmenbedingungen wirtschaftlich sinnvoll sein kann. Der wirtschaftliche Erfolg einer solchen Umstellung hängt jedoch maßgeblich von den Bereitstellungskosten des Wirtschaftsdüngers ab und bedarf daher im Vorfeld einer sorgfältigen Planung und Vertragsgestaltung. Hier ist ein wichtiges Einsatzfeld für die Beratung zu sehen.

Literatur

- AMON, T. (2003): Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras. Endbericht Juli 2003. Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik, Universität für Bodenkultur. Wien.
- BIELEFELD, K. (2014): Agentur Klare Konzepte. GMP+ Zertifizierung von Transportfahrzeugen. Experteninterview. Stand: 5.2.2014. Hamburg.



- BLAG (BUND-LÄNDER-ARBEITSGRUPPE) (2012): Evaluierung der Düngeverordnung – Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung. Braunschweig.
- DABBERT, S. und BRAUN, J. (2012): Landwirtschaftliche Betriebslehre, Grundwissen Bachelor. 3. Auflage. Stuttgart.
- DLG (DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTSGESELLSCHAFT) (2006): Betriebszweigabrechnung für Biogasanlagen. Frankfurt am Main.
- EEG (ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZ) (2009): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien.
- EMMANN, C.H. (2013): Landwirtschaftliche Biomasseproduktion in Zeiten veränderter Rahmenbedingungen und begrenzter Flächenverfügbarkeit. Universität Göttingen.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2013): Bericht der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament über die Umsetzung der Richtlinie 91/676/EWG des Rates zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigungen durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen auf der Grundlage der Berichte der Mitgliedsstaaten für den Zeitraum 2008-2011. Brüssel.
- FNR (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V.) (2013): Leitfaden Biogas – Von der Gewinnung bis zur Nutzung. Gülzow-Prüzen.
- FVB (FACHVERBAND BIOGAS E.V.) (2014): Branchenzahlen 2013 und Prognose 2014 (Stand 06/2014).
URL: [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/\\$file/14-07-01_Biogas%20Branchenzahlen_2013-Prognose_2014.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/14-07-01_Biogas%20Branchenzahlen_2013-Prognose_2014.pdf);
Abrufdatum: 28.08.2014.
- GABLER, A., WESCHE, F.-A. und KASSOW, J. (2013): Das deutsche Regulierungssystem für Biogas – Genehmigung, Vergütungssystem und Netzzugang. In: Böttcher, J. (Hrsg.): Management von Biogasprojekten. Rechtliche, technische und wirtschaftliche Aspekte, Heidelberg, S. 51-204.
- GÖRISCH, U. und HELM, M. (2007): Biogasanlagen, 2. Auflage. Stuttgart.
- HENKE, S. (2014): Social Life Cycle Assessment: Multikriterielle Bewertung erneuerbarer Energien. Göttingen.
- HÖHER, G. (2014): Systemdienstleistungen durch Biogas und Synergien in der Landwirtschaft. Vortrag im Rahmen der Fachtagung „Nährstoffmanagement von Wirtschaftsdüngern und Gärresten“. 03. Juli 2014. Hannover.
- KOMPETENZZENTRUM 3N (NIEDERSACHSEN NETZWERK NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V.): Biogasinventur 2012, unveröffentlicht. Werlte.
- KOWALEWSKY, H.-H. (2014): Mit „dicker“ Gülle auf große Tour. In: Land & Forst, Nr. 3 2014.
- KRÖGER, R., THEUVSEN, L. und KONERDING, J. R. (2014): Güllefeststoffe als Gärsubstrat für Biogasanlagen – Ergebnisse einer empirischen Erhebung unter Biogasanlagenbetreibern. In: Berichte über Landwirtschaft, Bd. 92, S. 1-18.
- KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT) (2009): Investitionsbedarf für Stallanlagen für Schaf- und Ziegenhaltung. Darmstadt.



- KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT) (2013): Faustzahlen Biogas, 3. Ausgabe. Darmstadt.
- LINDENBERG, A. (2014): Niedersächsische Landgesellschaft (NLG) mbH, Geschäftsbereichsleiter Hochbau. Experteninterview. Hannover.
- LOIBL, H. (2014): Rechtsanwalt, Fachanwalt für Verwaltungsrecht. Experteninterview. Regensburg.
- LWK-NDS (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN) (2013): Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2012/2013, Stand 10.10.2013. Oldenburg.
- LWK-NRW (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN) (2014): Erläuterungen zur Verbringungsverordnung für Wirtschaftsdünger.
<http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/duengeverordnung/vvoartikel.htm>; Abrufdatum: 13.2.2014.
- MAHNKEN, M. (2014): Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Experteninterview. Oldenburg.
- MUßHOFF, O. und HIRSCHAUER, N. (2003): Bewertung komplexer Optionen. Umsetzung numerischer Verfahren mittels MS-Excel und Anwendungsmöglichkeiten der Optionspreistheorie auf Sachinvestitionen. Heidenau.
- MUßHOFF, O. und HIRSCHAUER, N. (2011): Modernes Agrarmanagement. Betriebliche Analyse- und Planungsverfahren. 2. Auflage, München.
- PLUMEYER, C.-H. (2014): Geschäftsführender Gesellschafter bei BP Bioenergie GmbH & Co KG. Experteninterview. Söhlde.
- SCHMEHL, M., HESSE, M. und GELDERMANN, J. (2012): Ökobilanzielle Bewertung von Biogasanlagen unter Berücksichtigung der niedersächsischen Verhältnisse, Research Paper Nr.11, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät der Georg-August-Universität Göttingen.
- SCHMIDT, L. (2014): WLV-Service GmbH. Auskunft zu baurechtlichen Fragen auf Biogasanlagen, Experteninterview. Münster.
- SCHULZE SIEVERT, U. (2014): Kreisverwaltung Borken, Facheinheit Tiere und Lebensmittel, Veterinärangelegenheiten. Experteninterview. Borken.
- THEUVSEN, L. (2004): Pfadabhängigkeit als Forschungsprogramm für die Agrarökonomie. In: Agrarwirtschaft, 53. Jg., Heft 3, S. 111-122.
- TOP AGRAR (2011): Biogasgenehmigung: 500 kW Grenze soll fallen.
<http://www.topagrar.com/news/Energie-News-Biogas-Genehmigung-500-kW-Grenze-soll-fallen-338185.html>; Abrufdatum: 03.02.2014.
- WILKEN, D. (2013): Aktuelles Recht zu Gülle und Gärprodukten. Fachverband Biogas e.V., Vortrag auf der Biogas-Fachtagung Thüringen. Bösleben.
- WILKEN, D. (2014): Fachverband Biogas e.V., Referatsleiter Abfall, Düngung und Hygiene. Experteninterview. Freising.
- WÜSTHOLZ, R. F. (2014): Ökologische Erfordernisse und ökonomische Auswirkungen ordnungsrechtlicher Veränderungen bezüglich des Nährstoffeinsatzes in der



Landwirtschaft im Kontext der europäischen Nitrat- und Wasserrahmenrichtlinie.
Dissertation Universität Hohenheim.

ZSCHACHE, U., v. CRAMON-TAUBADEL, S. und THEUVSEN, L. (2010): Öffentliche Deutungen im Bioenergie-Diskurs. In: Berichte über Landwirtschaft, Bd. 88, Heft 3, S. 502-512.

Anschrift des Kontaktautors

*Welf Guenther-Lübbers
Georg-August-Universität Göttingen
Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung
Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness
Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen
Tel.: +49 551 39 12166
eMail: welf.guenther-luebbers@agr.uni-goettingen.de*



EINE ÖKONOMISCHE BETRACHTUNG DER GÄRRESTAUSBRINGUNG IN ABHÄNGIGKEIT ZUR AUSBRINGUNGSENTFERNUNG ANHAND DER PARZELLENVERSUCHE DES EVA-VERBUNDPROJEKTES

Peter Kornatz, Janine Müller, Friederike Warns, Klaus Dietz, Florian Gebser,
Joachim Aurbacher

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird dargestellt, in wie weit sich die Ausbringungsentfernung von Gärresten unter Berücksichtigung des Nährstoffrückflusses auf die ökonomische Vergleichsgröße der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung des Energiepflanzenanbaus auswirkt. In dem vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. geförderten EVA-Verbundprojekt wurden Gärrestversuche zum Energiepflanzenanbau durchgeführt. Anhand der dabei erhobenen Daten wird die Frage diskutiert, wie weit Gärrest beim Vorgang der Ausbringung wirtschaftlich transportiert werden kann und ob sich eine kulturartsspezifische Umverteilung lohnt. Mit einer angepassten Leistungskostenrechnung werden unterschiedliche Gärrestausbringungsvarianten mit differenziertem Stickstoffdüngungsniveau für die Kulturen Mais, Sorghum sowie Wintertriticale anhand ihrer direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung verglichen und bewertet. Zum Abschluss wird die Gültigkeit der Ergebnisse diskutiert und eine Empfehlung in Bezug zu den untersuchten Düngungsvarianten abgeleitet.

Keywords

Agrarökonomie, Biogas, EVA-Verbund, Gärrestausbringung, Gärreste, Nachwachsende Rohstoffe.

1 Einleitung

Die Produktion von Bioenergie durch Biogasanlagen hat in den letzten zehn Jahren rapide an Bedeutung gewonnen. Allein seit dem Jahr 2008 hat sich die Anzahl der Biogasanlagen und die installierte elektrische Leistung in Deutschland nahezu verdoppelt (FACHVERBAND BIOGAS, 2014). Damit einhergehend ist die Bedeutung der Logistik bei der Ausbringung von Gärresten ebenfalls verstärkt in den Fokus gerückt. Besonders problematisch hierbei ist, dass Gärreste zwar grundsätzlich einen wertvollen organischen Dünger darstellen, sie jedoch durch den hohen Wassergehalt eine relativ geringe Transportwürdigkeit aufweisen. Aus diesem Zusammenhang heraus



stellt sich die Frage nach ökonomisch sinnvollen Ausbringungsstrategien für Gärreste in Hinsicht auf Ausbringungsentfernung und räumlicher Verteilung im Vergleich zur mineralischen Düngung. Im Folgenden wird anhand der Gärrestversuche des EVA-Verbundprojektes untersucht, wie weit Gärrest ökonomisch transportiert werden kann und ob eine kulturartspezifische Umverteilung des Gärrestes in Abhängigkeit der Gärrestwirkung lohnt. Die Feldversuche zur Gärrestausbringung innerhalb des EVA-Verbundes wurden vom Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) Straubing koordiniert und an den Standorten Ascha (Bayern), Dornburg (Thüringen), Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern), Ettlingen (Baden-Württemberg) und Werlte (Niedersachsen) durchgeführt.

2 Datengrundlage und Methodik

Im Folgenden wird auf die Gärrestversuche und die darauf angewendete, modifizierte Leistungs-Kostenrechnung eingegangen. Die Leistungs-Kostenrechnung wird bis zur Ebene der „Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung“ (DAKfL) durchgeführt (SCHROERS und SAUER, 2011). Innerhalb des EVA-Verbunds dient diese als ökonomische Bewertungs- und Vergleichsgröße der unterschiedlichen Anbauoptionen (AURBACHER et al., 2014).

2.1 Datengrundlage

Die vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf den sogenannten „großen“ Gärrestversuch des EVA-Verbundprojektes. Dabei handelt es sich um Parzellenversuche, die nicht in Fruchtfolgen, wie eigentlich im EVA-Verbund üblich, sondern als Einzelkulturen angelegt sind. Tabelle 1 zeigt das Versuchsdesign differenziert nach Standorten und Varianten über den Versuchszeitraum 2009 bis 2012. Generell wird davon ausgegangen, dass der aus dem Substrat anfallende Gärrest wieder auf die Fläche ausgebracht wird und der P- und K-Kreislauf geschlossen ist. Somit unterliegt nur der Stickstoff Verlusten, die durch Mineraldünger ausgeglichen werden. Die ausgebrachten Gärrestmengen wurden in Abhängigkeit zur Variante variiert und bewusst zu viel oder zu wenig Gärrest-N ausgebracht, um die Auswirkung auf den Ertrag zu untersuchen. Als Referenzgröße wurde darüber hinaus eine rein mineralische Stickstoffdüngung durchgeführt.

Der Fokus dieser ökonomischen Auswertung wurde auf die Versuchsvarianten gelegt, die an allen Standorten einheitlich durchgeführt wurden, nämlich die Kulturen



Silomais, Sorghum, Wintertriticale sowie die Varianten 75 % bis 125 % Gärrest-N sowie 100 % N mineralische Düngung.

Die Bewirtschaftung wurde von den Versuchstechnikern jeweils standortangepasst und praxisüblich durchgeführt. Erträge, Einsatzmengen von Betriebsmitteln sowie Bewirtschaftungsvorgänge wurden standardisiert erfasst und sind in einer zentralen Datenbank archiviert. Die Standardisierung erfolgte insofern, als dass die Versuchstechniker einen vorgegebenen Satz an Bewirtschaftungsgängen mit zugehörigen Attributen (Ertrag, Einsatzmengen usw.) zur Auswahl gestellt bekamen. In diesem sind die Bewirtschaftungsgänge enthalten, die im KTBL-Feldarbeitsrechner ausgewiesen sind.

Tabelle 2 und Tabelle 3 zeigen die jeweils unterstellten Leistungen und Kosten die in die Leitungs-Kostenrechnung eingegangen sind. Für die Maschinenkosten wurden Kosten nach KTBL-Feldarbeitsrechner (KTBL, 2013) mit einer Basismechanisierung von 120 kW und 10 ha durchschnittlicher Schlaggröße unterstellt.

