



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Düngung mit Biogasgärresten effektiv-umweltfreundlich-bodenschonend

10. Kulturlandschaftstag



Schriftenreihe

11
2012
ISSN 1611-4159

Impressum

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz
Lange Point 12, 85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: Agraroeekologie@LfL.bayern.de
Telefon: 08161 71-3640

1. Auflage: November 2012

Druck: ES-Druck, 85356 Freising-Tüntenhausen

Schutzgebühr: 15,00 Euro

© LfL



Düngung mit Biogasgärresten
effektiv-umweltfreundlich-bodenschonend

10. Kulturlandschaftstag
am 15.11.2012
in Weichering

Tagungsband

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Der Wert von Biogasgärresten	7
Ulrich Keymer	
Rechtliche Grundlagen beim Einsatz von Gärresten.....	11
Matthias Wendland	
Die Nährstoffwirkung von Biogasgärresten.....	17
Fabian Lichti, Matthias Wendland, Urs Schmidhalter, Konrad Offenberger	
BIOGAS FORUM BAYERN	21
Martin Müller und Irmgard Neumeier	
Der Gärresteinsatz in einer biologischen Biogasanlage.....	27
Hubert Miller	
Effekte der Gärrestdüngung auf Bodentiere – Zwischenbilanz	31
Roswitha Walter und Johannes Burmeister	
Effekte der Gärrestdüngung auf Humus und Bodenstruktur – Zwischenbilanz.....	49
Dr. Robert Beck und Robert Brandhuber	
Hygienische Aspekte beim Einsatz von Gärresten.....	59
Michael Lebuhn und Bianca Fröschle	
Der effiziente Einsatz von Gärresten.....	73
Fabian Lichti, Matthias Wendland, Urs Schmidhalter, Konrad Offenberger	

Der Wert von Biogasgärresten

Ulrich Keymer

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik

Zusammenfassung

Der Wert des Biogasgärrestes wird im Wesentlichen durch die Nährstoffgehalte der Substrate bestimmt, die in der Biogasanlage zum Einsatz kommen. Das in den Substraten enthaltene Phosphat und Kali ist zu 100 Prozent düngerwirksam und kann mit den Reinnährstoffkosten angesetzt werden. Bei Stickstoff sind nur rund 70 bis 80 Prozent des Ammoniumstickstoffanteils im Anwendungsjahr wirksam. Der Wert des Gärrestes der Beispielsanlage liegt je nach MDÄ des $\text{NH}_4\text{-N}$ zwischen 9,50 €/t und 11,70 €/t frei Feld.

1 Einleitung

Als Nebenprodukt der Biogaserzeugung fällt in erheblichem Umfang ausgefaultes Substrat an. Dieser Gärrest ist ein wertvoller organischer Dünger, der bisher nur in Zeiten hoher Düngemittelpreise eine gewisse Wertschätzung erfährt, obwohl die Rückführung der Gärreste auf die substratliefernden Acker- oder Grünlandflächen einen bilanziell weitgehend geschlossenen Nährstoffkreislauf ermöglicht. Die im Gärrest enthaltenen Phosphat- und Kalimengen sind in ihrer Wirkung langfristig denen der Mineraldünger gleichwertig und können in der Düngeplanung voll angesetzt werden [1]. Bei Stickstoff lassen sich allerdings Verluste bei der Ausbringung nicht vermeiden und machen eine mineralische Ergänzungsdüngung notwendig.

Welchen ökonomischen Wert Biogasgärreste haben, hängt von den pflanzenverfügbaren Nährstoffen ab.

2 Nährstoffgehalte und Stickstoffwirkung

Im Biogasprozess wird organische Substanz bzw. deren Hauptbestandteile Fette, Eiweiße, Kohlenhydrate und Lignocellulose über mehrere Stufen mikrobiell abgebaut und im Wesentlichen in Methan und Kohlendioxid - die Hauptbestandteile des Biogases - umgewandelt. „Der ausgefaulte Gärrest besteht typischerweise aus relativ schwer abbaubarem organischen Material (Lignocellulose-Verbindungen) und anorganischen Rückständen (Salze), wenn die