Tabelle 1: Versuchsaufbau des großen Gärrestversuchs differenziert nach Standorten und Varianten über den Versuchszeitraum 2009 bis 2012

Jahr	Ascha							Dornburg								
	0% N	50% Gärrest-N	75% Gärrest-N	100% Gärrest-N	125% Gärrest-N	200% Gärrest-N	100% min.N	0% N	50% Gärrest-N	75% Gärrest-N	100% Gärrest-N	125% Gärrest-N	200% Gärrest-N	100% min.N	100% Gärrest-N Thüringen	
2009	Welsches Weidelgras						Welsches Weidelgras	Wintertriticale						Wintertriticale		
	Mais							Mais								
2010	Welsches Weidelgras						Welsches Weidelgras	Wintertriticale						Wintertriticale		
	Mais							Wweizen (Korn)								
2011	Welsches Weidelgras						Welsches Weidelgras	Wintertriticale						Wintertriticale		
	Mais							Mais								
2012	Mais							WWeizen (Korn)								
Jahr	Ettlingen				Gülzow							Werthe				
	75% Gärrest-N	100% Gärrest-N	125% Gärrest-N	100% min.N	0% N	50% Gärrest-N	75% Gärrest-N	100% Gärrest-N	125% Gärrest-N	200% Gärrest-N	100% min.N	75% Gärrest-N	100% Gärrest-N	125% Gärrest-N	100% min.N	
2009	Futterhirse				WTriticale							WTriticale	Welsches Weidelgras			
	Mais				Mais							WTriticale	Mais			
2010	Futterhirse				WTriticale							WTriticale	Welsches Weidelgras			
	Mais				Mais							WTriticale	Mais			
2011	Futterhirse				WTriticale							WTriticale	Welsches Weidelgras			
	Mais				Mais							WTriticale	Mais			
2012	Mais				Mais											

Quelle: Eigene Darstellung



Tabelle 2: Leistungsseitige Annahmen der Leistungs-Kostenrechnung

	Mittlerer TM- Gehalt %	Preis frei Silo, inkl. Ver- dichten und Abdecken	
		€/t TM	€/t FM
Mais	33	112,12	37,00
Sorghum	27	100,30	27,08
Wintertriticale	37	103,00	38,11

Quelle: LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, 2013

Tabelle 3: Kostenseitige Annahmen der Leistungs-Kostenrechnung

	Handelseinheit	Preis je Einheit
		€
Arbeitsstunde	€/Akh	15,00
Diesel	€/L	1,33
Stickstoff	€/kg Reinnährstoff	0,95
Phosphor	€/kg Reinnährstoff	1,85
Kalium	€/kg Reinnährstoff	0,90
Saatgut Mais	€/Einheit	93,50
Saatgut Sorghum	€/kg	17,70
Saatgut Triticale	€/kg	0,53

Quelle: RWZ, 2012

2.2 Berechnung der direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung

Als ökonomische Vergleichsgröße der Bewertung wird die direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAKfL) verwendet. Die Berechnung erfolgt in der allgemeinen Form folgendermaßen:

$$DAKfL = L - (K_V + K_{MaF})$$

Darin sind:

DAKfL	=	Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung in €/ha
L	=	Leistungen in €/ha
K_V	=	Variable Kosten in €/ha
K_{MaF}	=	Fixe Maschinenkosten in €/ha

Für die Fragestellung wurde die Kalkulation konkretisiert. Leistungsseitig wird der Wert des anfallenden Gärrestes mit berücksichtigt. Kostenseitig wird die Ausbringung des Gärrestes sowie des Mineraldüngers entfernungs- und mengenabhängig je nach



Variante berechnet. Unter Verwendung des KTBL-Feldarbeitsrechners (KTBL, 2013) wurde jeweils für Mineraldünger und Gärrest eine Ausbringungsfunktion abgeleitet. Als Ausbringungstechnik wird ein 24 m³ Pumptankwagen mit 12 m Schleppschlauchverteiler und 160 kW Schlepper unterstellt. Hiermit ergibt sich für die entfernungs- und mengenabhängige Ausbringung von Gärrest die Funktion:

$$K_{GME} = 14,703 + Q_{GR} \cdot D_{GR} \cdot 0,176 + Q_{GR} \cdot 2,604$$

Darin sind:

K_{GME} = Mengen- und entfernungsabhängige Kosten der Gärrestausbringung in €/ha

Q_{GR} = Ausgebrachte Gärrestmenge in m³/ha

D_{GR} = Hof-Feldentfernung zum Feld der Ausbringung in km

Demgegenüber steht die Ausbringung von Mineraldünger mit einem Anbauschleuderstreuer mit 1,5 m³ Fassungsvermögen und 67 kW Schlepper. Es ergibt sich die Ausbringungsfunktion wie folgt:

$$K_{MME} = 2,983 + Q_{MD} \cdot D_{MD} \cdot 0,0147 + 0,00732 \cdot Q_{MD}$$

Darin sind:

K_{MME} = Mengen- und entfernungsabhängige Kosten der Mineraldüngerenausbringung in €/ha

Q_{MD} = Ausgebrachte Mineraldüngermenge in kg/ha

D_{MD} = Hof-Feldentfernung zum Feld der Ausbringung in km

Als Referenz für die auszubringende Gärrestmenge wurde die Variante 100 % N mineralisch verwendet und eine Gärrestwirkung von 70 % Mineraldüngeräquivalent unterstellt. Um die korrekte Gärrestmenge zu bestimmen, müssen die Nährstoffgehalte des ausgebrachten Gärrestes bekannt sein. Jedoch unterliegen die Nährstoffgehalte je nach Herkunft des Gärrestes starken Schwankungen. Aus diesem Grund wurde hier zur Vereinfachung die Annahme getroffen, dass die durch die Pflanzen entzogenen Nährstoffe wieder im Gärrest enthalten sein müssen und der erzielte Ertrag mit einem substratspezifischen Fugatfaktor bewertet wird, um die Gesamtgärrestmenge zu bestimmen. Für die auszubringende Gärrestmenge in Bezug zur entsprechenden Variante ergibt sich unter dieser Annahme:



$$Q_{GR} = \frac{MDN_{REF} \cdot V_{XA}}{0,7 \cdot (N_Y / Q_{GRY})}$$

mit

$$Q_{GRY} = \frac{Y_{TM}}{TM_{\%} \cdot F}$$

Darin sind:

- MDN_{REF} = Mineralisch gedüngtes N in der 100% N mineralischen Variante in kg/ha
- V_{XA} = Düngestufe der Variante als Anteil
- N_Y = Gesamtstickstoffmenge im Ertrag in kg
- Q_{GRY} = Aus Ertrag und Fugatfaktor berechnete Gärrestmenge in m³
- Y_{TM} = TM Ertrag in t/ha
- TM_% = TM-Gehalt
- F = Fugatfaktor

Tabelle 4: Kulturartspezifische Nährstoffentzüge und Fugatfaktoren

Kulturart	Ernteprodukt	Nährstoffentzug in kg/t TM ¹⁾			Fugatfaktor ²⁾
		N	P	K	
Mais	Ganzpflanze	13,10	2,20	11,00	0,76
Sorhum	Ganzpflanze	15,50	2,40	18,40	0,89
Triticale	Ganzpflanze	16,00	2,90	11,10	0,75

Quelle: 1) BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2008; 2) KTBL, 2009

Tabelle 4 zeigt die in der Berechnung verwendeten substratspezifischen Nährstoffentzüge und Fugatfaktoren. Bei der Ausbringung wird zwischen der Gärrestmenge differenziert, die durch die vorgegebene Variante ausgebracht werden muss und der Menge, die durch Ertrag entsteht und ausgebracht werden könnte. Die benötigte Menge wird entfernungs- und mengenabhängig mit differenzierten Entfernungsstufen kalkuliert, während die Ausbringung der überschüssigen Gärrestmenge mengenabhängig für eine Durchschnittsentfernung von 5 km als zusätzliche „Entsorgung“ mit pauschal 3,97 €/m³ kalkuliert wird. Weiterhin werden Direktkosten und ein Zinsansatz für das gebundene Kapital von 4 % für vier Monate mit berücksichtigt. Für die fragesstellungsspezifische Berechnung der DAKfL ergibt sich:

$$DAKfL = (L_E + L_G) - (K_{VS} + K_{MaFs} + K_{GME} + K_{MME} + K_D + K_Z + (Q_{GR5} \cdot 3,97))$$



Darin sind:

L_E = Leistung aus Ertrag in €/ha

L_G = Leistung aus Gärrest in €/ha

K_{VS} = Sonstige variable Kosten in €/ha

K_{MaFs} = Sonstige fixe Maschinenkosten in €/ha

K_{GME} = Mengen- und entfernungsabhängige Kosten Gärrestausbringung in €/ha

K_{MME} = Mengen- und entfernungsabhängige Kosten Mineraldüngerausbringung in €/ha

K_D = Direktkosten (Saatgut, Düngemittel, PSM, Hagelversicherung) in €/ha

K_Z = Zinsen für gebundenes Kapital in €/ha (4 % bei 4 monatiger Bindung)

Q_{GR5} = Gärrestmenge, die mit einer Durchschnittsentfernung von 5 km ausgebracht wird in m^3/ha

Es ist hier zu beachten, dass es je nach Variante möglich ist, dass kein Gärrest überschüssig ist oder kein Mineraldünger ausgebracht wird. In dem Fall entfallen die entsprechenden Kostenansätze.

3 Ergebnisse

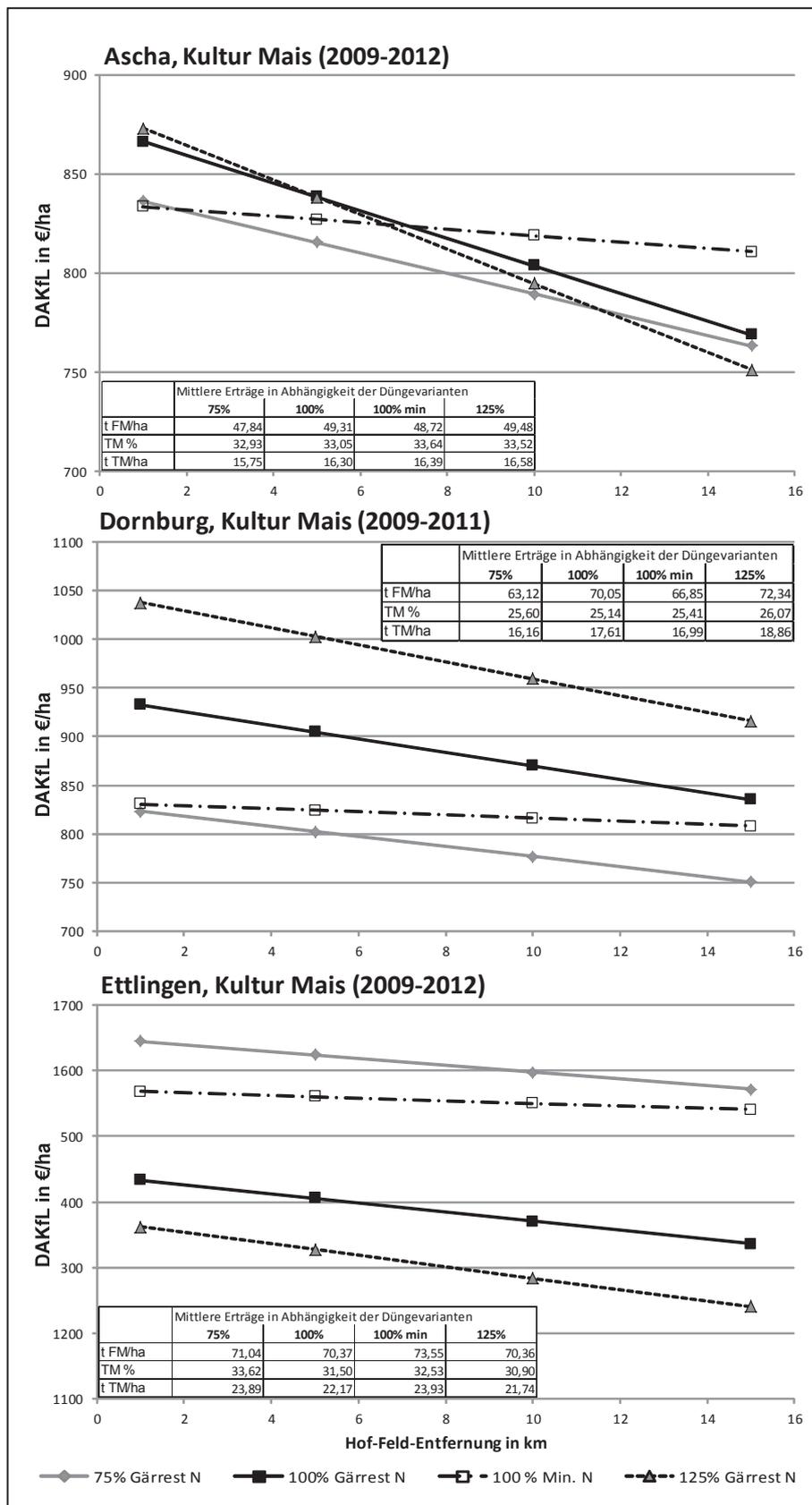
Die Abbildungen 1 bis 3 zeigen die Ergebnisse der DAKfL für die einzelnen Standorte differenziert nach Kulturarten und Varianten im Mittelwert der angegebenen Versuchsjahre und im Kontext zu den mittleren Erträgen. Generell zeigt sich, dass mit zunehmender Hof-Feldentfernung die DAKfL erwartungsgemäß stark abfallen. Die Unterschiede zwischen Mineraldünger- und Gärrestvarianten sind jedoch geringer als erwartet. Daraus resultiert, dass unter den getroffenen Annahmen und in der Spanne der betrachteten Hof-Feldentfernungen die Gärrestausbringung ökonomisch in den meisten Fällen und vor allem auf Hof nahen Flächen gegenüber der Mineraldüngung vorzuzüglich ist. Besonders deutlich wird dies an den Standorten Dornburg, Ettlingen und Gülzow für die Kultur Silomais. Aufgrund der mittleren Erträge ist hier eine starke Gärrestwirkung zu vermuten. In Dornburg ist für Mais die 125 %-Gärrest-N-Variante, selbst auf hoffernen Flächen, die vorzüglichste Düngungsvariante (vgl. Abbildung 1). Eine reine mineralische N-Düngung ist in Dornburg für Mais nur der 75 %-Gärrest-N-Variante überlegen. Im Vergleich dazu schneidet die Gärrestdüngung bei der Kultur Wintertriticale am selben Standort deutlich schlechter ab (vgl. Abbildung 3). Hier kann lediglich die 125 %-Gärrest-N-Variante bis in eine Hof-Feldentfernung von 2 km konkurrieren, während bei höheren Entfernungen die reine mineralische N-Düngung



die höchste DAKfL erzielen kann. Am Standort Gülzow verhalten sich die direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistungen ähnlich. Bei Silomais sind alle Gärrest-Düngungsvarianten der mineralischen N-Düngung überlegen. Im Vergleich weist die mineralische N-Düngungsvariante bei Wintertriticale eine mit Abstand deutlich höhere DAKfL auf. Im Vergleich zum Standort Dornburg ist hier der ökonomische Vorteil der mineralischen Düngung bei Wintertriticale nochmals stärker ausgeprägt. Am Standort Ettlingen wird die höchste DAKfL mit der 75 %-Gärrest-N-Variante erreicht. Jedoch ist hier der Abstand zur mineralischen Variante mit ca. 100 €/ha bei 1 km Hof-Feldentfernung relativ gering und nimmt mit steigender Entfernung stark ab. Die Kultur Sorghum am selben Standort zeigt hier deutliche Parallelen zur Kultur Silomais, auch wenn hierbei deutliche Unterschiede im FM-Ertragsniveau bestehen, womit eine höhere Menge Gärrest anfällt und somit sich die DAKfL mit steigender Entfernung schneller reduziert als bei Silomais.



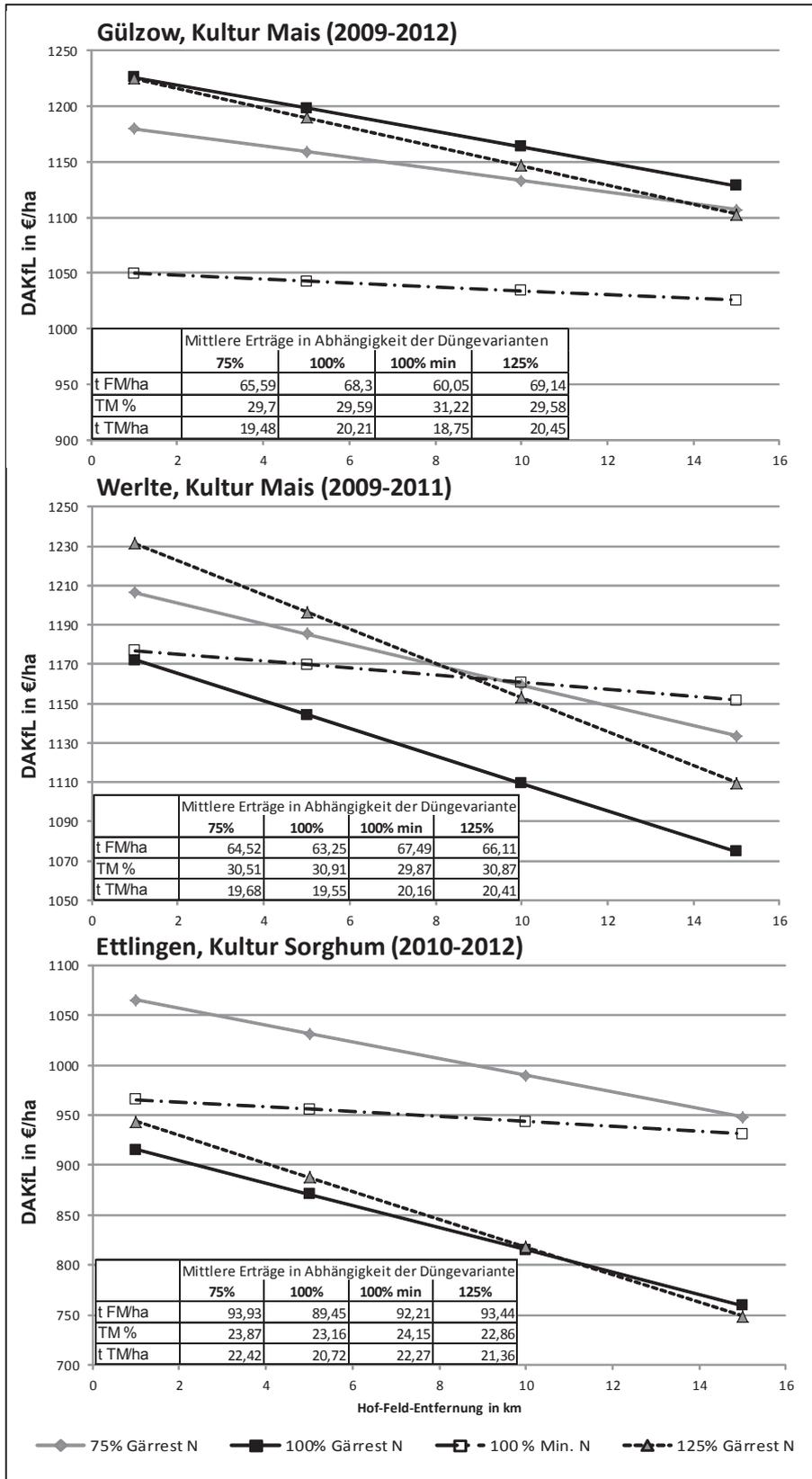
Abbildung 1: DAKfL für Mais in Abhängigkeit der Gärresttransportentfernung an den Standorte Ascha, Dornburg und Ettlingen



Quelle: Eigene Darstellung



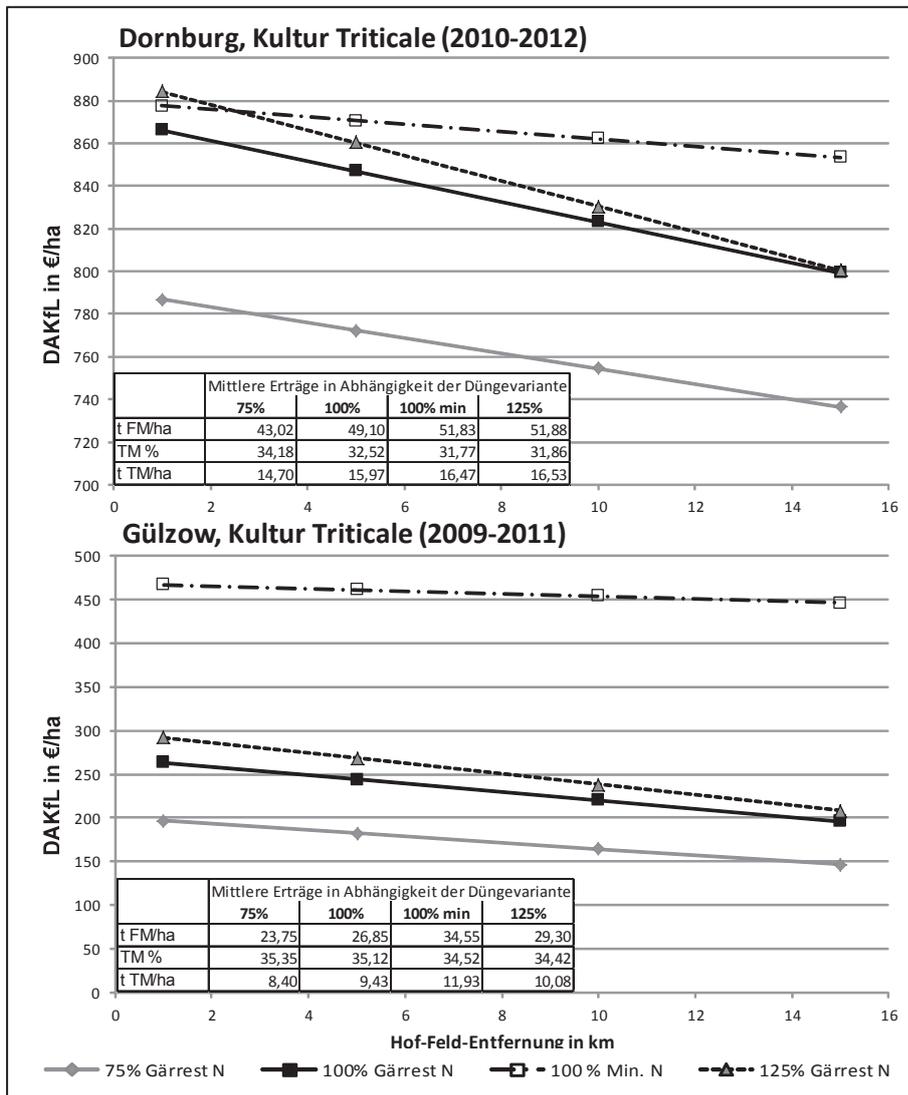
Abbildung 2: DAKfL für Mais in Abhängigkeit der Gärresttransportentfernung an den Standorten Gülzow und Werlte, sowie für Sorghum in Ettlingen



Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 3: DAKfL für Triticale in Abhängigkeit der Gärresttransportentfernung an den Standorten Dornburg und Gülzow



Quelle: Eigene Darstellung

Die DAKfL bei den Standorten Ascha und Werlte hingegen verhält sich im Vergleich zu den oben beschriebenen Standorten differenziert. Die Unterschiede in der DAKfL zwischen den Gärrestvarianten und der 100 %-N-mineralisch-Variante sind hier besonders gering (maximal ca. 60-70 €/ha). Der Grund hierfür liegt in den Erträgen zwischen den Varianten. Während in Dornburg, Ettligen und Gülzow anhand der Erträge und direktem Vergleich der 100 % Gärrest-N und 100 % mineralisch-N eine bessere Wirksamkeit des Gärrestes zu vermuten ist, ist dies in Ascha und Werlte nicht zu erkennen.



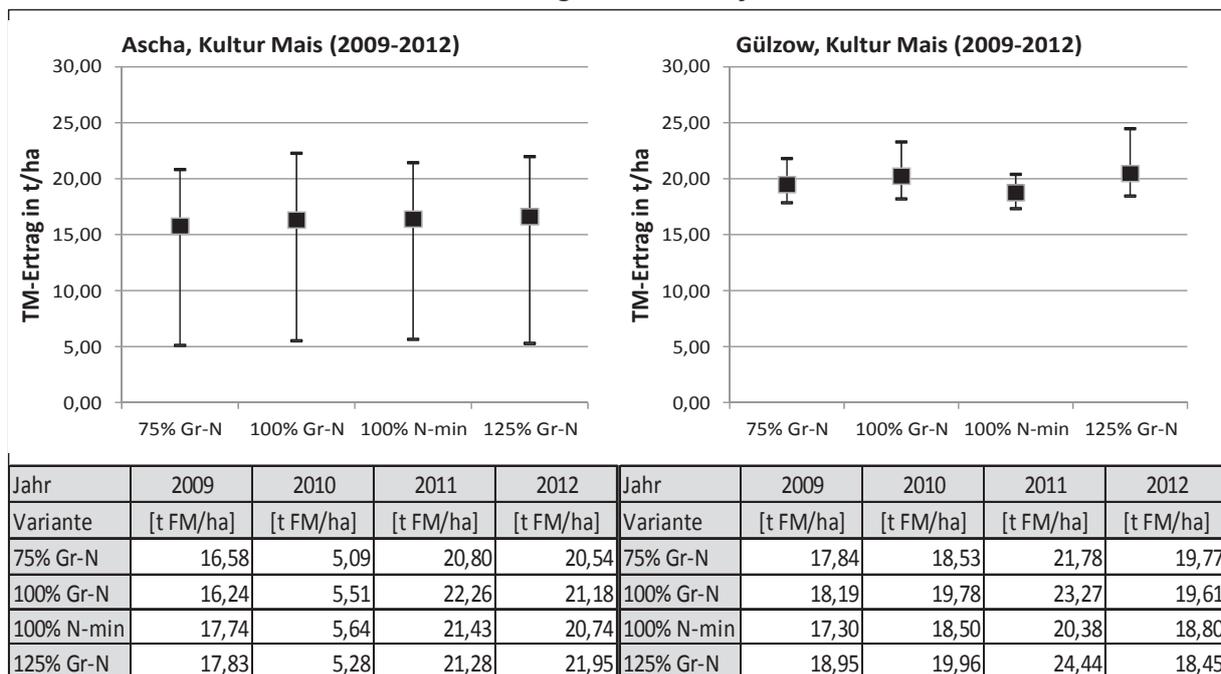
4 Diskussion

Es zeigt sich, dass besonders Gärrestvarianten mit hohen Stickstoffmengen in der DAKfL teilweise vorzüglicher sind als die Varianten mit geringen Stickstoffmengen (Silomais Standort Dornburg, Gülzow, Ascha und Werlte bei hofnahen Flächen). Hier wird durch die Erlöse der Ertragssteigerung der ebenfalls erhöhte Transportaufwand überkompensiert. In diesen Fällen ist der Effekt der Transportentfernung nur zweitrangig. Bei ähnlichen Ertragsniveaus der Varianten wie in Ascha und Werlte bei Silomais wird der Effekt der Transportentfernung jedoch deutlich. In der Kalkulation wurden die Änderung der Transportkosten in Abhängigkeit zur Entfernung für das Erntegut sowie die Ernte nicht berücksichtigt. Dies würde die DAKfL der Verfahren mit der größeren Entfernung und das DAKfL-Niveau insgesamt absenken. Die Reihenfolge der Vorzüglichkeit der Gärrestvarianten ändert sich durch diese Vereinfachung jedoch nicht, da die Erträge der Varianten relativ einheitlich waren und somit zu ähnlich hohen Transportkosten geführt hätten.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass das Niveau der DAKfL stark vom Ertragsniveau abhängig ist. Aufgrund der Annahme einer Ertragswirksamkeit der Gärrestgabe, muss davon ausgegangen werden, dass die Standorte über das Mittel der Jahre eine differenzierte Sensitivität der Gärrestdüngung auf den Ertrag aufweisen (vgl. Abbildung 1-3). Da die Witterungsbedingungen von Jahr zu Jahr differieren, muss mit durch Jahreseffekte geprägten Ergebnissen gerechnet werden. Durch die Bildung der mittleren DAKfL über die Versuchsjahre sollen die Jahreseffekte ausnivelliert werden. Aufgrund der kurzen Versuchsdauer ist es jedoch möglich, dass besondere Witterungsextremen in einzelnen Jahren einen starken Einfluss ausüben. Tatsächlich war besonders das Jahr 2010 hinsichtlich der Silomaisernte als extrem anzusehen. Als Beispiel ist in Abbildung 4 zu sehen, dass sich die besonderen Witterungsbedingungen in Ascha an den TM-Erträgen der Kultur Silomais besonders stark auswirkten. Am Standort Gülzow ist hingegen kein besonderer Jahreseffekt für das Jahr 2010 zu erkennen. Es wird deutlich, dass es sich hier um Standorteffekte handelt, die es mit zu berücksichtigen gilt. Mit Fortschreibung der Versuchsdaten werden sich diese Extreme weiter ausgleichen und an die langfristigen, standorttypischen Ertragsdaten annähern.



Abbildung 4: Minima, Maxima und Mittelwert der Erträge am Standort Ascha und Gülzow differenziert nach Varianten für die berücksichtigten Versuchsjahre 2009–2012



Quelle: Eigene Darstellung

5 Fazit

Die oben gezeigten Ergebnisse zeigen, dass die Gärrestausbringung zur Stickstoffdüngung unter Berücksichtigung des Nährstoffrückflusses in den meisten Fällen gegenüber der mineralischen N-Düngung ökonomisch vorzuzüglich ist. Dies gilt vor allem für die Kulturen Silomais und Sorghum. Bei Wintertriticale ist die Düngung mit Gärresten hingegen nicht wirtschaftlich, wobei diese Aussage sich nur auf den Standort Dornburg und Gülzow bezieht. Für die übrigen Standorte liegen für Wintertriticale keine Daten vor.

Generell ist zu empfehlen, Gärreste möglichst hofnah und auf Kulturen mit hoher Gärrestverwertung auszubringen. Kulturen mit schlechter Gärrestverwertung, wie hier am Beispiel Triticale gezeigt, sollten mineralisch gedüngt werden, um Verluste in der DAKfL zu vermeiden.

Trotz des relativ geringen Umfangs an Versuchsjahren kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse die standörtlichen Gegebenheiten korrekt widerspiegeln. In der dritten Projektphase werden die Versuche fortgeschrieben, sodass mit der weiteren Präzisierung der Ergebnisse gerechnet werden kann.



Literatur

- AURBACHER, J., KORNAZ, P. und MÜLLER, J. (2014): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands – Phase II, Teilvorhaben 3: Ökonomische Bewertung des Anbaus und der Nutzung von Energiepflanzen (Ökonomische Begleitforschung) – Abschlussbericht, Gießen.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2008): Nährstoffgehalte von Haupt- und Zwischenfrüchten.
http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/mineralisch/10536/linkurl_0_10_0_0.pdf.
Abgerufen am 20.08.2012.
- FACHVERBAND BIOGAS (2014): Branchenzahlen 2013 und Prognose 2014. Internetpublikation.
http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahle;. Abgerufen am 23.07.2014.
- KTBL (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt.
- KTBL (2013): Feldarbeitsrechner. Internetpublikation.
<http://daten.ktbl.de/feldarbeit/home.html>; Abgerufen am 19.09.2013.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2013): Substartpreise für Mais, Sorghum und Wintertriticale GPS. Telefonische Auskunft vom 06.09.2013.
- RWZ (2012): Sattgutpreise Roggen und Sorghum. Raiffeisen Waren-Zentrale Rhein-Main eG. Köln, 2012.
- SCHROERS, J. und SAUER, N. (2011): Die Leistungs-Kostenrechnung in der landwirtschaftlichen Betriebsplanung. KTBL-Schrift 486. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt.

Anschrift des Kontaktautors

*Dipl. Geogr. Peter Kornatz
Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft
Senckenbergstraße 3, 35390 Gießen, Germany
Tel.: +49 641 99 37243
eMail: Peter.Kornatz@agrار.uni-giessen.de*

APPLIKATIONSTECHNIK ZUR GÜLLEDÜNGUNG: EFFEKTE VON INJEKTION UND ANSÄUERUNG AUF ERTRÄGE UND GASFÖRMIGE STICKSTOFFVERLUSTE

Andreas Pacholski, Achim Seidel, Robert Quakernack, Antje Hermann, Tavs Nyord, Annette V. Vestergaard, Friedhelm Taube, Henning Kage

Zusammenfassung

Emissionen aus der Tierhaltung – aus Ställen, Lagerbehältern und der Ausbringung von organischen Düngern auf Felder und Grünland – sind die wichtigste Quelle für atmosphärisches Ammoniak (NH_3) in Deutschland und der EU. Nährstoffverluste durch NH_3 -Emissionen können zu verringerten Erträgen und Ertragsqualitäten führen. Ammoniak ist das bedeutendste Schadgas landwirtschaftlichen Ursprungs und trägt in beträchtlichem Umfang zur Eutrophierung und Versauerung naturnaher Ökosysteme und zur Bildung kanzerogener Feinstäube bei (ERISMAN et al., 2008). Durch angepasste Applikationstechnik können Ammoniakemissionen deutlich reduziert werden, deren Nutzung aber mit potenziellen negativen wirtschaftlichen (Kosten, Arbeitseffizienz, Ertragsreduktion) und Umweltwirkungen (erhöhten Treibhausgasemissionen, N_2O) verbunden sein können. In der Marsch Schleswig-Holsteins und einem Sandstandort Süddänemarks wurden in Grünland die Wirkung von Injektionssystemen (open-slot injection, verschiedene Injektionsabstände) und eines neuentwickelten Gülleansäuerungssystems (Mischung mit konzentrierter Schwefelsäure, verschiedene pH-Stufen) im Vergleich zur Schleppschlauchausbringung und mineralischer Düngung (KAS) auf NH_3 -Verluste, N_2O -Emissionen und TM-Erträge untersucht. Die Verfahren Injektion und Gülleansäuerung reduzierten NH_3 -Emissionen beträchtlich, ohne die Erträge zu vermindern bzw. mit signifikantem Ertragszuwachs auf dem Sandstandort. Die Ansäuerung führte dabei zu einer stabileren Reduktion der NH_3 -Verluste, da bei trockenen Bodenverhältnissen in der tonreichen Marsch die Reduktionswirkung der Injektion im Vergleich zum Schleppschlauch sehr gering war. Sowohl bei Injektion als auch bei Ansäuerung wurde keine Erhöhung der N_2O -Emissionen im Vergleich zur einfachen Schleppschlauchausbringung festgestellt. Die mehrmalige Injektion von Gülle auf derselben Parzelle innerhalb eines Versuchsjahres war in beiden Versuchsjahren nicht negativ ertragswirksam.



Keywords

Ammoniakemissionen, Gülleapplikationstechnik, Schwefelsäure, Grünland, Erträge, N₂O, Ansäuerung, Injektion

1 Einleitung

Neben mineralischen Düngern sind flüssige organische Düngemittel (Güllen) die wichtigsten Nährstoffquellen v.a. von Stickstoff in der acker- und futterbaulichen Produktion (GUTSER et al., 2005). Zusätzlich zu dieser direkten Düngewirkung sind sie auch von großer Bedeutung für die Aufrechterhaltung der Kohlenstoffspeicherung (Humus) im Boden und dem damit verbundenen positiven Eigenschaften für die pflanzenbauliche Produktion (Wasserspeicherung, Aggregatstabilität, Nährstoffnachlieferung etc.). Bezogen auf die vollständige Erfassung der N-/P-Flüsse aus organischen Düngern im Anbausystem liegen bisher nur wenige Arbeiten vor. Dies betrifft insbesondere N- und P-Austräge über Sickerwasser- und Oberflächenabfluss/Erosion sowie gasförmige N-Verluste als Ammoniak (NH₃) und dem Treibhausgas Lachgas (N₂O).

Dabei stellen NH₃-Verluste aus organischen Düngern die größte Quelle für atmosphärisches NH₃ in Deutschland und der EU dar (SUTTON et al., 2011). Geringe N-Effizienz und negative Umweltwirkungen sind zum einen auf ungleichmäßige bzw. überhöhte Ausbringungsmengen von Gülle bei regional ungleichmäßiger Verteilung von tierhaltenden bzw. Biogas-Betrieben zurückzuführen. Andererseits besteht noch beträchtlicher Verbesserungsbedarf bei der Ausbringungstechnik bezüglich N-Effizienz und Ammoniakverlusten. Einfache Ausbringungstechniken wie Prallteller oder Schleppschlauch sind mit geringen Kosten, aber relativ hohen NH₃-Verlusten verbunden (SOMMER und HUTCHINGS, 2001). Andererseits sind emissionsmindernde Verfahren wie Schleppschuh oder Injektion zwar mit höheren Kosten und geringerer Schlagkraft verknüpft, erhöhen jedoch auch die N-Verwertungseffizienz (LORENZ und STEFFENS, 2011). Bei fortgeschrittener Bestandsentwicklung sind diese Techniken im Gegensatz zum Schleppschlauch schwer oder gar nicht einzusetzen. Zusätzlich findet die Injektion von Gülle auf Grünland aufgrund potenzieller Schädigung der Narbe eine geringe Akzeptanz. Darüber hinaus existieren Hinweise darauf, dass Injektion von Gülle und andere Einarbeitungsverfahren zu erhöhten N₂O-Emissionen führen können (VELTHOF et al., 2003; FLESSA und BEESE, 2000). Die notwendige Optimierung der Gülleapplikationstechnik auf den landwirtschaftlichen Betrieben ergibt sich



auch aus den Vorschlägen zur Novellierung der Düngeverordnung sowie aus den bereits existierenden Regelungen in den Nachbarländern Dänemark und Niederlande, die jeweils den Einsatz von Pralltellern untersagen.

In Dänemark wurde in den letzten Jahren ein neues Gülleausbringungssystem entwickelt, das durch eine Schlepper basierte Ansäuerung von Gülle mit Schwefelsäure NH_3 -Verluste nach Schleppschlauchausbringung beträchtlich reduzieren soll. Zusätzlich zur Wirkung der Reduzierung der NH_3 -Verluste soll hiermit auch eine kostengünstige Schwefeldüngung erreicht werden.

Vor diesem Hintergrund wurden in den Jahren 2011 und 2012 von der CAU zusammen mit Kollegen von der Universität Aarhus, Dänemark, sowie mit Unterstützung der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Feldversuche auf 2 Grünlandstandorten in einer Kalkmarsch Nordfrieslands sowie auf einem Sandboden in Dänemark angelegt. In diesen Versuchen wurde untersucht, welche NH_3 -Emissionspotentiale, Erträge und N_2O -Emissionen mit verschiedenen Gülleapplikationssystemen im Grünland verknüpft sind.

2 Material und Methoden

2.1 Aufbau der Feldversuche

Die Feldversuche wurden in als randomisierte Blockanlagen etabliert. Details bezüglich Düngung und Management der Flächen werden in Tabelle 1 wiedergegeben. Im Jahr 2011 wurde bei einer einheitlichen N-Düngung auf optimalem Düngungsniveau (320 kg N/ha) die Injektion von Biogasgärresten an 3 Terminen mit Schleppschlauchausbringung und Düngung von KAS mit und ohne Anwendung der Injektionstechnik verglichen.

Im Jahr 2012 erfolgte auf einem anderen Standort ein Vergleichsversuch mit 4 N-Teilgaben von Rindergülle mit Injektion in zwei Injektionsabständen (17.5 cm und 35 cm), Ansäuerung auf 2 pH-Stufen (6.5 und 6), Schlappschlauchausbringung (Gesamt 320 kg Ammonium-N) sowie KAS Düngung in 3 N-Stufen (Gesamt N: 160, 320, 480 kg N/ha). Die mögliche zusätzliche Wirkung der S-Düngung durch Ansäuerung wurde in den anderen Varianten mit einer einmaligen S-Düngung (50 kg S/ha) zur ersten N Gabe kompensiert. Dieser Versuch wurde im Jahr 2012 leicht modifiziert auch auf einem grenznahen Sandstandort in Dänemark durchgeführt (Tabelle 1). Jedes Versuchsglied wurde in 4-facher Wiederholung geprüft.



Tabelle 1: Experimente zu unterschiedlichen Applikationstechniken von organischen Düngern im Vergleich zu mineralischer Düngung in Deutschland und Dänemark in den Jahren 2011 und 2012

2011	Deutschland (Kalkmarsch)	
Kultur/Ernten	Ackergras, 2. – 4. Schnitt	
N-Dünger	Gärrest (6.5 % TS, 3.3 kg/t NH ₄ ⁺ N, 5 kg/t N _{ges} , pH 7.8), KAS:	
Düngestufen/ Schnitt (kg N/ha)	Biogasgärrest (als N _{ges}), KAS: 120/60/60	
Applikations- techniken	Kontrolle (keine Düngung) Gärrest: Schleppschauch, Injektion KAS: Streuer, Injektion (trock.) + KAS, Injektion KAS-Lösung	
2012	Deutschland (Kalkmarsch)	Dänemark (Sandboden)
Kultur/Ernten	Ackergras, 1.-4. Schnitt	Klee gras, 1.-2. Schnitt
N-Dünger	Rindergülle (10 % TS, 2.7 kg/t NH ₄ ⁺ N, 5 kg/t N _{ges} , pH 7.2), KAS	Rindergülle (7 % TS, 2 kg/t NH ₄ ⁺ N, 3.3 kg/t N _{ges} , pH 7.1), KAS
Düngestufen/ Schnitt (kg N/ha)	Gülle (als H ₄ ⁺ -N): 80/80/60/60 KAS: 180/120/60; 120/80/40; 90/60/30; 90/60/30 Kontrolle (keine Düngung)	Gülle (als NH ₄ ⁺ -N): 80+40(KAS)/50+30(KAS) KAS: 160/120/80; 100/80/50 Kontrolle (keine Düngung)
Applikations- techniken	Gülle: Injektion (a. 17.5; b. 35 cm), Ansäuerung (c. pH 6; d. pH 6.5), e. Schleppschauch, KAS: Streuer	

2.2 Messungen

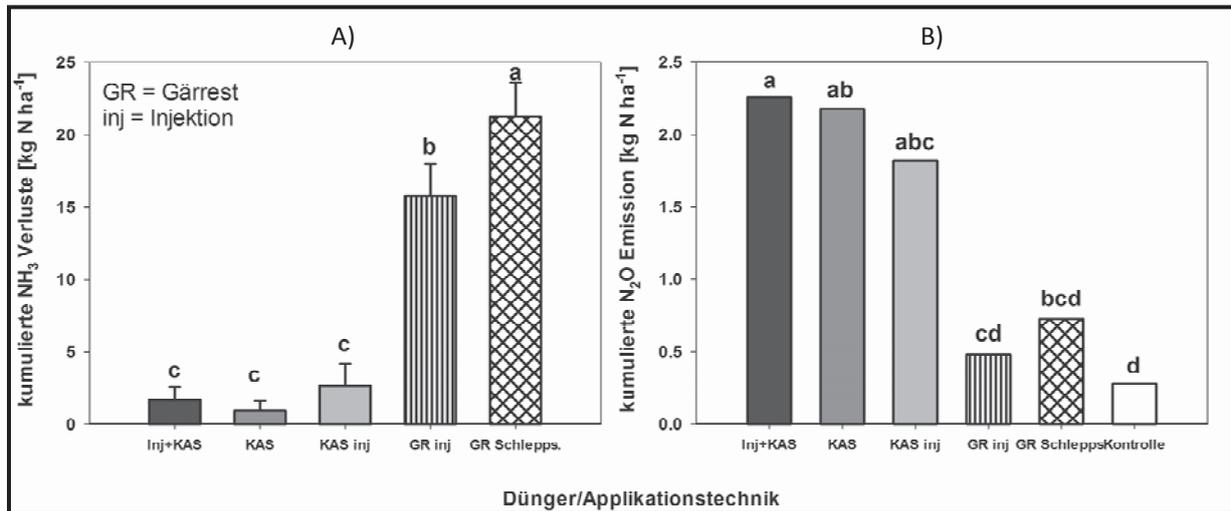
Verluste durch Ammoniakverflüchtigung wurden mit einer Kombination von einer kalibrierter Kammermethode (PACHOLSKI et al., 2006) und Passivsammlern erfasst (GERIKE et al., 2011). N₂O-Emissionen wurden unmittelbar nach Applikation (1Woche) täglich und danach wöchentlich mit der ‚closed chamber‘-Methode (HUTCHINSON und MOSIER, 1981) ermittelt. Erträge wurden durch Handerntn und mit Parzellenhäckslern bestimmt.

3 Ergebnisse

Die Versuchsergebnisse unterscheiden sich zum Teil deutlich zwischen den beiden Versuchsjahren. Aufgrund sehr trockener Bodenverhältnisse im Versuchsjahr 2011 führte die Injektion von Gärresten nur bei einer von drei Applikationen zur Reduktion der NH₃-Emissionen um mehr als 50 % gegenüber Schleppschauchapplikation. Aufsummiert über alle Applikationen wurden die NH₃-Emissionen um NUR etwa 25 % reduziert (Abbildung 1a). Auch bei der Düngung mit KAS wurden geringe NH₃-

Verluste festgestellt. Die Injektion der Gärreste hatte keine Erhöhung der N_2O -Emissionen zur Folge (Abbildung 1b).

Abbildung 1: Kumulierte gasförmige N-Emissionen nach Düngung von Ackergras mit KAS und Gärresten unter Verwendung unterschiedlicher Applikationstechniken: A) NH_3 -Verluste, B) N_2O -Verluste; Buchstaben indizieren signifikante Unterschiede ($p < 0.05$); Einfaktorielle ANOVA, Student-Newman-Keuls Test



Die Injektion in Kombination mit KAS-Düngung führte zu leicht aber nicht signifikant reduzierten Erträgen (Abbildung 2). Signifikant war dieser Effekt bezüglich der N-Aufnahme nach Injektion von KAS-Lösung (Abbildung 3). Zwischen den beiden organischen Varianten traten sowohl bei den Erträgen und bei der N-Aufnahme keine signifikanten Unterschiede auf. Dies indiziert eine Ertragsreduktion der Injektionstechnik auch bei ausreichender N-Versorgung. Auch die Injektion von Gärresten führte zu einer leichten Reduktion der Erträge, welche aber durch die verringerten NH_3 -Emissionen kompensiert wurde. Es bestand deshalb der Trend zu leicht erhöhter N-Aufnahme nach Gärrestinjektion.



Abbildung 2: Graserträge nach Düngung mit KAS und Gärresten unter Verwendung unterschiedlicher Applikationstechniken, Buchstaben indizieren signifikante Unterschiede ($p < 0.05$); einfaktorielle ANOVA, Student-Newman-Keuls Test

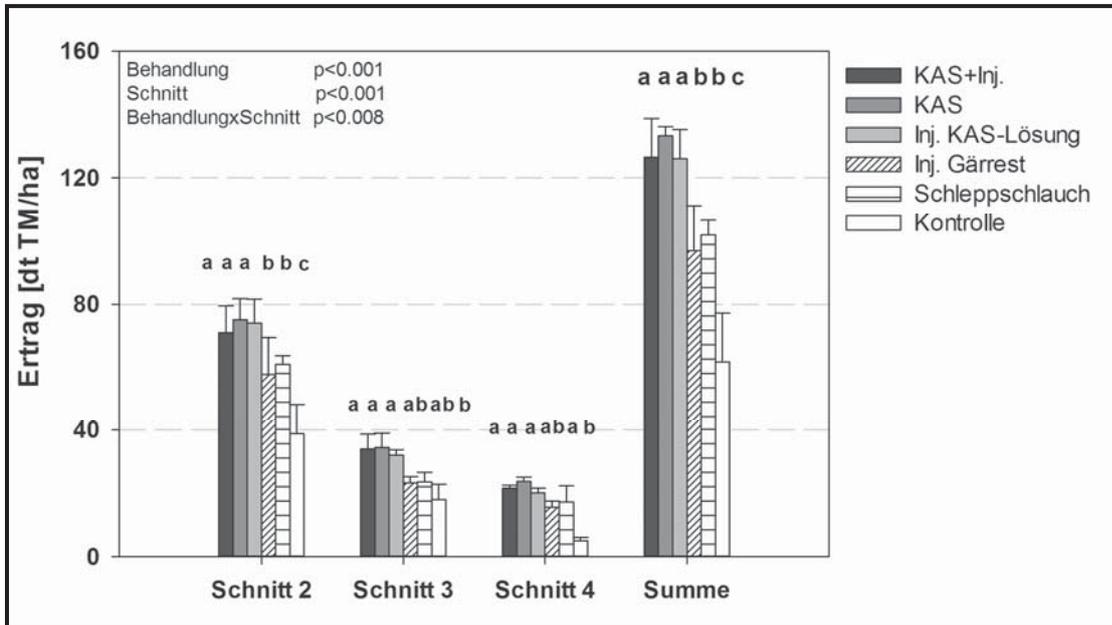
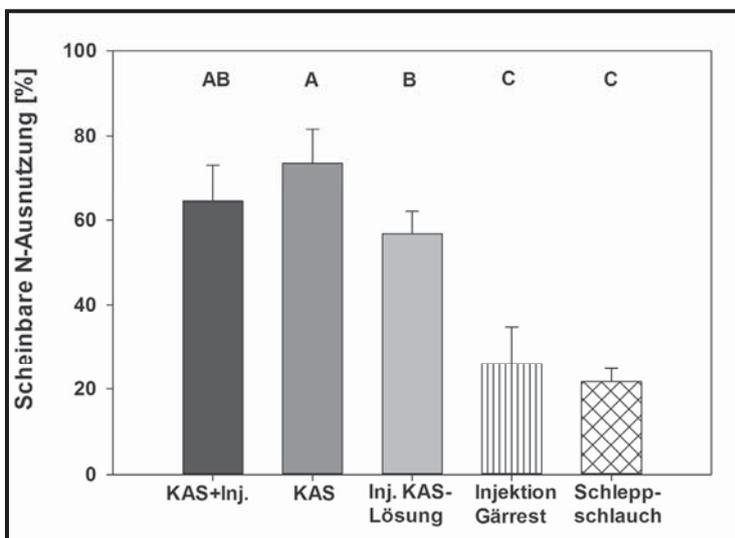


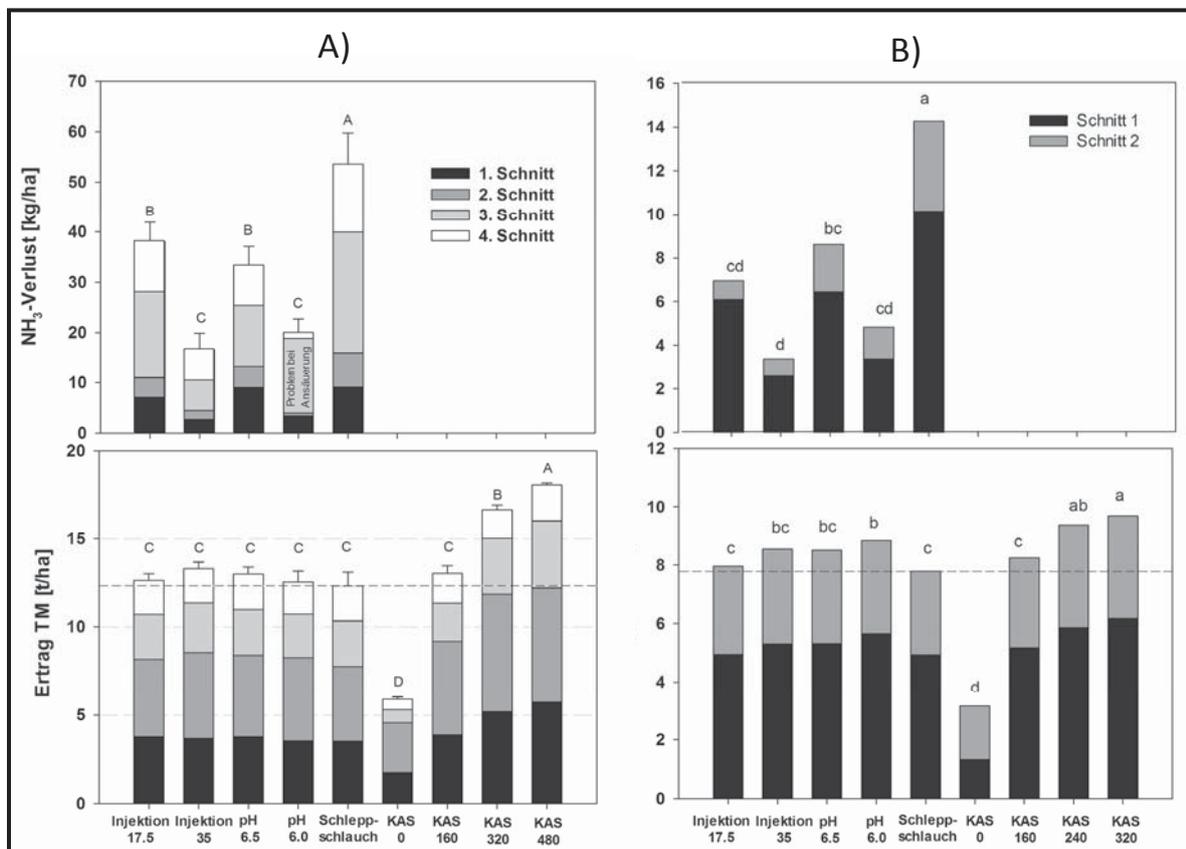
Abbildung 3: Scheinbare N-Ausnutzung* von Ackergras nach Düngung mit KAS und Gärresten unter Verwendung unterschiedlicher Applikationstechniken: A) NH_3 -Verluste, B.) N_2O -Verluste; Buchstaben indizieren signifikante Unterschiede ($p < 0.05$); einfaktorielle ANOVA, Student-Newman-Keuls Test, * = $(\text{N-Aufnahme}(\text{gedüngt}) - \text{N-Aufnahme}(\text{Kontrolle})) / \text{N-Düngung}$ (kg N/ha)



Im Jahr 2012 wurden sowohl durch Injektion als auch durch Ansäuerung die NH_3 -Verluste signifikant um mindestens 40 % im Vergleich zur Schleppschlauchausbringung reduziert. Die stärkste Reduktion wurde durch eine pH-Wertabsenkung auf pH 6 erreicht (-70-90 %). Eine Vergrößerung der Abstände bei der Injektion führte ebenfalls zu einer ähnlichen Verringerung der Emissionen im Vergleich zur Schleppschlauchvariante (Abbildung 4a+b). Die bei weitem höchsten Verluste wurden bei der

Ausbringung mit Schleppschauch ermittelt. Bezüglich der Erträge wurden in der Marsch keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Gülleausbringungstechniken, auch nicht bei einzelnen Schnitten, detektiert (Abbildung 4a). Tendenziell wiesen die Varianten mit Schleppschauchausbringung die geringsten Erträge auf. Auf dem dänischen Standort hingegen war der positive Ertrags-effekt einzelner emissionssparender Techniken zum Teil signifikant (Abbildung 4 b). Die Ansäuerung hatte hier bei pH 6 einen signifikant höheren Ertrag im Vergleich zum Schleppschauch zur Folge.

Abbildung 4: Absolute NH_3 -Verluste und Trockenmasseerträge in Abhängigkeit von der Ausbringungstechnik, A) Deutschland, Nordfriesland, Kalkmarsch, B) Dänemark, Südjütland, Sandboden, Zahlen unter KAS = kg N/ha, n = 4, einfaktorische ANOVA, Student-Newman-Keuls-Test, Buchstaben indizieren unterschiedliche Signifikanzniveaus, $p < 0,05$



Insgesamt war die N-Wirkung der N-Dünger auf dem Marschstandort relativ gering und lag unterhalb der angenommenen Effizienz bezogen auf die ausgebrachten Ammonium-Mengen. Diese Reduktion der N-Wirkung kann nur zum Teil durch NH_3 -Emissionen erklärt werden. Auf dem Marschstandort ist hier eventuell eine starke Bindung von Ammonium an dem tonreichen Bodenmaterial von Bedeutung. Anders als in vielen anderen Studien führte die Injektion von Gärresten bzw. Rindergülle nicht zu einer Erhöhung der N_2O -Emissionen, zwischen den verschiedenen organi-



schen Düngungsvarianten wurde in beiden Jahren kein signifikanter Unterschied detektiert. Bei den angesäuerten Varianten wurden allerdings tendenziell leicht erhöhte N₂O-Emissionen ermittelt (Daten nicht gezeigt). Deutlich höher lagen die N₂O-Emissionen bei mineralischer Düngung und dies über den höheren Anteil an mineralischem N in diesen Düngern hinaus. KAS wies in diesen Versuchen somit höhere N₂O Emissionen bezogen auf die applizierten Dünger-N-Mengen auf.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Verfahren Injektion und Gülleansäuerung reduzierten NH₃-Emissionen deutlich, ohne die Erträge zu vermindern bzw. mit signifikantem Ertragszuwachs auf dem Sandstandort. Sowohl bei Injektion als auch bei Ansäuerung wurde keine Erhöhung der N₂O-Emissionen im Vergleich zur einfachen Schleppschlauchausbringung festgestellt. Die mehrmalige Injektion von Gülle auf derselben Parzelle innerhalb eines Versuchsjahres war in beiden Versuchsjahren nicht negativ ertragswirksam. Es handelt es sich bei den hier vorgestellten Daten um erste Versuchsergebnisse, welche durch weitere und mehrjährige Untersuchungen konsolidiert werden sollen. Die geringe N-Effizienz der ausgebrachten organischen N-Dünger auf dem Marschstandort unabhängig von der Ausbringungstechnik ist noch weiter aufzuklären.

Bei der Injektion wurden in vorhergehenden Studien allerdings nach mehrjähriger Anwendung Probleme mit der Narbengesundheit festgestellt. Dieser Nachteil entfällt bei der Ansäuerung. Hier könnte evtl. eine reduzierende Wirkung auf den Kleeanteil in der Narbe die Folge sein. Da die Ansäuerung letztlich eine Gülleausbringung mit dem Schleppschlauch darstellt, ist dieses emissionsmindernde Verfahren im Vergleich zur Injektion durch einen geringeren Energieaufwand und einer höheren Ausbringungsgeschwindigkeit und die Anwendbarkeit auch in hohen Getreide-Beständen gekennzeichnet. Bei der Ansäuerung kann die S-Düngung durch die eingemischte Schwefelsäure als vorteilhaft angesehen werden, welche auf Grünland sonst häufig nicht routinemäßig durchgeführt wird oder durch zusätzliche Ausbringung mit höheren Kosten verbunden sein kann. In verschiedenen internationalen Versuchen wurde beobachtet, dass die Ansäuerung von organischen Düngern zu einer deutlich verbesserten P-Verfügbarkeit und P-Aufnahme der angebauten Kultur führt. In der gesamten Prozesskette kann außerdem durch Ansäuerung die Treibhausgasemissionen von organischen Düngungssystemen deutlich verringert werden (FANGUIERO und HJORTH, 2013).



Bei Gärresten mit hohen pH-Werten besteht noch die Frage des notwendigen Säureaufwandes, der evtl. deutlich höher als bei Rinder- oder Schweinegülle liegen kann, und der davon abhängigen Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Ansäuerung von organischen Düngern kann potenziell zu erhöhten Geruchsemissionen führen, da einige geruchsintensive Substanzen (z.B. Buttersäure) erst bei geringeren pH-Werten frei löslich und volatil sind. Eventuell kann die Ansäuerung zur Erhöhung der Löslichkeit, Pflanzenaufnahme, Mobilität aber auch Anreicherung von unerwünschten Kontaminationen wie Schwermetallen und synthetischen organischen Verbindungen (z.B. Agro-Pharmazeutika) beitragen. Diese potenziellen negativen Wirkungen der Ansäuerung sind zurzeit noch hypothetisch und bedürfen weiterer Untersuchungen.

Danksagung

Wir danken Edgar Techow und Hans-Christian Hinrichsen von der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein für die Unterstützung und die gute Zusammenarbeit. Die Erhebung der Daten erfolgte mit der Unterstützung wissenschaftlicher und technischer Mitarbeiter, denen unser besonderer Dank gilt: Stefanie Rost, Anna Techow.

Literatur

- ERISMAN, J. W., BLEEKER, A., HENSEN, A. und VERMEULEN, A. (2008): Agricultural air quality in Europe and the future perspectives, *Atmospheric Environment* 42(14), S. 3209-3217.
- GERICKE, D., PACHOLSKI, A. und KAGE, H. (2011): Measurement of ammonia emissions in multi-plot field experiments, *Biosystems Engineering*, 108(2), S.164-173.
- GUTSER, R., EBERTSEDER, T., WEBER, A., SCHRAMML, M. und SCHMIDHALTER, U. (2005): Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. – *Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 168, S. 439-446.
- FANGUEIRO, D. und HJORTH, M. (2013): Animal Slurry acidification: more than a solution for ammonia emission abatement? *ManuResource 2013 book of abstracts*, ManuResource 2013, 05/12/13-06/12/13, Bruges, Belgium.
- FLESSA, H. und BEESE, F. (2000): Laboratory estimates of trace gas emissions following surface application and injection of cattle slurry. *Journal of Environmental Quality* 2, S.262-268.
- HUTCHINSON, G.L. und MOSIER, A.R. (1981): Improved soil cover method for field measurement of nitrous-oxide fluxes. *Soil Sci Soc Am J* 45(2), S. 311–316.
- LORENZ, F. und STEFFENS, G. (2011): Entwicklung und Überprüfung von Techniken zur Gülleausbringung auf Grünland mit geringer Ammoniak- und Geruchsfreisetzung, geringer Nitratauswaschung und guter Ertragswirkung, In: *Elsäßer et*



- al. (Hrsg.), Gülle 11 – Gülle- und Gärrestdüngung auf Grünland, Internationale Tagung, Kloster Reute, S. 51-55.
- PACHOLSKI, A., CAI, G.X., NIEDER, R., RICHTER, J., ZHU, Z.L. und ROELCKE, M. (2006): Calibration of a simple method for determining ammonia volatilization in the field – comparative measurements in Henan Province, China, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74, S. 259-273.
- SOMMER, S.G. und HUTCHINGS, N.J. (2001): Ammonia emission from field applied manure and its reduction – invited paper. – *European Journal of Agronomy* 15, S. 1-15.
- SUTTON, M.A., OENEMA, O., ERISMAN, J.W., LEIP, A., VAN GRINSVEN, H. und WINIWARTER, W. (2011): Too much of a good thing. *Nature* 472 (7342), S. 159-161.
- VELTHOF, G.L., KUIKMAN, P.J. und OENEMA, O. (2003): Nitrous oxide emission from animal manures applied to soil under controlled conditions. *Biology and Fertility of Soils* 37, S. 221-230.

Anschrift des Kontaktautors

Prof. Dr. Andreas Pacholski
Graduate School/Inkubator, ass. Institut für Nachhaltige Chemie und Umweltchemie
Scharnhorststr.1, 21335 Lüneburg
Tel.: +4131 9772906
eMail: pacholski@inkubator.leuphana.de

MOBILITÄT VON STICKSTOFF AUS ORGANISCHEN DÜNGEMITTELN IM BODEN UND DEREN HUMUSREPRODUKTIONSLEISTUNG

Jürgen Reinhold

Zusammenfassung

Die Nährstoffvergleiche nach Düngeverordnung gehen grundsätzlich von einer Gleichwertigkeit organisch und mineralisch gebundener Stickstoffquellen aus. Das steht im Widerspruch zur differenzierten Bewertung organischer Düngemittel bei der Humusversorgung hinsichtlich der Abbaustabilität ihrer organischen Substanz. Durch Zusammenführung der Erkenntnisse aus dem VDLUFA-Standpunkt „Humusbilanzierung“ sowie Ergebnissen aus Untersuchungen organischer Düngemittel und von Dauerfeldversuchen zur Humusversorgung wird ein Vorschlag für die differenzierte Bewertung von unterschiedlich pflanzenverfügbaren Stickstofffraktionen organischer Düngemittel vorgestellt. Für die organischen Düngemittel wird als wichtigstes Ergebnis vorgeschlagen, dass beim Nährstoffvergleich für jedes eingesetzte Humusäquivalent 0,1 kg Gesamt-N von der ausgebrachten Gesamt-N-Menge abgezogen werden und nicht in den Nährstoffvergleich einfließen. Stickstoffmineralisierungen aus dem Humuspool sollten durch N_{\min} -Untersuchungen im Boden erfasst und beim Nährstoffvergleich berücksichtigt werden.

Keywords

Humusversorgung, organische Düngemittel, Nährstoffvergleich, Stickstoffverfügbarkeit

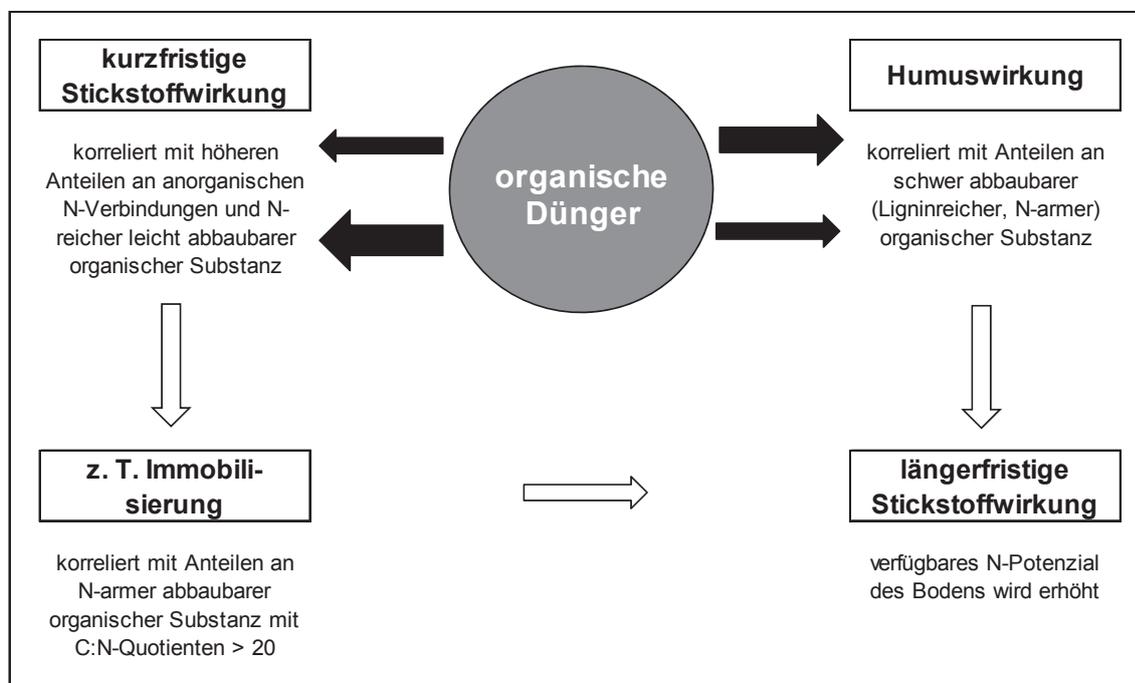
1 Einleitung

In der Düngeverordnung wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass in die Nährstoffvergleiche auch die Gehalte organischer Dünger an organisch gebundenem Stickstoff in voller Höhe eingehen. Hier wird angenommen, dass im Bilanzzeitraum die Stickstoffstabilisierung im Boden durch Humusaufbau der Stickstofffreisetzung durch Mineralisierung organischer Substanz gleichkommt – also ein Fließgleichgewicht der organischen Stickstoffumsetzung im Boden existiert. Dieser Idealzustand wird in der Praxis selten erreicht und widerspricht den Grundlagen der Humusversorgung, die von einer zumindest anteiligen temporären Stabilisierung zugeführter organischer Substanz im Boden ausgeht.



Die Stickstoffwirkung organischer Düngemittel ist weit komplexer und damit schwieriger zu prognostizieren als die der Mineraldüngemittel (GUTSER et al., 2010). Diese Aussage wird aus folgendem Wirkungsschema abgeleitet (siehe Abbildung 1). Eine erhöhende Wirkung organischer Dünger auf den Humusgehalt wird einerseits durch deren stabilisierte organische Substanz (z. B. lignifiziert, inkohlt) mit meist geringen N-Gehalten (weites C:N-Verhältnis) und andererseits durch das Stabilisierungspotenzial des Bodens (z. B. Ton-Humus-Komplex, Mikroporen) verursacht. Dabei kann insbesondere der umsetzbare (teilstabil bis aktiv) aber auch der passive Anteil an organischer Bodensubstanz ansteigen. Dieser Vorgang wird auch als Humusreproduktion bezeichnet.

Abbildung 1: Stickstoff- und Humuswirkung organischer Dünger



Quelle: Eigene Darstellung nach GUTSER und EBERTSEDER (2006)

Die kurzfristige N-Wirkung wird vor allem durch hohe Anteile an mineralischem Stickstoff (bei flüssigen organischen Düngern überwiegend als $\text{NH}_4\text{-N}$) sowie durch leicht abbaubare organische Anteile (meist N-reiche proteinartige Verbindungen) der organischen Düngemittel bestimmt. Diese N-Anteile können im Jahr der Anwendung der organischen Düngemittel wirksam werden, wenn nicht insgesamt eine Luxusversorgung an pflanzenverfügbarem Stickstoff besteht.

Es besteht somit dringender Handlungsbedarf, die Einbeziehung von Stickstoff aus organischen Düngemitteln in die Nährstoffvergleiche nach Düngeverordnung den

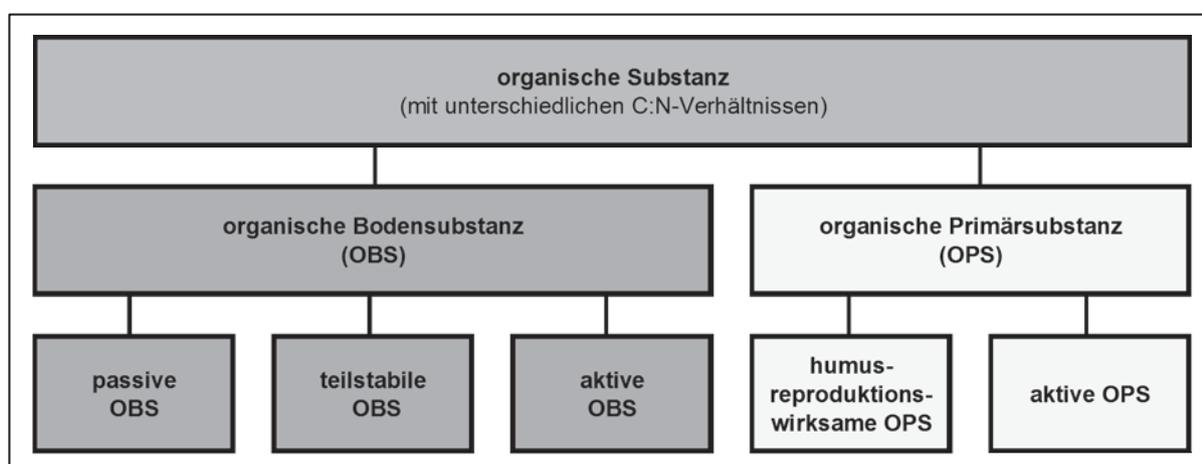


Grundsätzen der Humusversorgung von Ackerböden anzupassen. Die hier vorgestellten Arbeiten wurden durch die Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. angeregt und gefördert.

2 Material und Methoden

Im Boden und in den organischen Düngemitteln sind unterschiedliche Pools organischer Substanz zu berücksichtigen, wenn das Umsetzverhalten von organischem Kohlenstoff und damit in Verbindung von Stickstoff bewertet werden soll. ENGELS et al. (2010) haben diese Pools organischer Substanz im Boden und in organischen Düngemitteln in einer grafischen Übersicht wie folgt dargestellt (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: Pools der organischen Substanz im Boden und in organischen Primärsubstanzen



Quelle: Eigene Darstellung nach v. Lützw et al. (2008)

Die Belange der Versorgung von Ackerböden mit organischer Substanz (Humusversorgung) werden im VDLUFA-Standpunkt „Humusbilanzierung“ (VDLUFA, 2014) eingehend beschrieben. Das hat auch seinen Niederschlag in den Ausführungen der Cross Compliance (DIREKTZAHLUNGEN-VERPFLICHTUNGENVERORDNUNG, 2004) zur Humusversorgung Eingang gefunden – wird also schon in der landwirtschaftlichen Praxis umgesetzt. Für die Bewertung der Stickstoffmobilität organischer Düngemittel sind vor allem die im VDLUFA-Standpunkt „Humusbilanzierung“ genannten Stabilitätsfaktoren bedeutsam und werden hier zur Ableitung von unterschiedlich pflanzenversorgungswirksamen Stickstofffraktionen in organischen Düngemitteln genutzt.

Wie sich die humusreproduktionswirksamen Anteile unterschiedlicher organischer Materialien in das Umsetzverhalten der Böden einordnen wird vor allem durch die Abbaustabilität und das C:N-Verhältnis der organischen Düngemittel bestimmt. Während das C:N-Verhältnis labortechnisch jederzeit messbar ist, sind für die sichere



Erfassung der Abbaustabilität vor allem Ergebnisse aus Dauerfeldversuchen, im Detail untersetzt durch Modelluntersuchungen im Labor erforderlich. Auf der Grundlage von Messergebnissen für C_{org} , N_{ges} und N_{min} ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) sowie der Stabilitätsfaktoren von organischen Düngemitteln hat REINHOLD (2005) einen Vorschlag zur Ableitung der Stickstoffwirksamkeit vorgestellt, der auf der Ableitung von drei unterschiedlich im Boden wirksamen N-Fractionen in den organischen Düngemitteln beruht. Dieser methodische Ansatz soll hier genutzt werden, um die grundlegenden Ausführungen von GUTSER et al. (2010) noch detaillierter untersetzen und besser quantifizieren zu können.

Für die Ableitungen zur Humusreproduktionsleistung und zu den N-Fractionen von organischen Düngemitteln wurden Mittelwerten aus dem Untersuchungsjahr 2012 für RAL-gütegesicherte organische NPK-Düngemittel (BGK, 2013) und den Angaben von REINHOLD und ZORN (2008) zu Wirtschaftsdüngern genutzt. Die betrachteten organischen Düngemittel und deren Ausgangsdaten sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Humus- und stickstoffversorgungsrelevante Eigenschaften ausgewählter organischer Düngemittel

organischer Dünger	Trocken- sub- stanzgehalt in FM-%	C _{org} - Gehalt in TS-%	Stabilitäts- faktor ¹⁾	N-Gehalt in TS-%		C:N- Verhält- nis
				gesamt	löslich	
Grüngut- kompost ²⁾	62,7	20,8	1,50	1,11	0,013	18,7
Biogutkompost ²⁾	63,5	22,5	1,45	1,46	0,065	15,4
Gärprodukt, fest ²⁾	34,1	32,5	1,00	2,49	0,191	13,1
Gärprodukt, flüssig ²⁾	4,4	34,6	0,90	11,17	6,589	3,1
Biogasgülle ³⁾	5,8	39,2	0,85	7,25	5,350	5,4
Schweinegülle ³⁾	5,5	41,8	0,60	7,27	5,636	5,8
Rindergülle ³⁾	8,9	45,0	0,75	4,38	2,250	10,3
Stallmist ³⁾	26,0	41,5	1,00	2,57	0,423	16,1

¹⁾ - abgeleitet aus VDLUFA-Standpunkt "Humusbilanzierung" (VDLUFA, 2014)

²⁾ - Angaben der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., Köln für 2012 (BGK, 2013)

³⁾ - Angaben der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena (REINHOLD und ZORN, 2008)

Die ausgewählten organischen Düngemittel weisen in allen relevanten Eigenschaften erhebliche Unterschiede auf, sodass mit stark voneinander abweichenden Verhaltensweisen bei der Humusreproduktion und der Stickstoffwirkung im Boden gerechnet werden muss. Es ist im Mittel über alle Bodenarten anzunehmen, dass der humusreproduktionswirksame Anteil der organischen Substanz der Düngemittel in die Humusmatrix des Bodens eingebunden wird und mittel- bis langfristig im Boden verbleibt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Bodenlebewesen diese neuen Humusanteile dem jeweiligen C:N-Verhältnis des Standortes selbstregulierend angleichen (etwa 10:1).

3 Auswertungsergebnisse

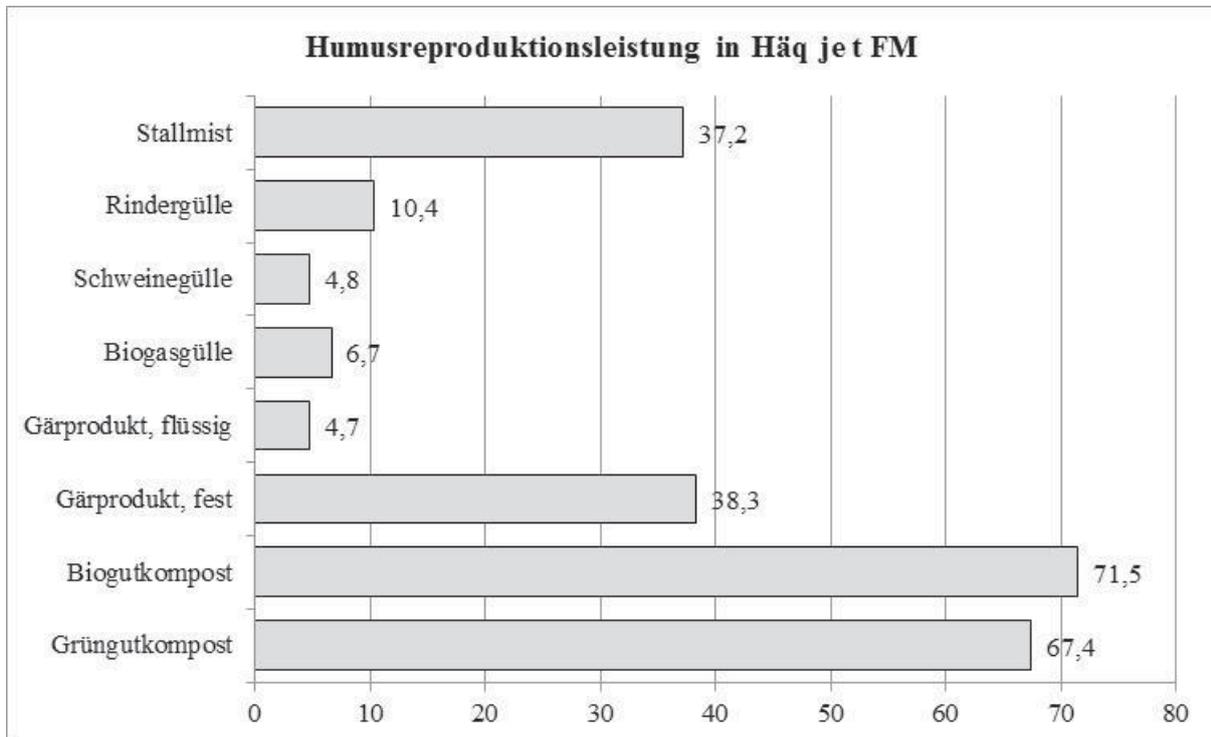
In der Abbildung 3 sind die nach VDLUFA (2014) aus den Eigenschaften abgeleiteten Humusproduktionsleistungen der betrachteten organischen Düngemittel (bezo-



gen auf die Frischmasse) zusammengestellt. Hier wird folgende Rangfolgen der Humusreproduktionsleistung erkennbar:

kompostierte Feststoffe > unkompostierte Feststoffe > Flüssigstoffe

Abbildung 3: Humusreproduktionsleistung der ausgewählten organischen Düngemittel



In Anlehnung an GUTSER et al. (2010) wird für eine ausreichende mittlere Humusversorgung eine Aufbringungsmenge von 500 Häq je ha und Jahr angenommen. In der Tabelle 2 sind die sich so ergebenden Mengen an organischen Düngemittel sowie die damit in den Boden eingebrachten Mengen an C_{org} in leicht abbaubarer und abbaustabiler (humusreproduktionswirksamer) Form angegeben.



Tabelle 2: Höhe der Menge ausgewählter organischer Düngemittel für eine mittlere Humusversorgung mit 500 Häq (kg Humus-C) je ha und Jahr sowie die damit verbundene Aufbringung an humusproduktionswirksamer und an leicht abbaubarer organischer Substanz

organischer Dünger	Gabe in t Frischmasse je ha	C _{org} -Zufuhr in kg je ha		
		organisch humusproduktionswirksam	organisch leicht abbaubar	gesamt
Grüngutkompost	7,4	500	466	966
Biogutkompost	7,0	500	500	1000
Gärprodukt, fest	13,1	500	949	1449
Gärprodukt, flüssig	105,9 ¹⁾	500	1110	1610
Biogasgülle	75,0 ¹⁾	500	1205	1705
Schweinegülle	105,0 ¹⁾	500	1915	2415
Rindergülle	48,3	500	1432	1932
Stallmist	13,4	500	949	1449

¹⁾ - über mit einer Gabe von Flüssigstoffen ausbringbarer Menge von 50 t je ha

Die Gaben für eine ausreichende Humusversorgung fallen bei einigen flüssigen organischen Düngemitteln besonders hoch aus. Die nach guter fachlicher Düngungspraxis wegen möglichem Abflussverhalten und daraus entstehenden Ungleichmäßigkeiten in der Düngerverteilung empfohlene Höchst Einzelgabe von 50 t je ha wird hier deutlich überschritten. Da Gabe wäre demnach schon aus verfahrenstechnischen Gründen zu teilen.

Zudem zeigt sich, dass mit gleicher Humusproduktionsleistung die Zuführung leicht abbaubarer organischer Substanz stark differiert. Das Bodenleben wird bei den weniger abbaustabilen organischen Düngemitteln (vor allem Gülle) deutlich stärker mit Nahrung versorgt, was den mikrobiologischen Stoffumsatz entsprechend anhebt. Dabei kann die abbaustabile organische Substanz durch das intensivere Bodenleben rascher umgesetzt werden, was zu Priming-Effekten (Abbau an organischer Bodensubstanz > Zuführung organischer Primärsubstanzen) führen kann.

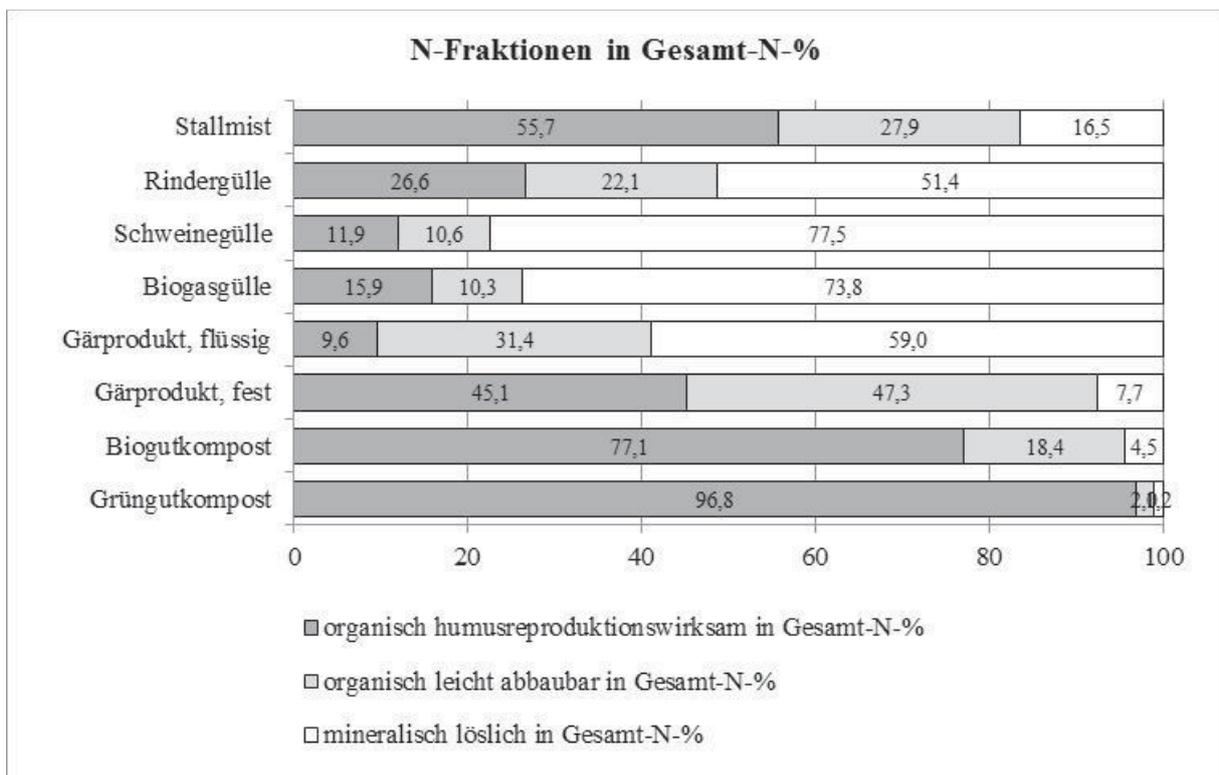
Das vorab beschriebene Verhalten von organischem Kohlenstoff aus organischen Düngemitteln bestimmt auch den Verbleib von deren Stickstoffanteilen im Boden. Dabei lassen sich folgende Stickstofffraktionen im Boden ableiten:



- a) mineralisch, wasserlöslich, sofort pflanzenverfügbar
- b) organisch, leicht abbaubar, kurzfristig pflanzenverfügbar (>50 % im Anwendungsjahr)
- c) organisch, humusreproduktionswirksam, mittel- bis langfristig abbaubar, nach Abbau als N_{\min} messbar

Unter Berücksichtigung der C_{org} -Gehalte und deren Abbaustabilität, der N_{ges} -Gehalte und der N_{\min} -Gehalte ausgewählter organischer Düngemittel können die in Abbildung 4 dargestellten N-Fractionen im Boden entstehen, wobei die Umsatz- bzw. Stabilisierungsleistungen unterschiedlicher Böden zu Schwankungen um diese Mittelwerte führen.

Abbildung 4: Bildung von N-Fractionen der ausgewählten organischen Düngemittel im Boden



Die mittlere Verfügbarkeit bzw. Stabilisierung der Stickstoffanteile verschiedener organischer Düngemittel zeigen große Unterschiede. Während bei den flüssigen organischen Düngemitteln die mineralischen, wasserlöslichen Anteile dominieren und die N-Stabilisierung im Dauerhumus sehr gering ausfällt, ergibt sich bei den holzhaltigen, durch aerobe Umwandlungsprozesse stabilisierten Komposten eine gegenläufige Wirkung. Der Stickstoff aus diesen organischen Düngemitteln wird im Boden weitestgehend im Dauerhumus stabilisiert und die im Boden frei beweglichen Anteile sind



sehr gering. Stallmist und feste Gärprodukte liegen zwischen diesen beiden Extremen. Was sich schon bei dem Verhalten von organischem Kohlenstoff im Boden angedeutet hat, ist für die Bindung vom Stickstoff noch stärker ausgeprägt.

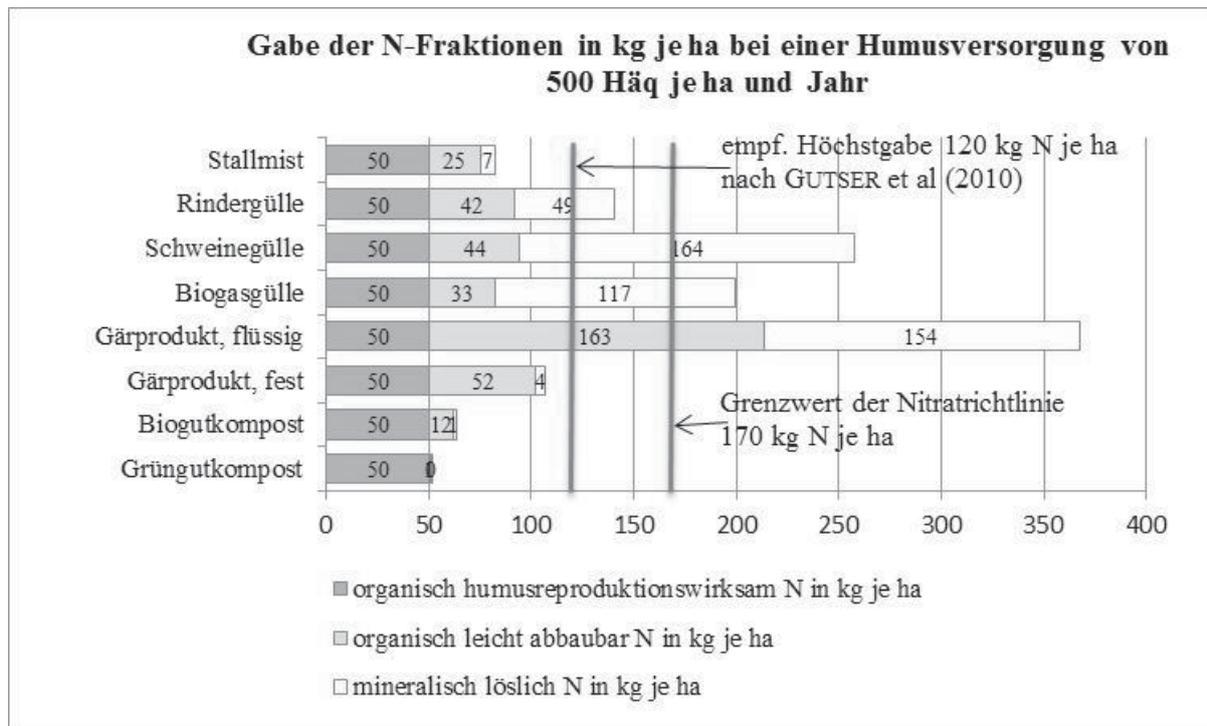
Da die Mobilität von Stickstoff sowohl die Effizienz der Nährstoffwirkung als auch die Gefährdung durch N-Emissionen von löslichen Verbindungen in das Grundwasser bzw. von gasförmigen Verbindungen (Lachgas) in die Atmosphäre entscheidend beeinflusst, ist es zielführend diese großen Unterschiede im Mobilitätsverhalten organischer Düngemittel zu beachten. Die abbaustabilen organischen Düngemittel (insbesondere Komposte, aber auch schon Stallmist und feste Gärprodukte) bedürfen einer anderen Bewertung als die in der Praxis am häufigsten anzutreffenden Güllen (egal ob aus der Viehhaltung oder einer Biogasanlage).

Umfangreiche Auswertungen von 12-jährigen Versuchen zur Kompostanwendung können diese Aussage bestätigen. Hier wurden für Biogut- und Grüngutkomposte zum Versuchsende noch 57 bis 75 % der durch die Kompostgaben in den Boden gebrachten N-Mengen im Boden wiedergefunden (REINHOLD und KLUGE, 2013). KLUGE et al. (2008) haben zuvor schon nachgewiesen, dass es auch bei hohen jährlichen Kompostgaben (bis zur Aufwandmengenbegrenzung nach BioAbfV) kaum zu N_{\min} -Erhöhungen im Boden kam (<20 kg N/ha). Damit kann das in Abbildung 4 gezeigte hohe Stabilisierungsvermögen von N-Verbindungen aus abbaustabilen organischen Düngern praktisch bestätigt werden.

Die Auswirkungen einer praxisüblichen Humusversorgung mit 500 Humusäquivalenten je ha (nach GUTSER et al., 2010) auf die Einträge von unterschiedlich mobilen N-Fractionen in Ackerböden soll in der Abbildung 5 verdeutlicht werden.



Abbildung 5: Stickstoffmengen in unterschiedlichen Mobilitätsfraktionen bei einer mittleren Humusversorgung mit 500 Häq (kg Humus-C) je ha und Jahr durch unterschiedliche organische Düngemittel



Eine angemessene Humusversorgung kann in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der eingesetzten organischen Düngemittel mit extrem unterschiedlichen Mengen an pflanzenwirksamem aber auch emissionswirksamem Stickstoff verbunden sein. Wird eine Einhaltung der Vorgaben der EG-Nitratrichtlinie (170 kg N je ha und Jahr) oder sogar der von GUTSER und EBERTSEDER (2006) empfohlenen Höchstgabe bei der organischen Düngung (120 kg N je ha und Jahr) für die flüssigen Gärprodukte aus Biogasanlagen und für Schweinegülle (aber auch schon Rindergülle) gefordert, so lässt sich ableiten, dass die alleinige Anwendung dieser organischen Düngemittel keine angemessene Humusversorgung gewährleisten kann. Bei Reduzierung der Aufwandmenge scheint hier eine ergänzende Strohdüngung bzw. Anbau von Ackergras oder nicht legumen Zwischenfrüchten als Mittel der Wahl angebracht, um einen entsprechenden Ausgleich in der Humusversorgung zu schaffen.

Zugleich lässt sich aber auch feststellen, dass für die angemessene Humusversorgung durch organische Düngung (hier 500 Häq je ha und Jahr) eine entsprechende N-Zuführung von 50 kg N je ha und Jahr zur Stabilisierung der organischen Substanz im Boden unabdingbar ist. Da der Zeitpunkt einer Mobilisierung dieser N-Mengen jedoch nicht feststeht und bei sehr abbaustabilen organischen Düngemittel auch erst in einem Zeitraum von über 10 Jahren geschehen kann, sollten diese N-Mengen bei

einem Nährstoffvergleich nach Düngeverordnung als notwendiger Verbrauch für eine angemessene Humusproduktion berücksichtigt werden. Das kann auch nicht als besorgniserregend im Sinne möglicher Mineralisierungsvorgänge im Boden bezeichnet werden, wenn durch jährliche N_{\min} -Untersuchungen die Auswirkungen solcher Vorgänge überwacht und deren Ergebnisse bei der jährlichen N-Düngungsempfehlung und bei der Erstellung von Nährstoffvergleichen berücksichtigt werden.

Als nächster Schritt kann nun die zu empfehlende Aufwandmenge für die ausgewählten organischen Düngemittel anhand der Humusproduktionsleistung und der nach EG-Nitratrichtlinie zu empfehlenden Höchstmenge an Stickstoff im Anwendungsjahr abgeleitet werden. Das Ergebnis dieser Ableitung ist in der Tabelle 3 enthalten, wobei die kurzfristige Mineraldüngeräquivalenz (MDÄ) dem N_{\min} -Anteil in den organischen Düngemitteln entspricht und bei der mittelfristigen MDÄ zusätzlich den leicht abbaubaren N_{org} -Anteilen.

Tabelle 3: Ableitung der Aufwandsempfehlung für ausgewählte organische Düngemittel bei Begrenzung der Gesamt-N-Gabe im Anwendungsjahr auf 200 kg/ha (Mais) und einer angestrebten mittleren Humusversorgung mit 500 Häq (kg Humus-C) je ha und Jahr

organischer Dünger	N-Angebot aus dem Boden in kg/ha	Gabe an organischem Dünger in t/ha	Angaben zu unterschiedlich wirksamem N aus organischen Düngern in kg/ha im Anwendungsjahr					N-Angebot aus dem Boden + MDÄ-N in kg/ha*a	zu empfehlende Mineraldüngung im Anwendungsjahr in kg N je ha ¹⁾	Humusversorgung	
			als Mineraldüngeräquivalenz			für Humusreproduktion ³⁾	Gesamtmenge ²⁾			in Häq/ha	für n Jahre
			kurzfristig	mittelfristig	gesamt						
Grüngutkompost	50	24,4	2	3	5	164	170	55	145	1644	3,3
Biogutkompost	50	18,3	8	31	39	131	170	89	111	1308	2,6
Gärprodukt, fest	50	20,0	13	80	93	77	170	143	57	766	1,5
Gärprodukt, flüssig	50	33,8	98	52	150	16	166	200	0	160	0,3
Biogasgülle	50	40,5	126	18	143	27	170	193	7	270	0,5
Schweinegülle	50	42,5	132	18	150	20	170	200	0	202	0,4
Rindergülle	50	43,6	87	38	125	45	170	175	25	451	0,9
Stallmist	50	25,4	28	47	75	94	170	125	75	945	1,9

Legende:

¹⁾ - angenommener N-Düngungsbedarf für Mais 200 kg/ha*a (mittelfr. MDÄ-N + Mineral-N + N-Angebot aus dem Boden)

²⁾ - N aus organischen Düngern begrenzt auf 170 kg/ha*a

³⁾ - erst nach 3 bis >15 Jahren verfügbar (je mehr umso länger)



4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Wird die gesamte N-Versorgung entsprechend den Empfehlungen zur Humusversorgung und Stickstoffversorgung von Boden und Pflanze gewährleistet, so ergibt sich für die betrachteten unterschiedlichen organischen Düngemittel ein sehr differenziertes Bild. Die meisten flüssigen organischen Dünger sind bei begrenzten N-Gaben allein nicht in der Lage eine angemessene Humusversorgung zu gewährleisten. Hier werden ergänzende Maßnahmen zur Humusversorgung erforderlich, die nicht mit zusätzlichen N-Einträgen verbunden sind (z. B. Strohdüngung, Ackergras, nicht legume Zwischenfrüchte).

Bei Anwendung fester organischer Düngemittel kann dagegen eine angemessene Humusversorgung über mehrere Jahre gesichert werden, ohne dass ökologisch bedenkliche N-Mengen aus den organischen Düngemitteln auf die Ackerflächen gelangen. Vor allem bei den sehr abbaustabilen Komposten sind die mitgeführten mineraldüngeräquivalenten N-Mengen jedoch so gering, dass sie nur zu geringen Mineraldüngereinsparungen beitragen können. Der im Boden verbleibende humusreproduktionswirksame Stickstoff wird hier wegen der hohen Abbaustabilität der organischen Substanz längerfristig im Boden stabilisiert als es bei den leichter abbaubaren flüssigen Materialien zu erwarten ist.

Die Anwendung organischer Düngemittel trägt wesentlich zur Humusversorgung der Böden bei, wozu jedoch auch ein entsprechender N-Eintrag gesichert werden muss. Dieser humusreproduktionswirksame N-Eintrag kann sowohl in kg je t Frischmasse als auch in Prozent vom Gesamt-N-Gehalt der organischen Düngemittel angegeben werden (vgl. Tabelle 4).

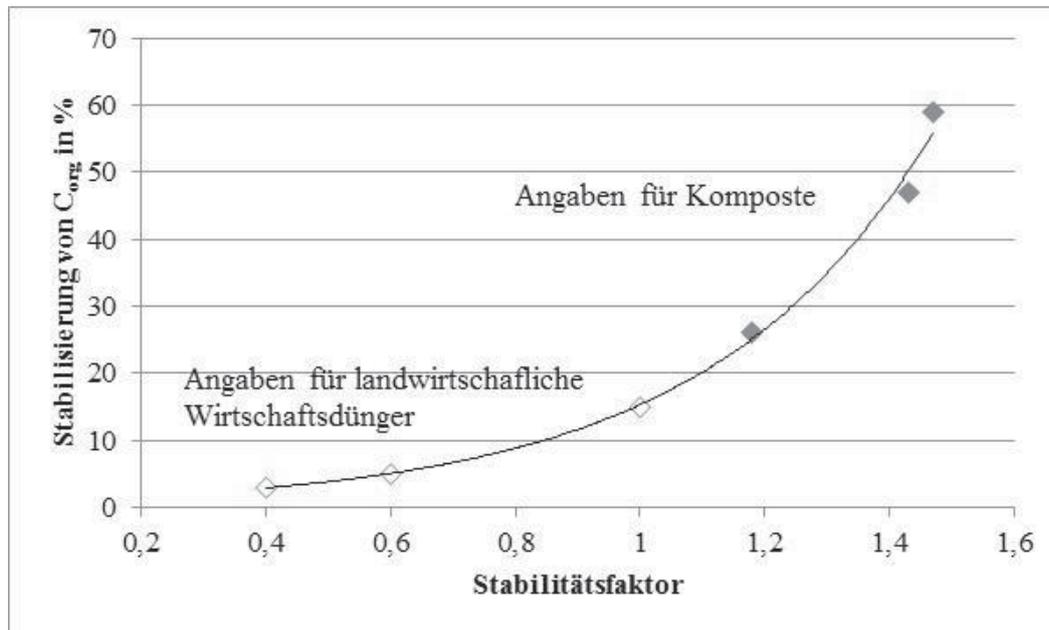

Tabelle 4: Für die Humusproduktionsleistung anrechenbare N-Anteile ausgewählter organischer Düngemittel

organischer Dünger	Anrechenbarkeit von N für Humusproduktionsleistung	
	in kg N je t FM	in % vom Gesamt-N
Grüngutkompost	6,7	97
Biogutkompost	7,2	77
Gärprodukt, fest	3,8	45
Gärprodukt, flüssig	0,5	10
Biogasgülle	0,7	16
Schweinegülle	0,5	12
Rindergülle	1,0	27
Stallmist	3,7	56

Da die ausgewählten organischen Düngemittel den Qualitäten einzelner Chargen nicht direkt entsprechen sondern nur nahe kommen, kann auch ein einfacherer Weg der Berücksichtigung der für die Humusproduktion durch organische Düngemittel anrechenbaren N-Mengen vorgeschlagen werden. Dazu kann für die erbrachten bzw. im Rahmen einer Humusbilanzierung kalkulierten Humusäquivalente eine anrechenbare N-Menge in Höhe von 0,1 kg N je Häq empfohlen werden, wobei jedoch zu entscheiden ist, ob eine hinreichende Dauer der Stabilisierung solches notwendig macht.

Für die Humusproduktion ergibt sich aus der Abbaustabilität der eingesetzten organischen Düngemittel eine temporäre C_{org} -Stabilisierung im Boden, deren Dauer vor allem mit der Abbaustabilität der organischen Primärschubstanz zunimmt. Das soll in einer Prinzipdarstellung verdeutlicht werden (vgl. Abbildung 6).

Abbildung 6: Grundsätzlicher Zusammenhang von Abbaustabilität organischer Düngemittel und längerfristiger C_{org} -Stabilisierung im Boden



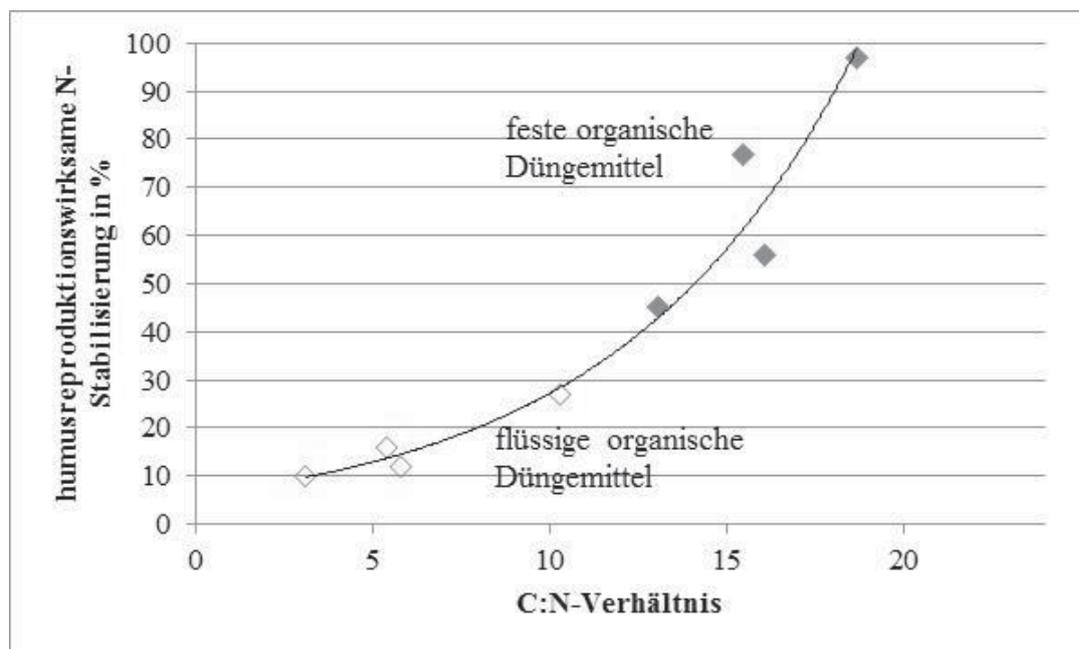
Quelle: Eigene Darstellung nach KÖRSCHENS et al., (2012); REINHOLD und KLUGE, (2013)

Aus der Abbildung 6 kann abgeleitet werden, dass erst über Stabilitätsfaktoren von etwa 1 (entspricht Rottemist) mit einer nennenswerten längerfristigen C_{org} -Stabilisierung im Boden gerechnet werden kann (>10 Jahre). Bei Anwendung solcher organischer Dünger ist längerfristiger Humusaufbau im Boden erreichbar und sollte berücksichtigt werden. Für weniger abbaustabile organische Düngemittel scheint die Dauer einer C_{org} -Stabilisierung zu gering, um in die Regelungen der Düngeverordnung einbezogen werden zu müssen.

Die mit einem Humusaufbau parallel zu erwartenden N-Stabilisierungen treten zeitgleich auf, werden aber in ihrer Höhe zudem durch das C:N-Verhältnis der organischen Düngemittel beeinflusst (siehe Abbildung 7). Hier kann für abbaustabile organische Düngemittel vereinfacht mit einer temporären N-Stabilisierung von $0,1 \text{ kg } N_{ges}$ je H_{äq} gerechnet werden.



Abbildung 7: Einfluss des C:N-Verhältnis organischer Düngemittel auf die Humusproduktionswirksame N_{ges} -Stabilisierung im Boden



Aus der Abbildung 7 leitet sich ab, dass bei organischen Düngemitteln mit einem C:N-Verhältnis über 12:1 die humusproduktionswirksame N_{ges} -Stabilisierung besonders stark zunimmt. Das sollte jedoch hinsichtlich der Regelungen in der Düngeverordnung nur dann berücksichtigt werden, wenn auch eine längerfristige C_{org} -Stabilisierung im Boden erfolgt sind, also nur bei abbaustabilen organischen Düngemitteln (Stabilitätsfaktor >1).

Als Schlussfolgerung für die Regelungen in einer künftigen Düngeverordnung ergibt sich folgendes:

Die organischen Düngemittel müssen wegen unterschiedlicher Abbaustabilität und C:N-Verhältnisse aus ökologischer und ertragswirksamer Sicht hinsichtlich der Stickstoffmobilität differenziert bewertet werden. Alle im bisherigen Entwurf der Düngeverordnung enthaltenen Regelungen zu N-Frachten und N-Nährstoffvergleichen sind vorwiegend aus den Kenntnisständen zu flüssigen organischen Düngern abgeleitet.

Für die organischen Düngemittel wird für den Nährstoffvergleich vorgeschlagen, dass für jedes eingesetzte Humusäquivalent 0,1 kg Gesamt-N von der ausgebrachten Gesamt-N-Menge abgezogen werden und nicht in den Nährstoffvergleich einfließen.



Zugleich wird vorgeschlagen zu prüfen, die organischen Düngemittel mit einem Stabilitätsfaktor >1 und einem C:N-Verhältnis $>12:1$ nicht den Vorgaben der EG-Nitratrichtlinie oder daraus abgeleiteten Regelungen in der Düngeverordnung zu unterwerfen.

Um eventuell mögliche N-Mineralisierungen aus dem im Boden organisch stabilisiertem N rechtzeitig erfassen und düngungsseitig reagieren zu können, wird vor allem bei Anwendung von abbaustabilen und N-armen organischen Düngemittel empfohlen, jährlich N_{\min} -Untersuchungen im Boden durchzuführen um eine reale Abschätzung des N-Angebots aus dem Boden sicher zu gewährleisten.

Literatur

- BGK (2013): Angaben zu RAL-gütesicherten organischen Düngemittel aus dem Untersuchungsjahr 2012, Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., Köln.
- DIREKTZAHLUNGEN-VERPFLICHTUNGENVERORDNUNG (2004): Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung vom 4. November 2004, BGBl. I, S. 2778.
- ENGELS, C., REINHOLD, J., EBERTSEDER, T. und HEYN, J. (2010): Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen, BLE-Forschungsprojekt (AZ.: 514-06.01-2808HS016), VDLUFA Speyer.
- GUTSER, R. und EBERTSEDER, T. (2006): Die Nährstoffe in Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern – ein unterschätztes Potenzial im Stoffkreislauf landwirtschaftlicher Betriebe, in: Verwertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern in der Landwirtschaft – Nutzen und Risiken, KTBL-Schrift 444, S. 7-22.
- GUTSER, R., EBERTSEDER, T., SCHRAML, M., VON TUCHER, S. und SCHMIDHALTER, U. (2010): Stickstoffeffiziente und umweltschonende organische Düngung, in: Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden, KTBL-Schrift 483, S. 31-50.
- KLUGE, R., DELLER, B., FLAIG, H. und REINHOLD, J. (2008) : Nachhaltige Kompostanwendung in der Landwirtschaft, Abschlussbericht 2008, Projektleitung und Hrsg.: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg – LTZ, 76227 Karlsruhe, gefördert durch das Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum BW und Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V.
- KÖRSCHENS, M., ALBERT, E., ARMBRUSTER, M., BARKUSKY, D., BAUMECKER, M., BEHLE-SCHALK, L., BISCHOFF, R., ČERGAN, Z., ELLMER, F., HERBST, F., HOFFMANN, S., HOFMANN, B., KISMANYOKY, T., KUBAT, J., KUNZOVA, E., LOPEZ-FANDO, C., MERBACH, I., MERBACH, W., PARDOR, M.T., ROGASIK, J., RÜHLMANN, J., SPIEGEL H., SCHULZ, E., TAJNSEK, A., TOTH, Z., WEGENER, H. und ZORN, W. (2012): Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century, Archives of Agronomy and Soil Science.



- V. LÜTZOW, M., KÖGEL-KNABNER, I., LUDWIG, B., MATZNER, E., FLESSA, H., EKSCHMITT, K., GUGGENBERGER, G., MARSCHNER, B. und KALBITZ, K. (2008): Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: Development and application of a conceptual model. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 171, S. 111-124.
- REINHOLD, G. und ZORN, W. (2008): Eigenschaften und Humuswirkung von Biogasgülle, 120. VDLUFA-Kongress vom 16. bis 19. September 2008 in Jena.
- REINHOLD, J. (2005): Eine Möglichkeit der Ableitung der Stickstoffwirksamkeit organischer Dünger aus stofflicher Zusammensetzung und Humusproduktionsleistung einschließlich Auswirkungen auf die betriebliche Stickstoffbilanz, 117. VDLUFA-Kongress vom 26. bis 29. September 2005. Bonn.
- REINHOLD, J. und KLUGE, R. (2013): Humusaufbau und Stickstoffumsatz im Boden, dargestellt am Beispiel 12-jähriger Untersuchungen zur Kompostanwendung in Baden-Württemberg, unveröffentlicht.
- VDLUFA (2014): VDLUFA-Standpunkt Humusbilanzierung – Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland, 2014, VDLUFA Speyer.

Anschrift des Kontaktautors

*Dr. Jürgen Reinhold
Förderverband Humus e. V.
Nächst Neuendorfer Landstraße 6a, 15806 Zossen, Deutschland
Tel.: +49 1 1729854233
eMail: juergen.reinhold@potsdam.de*





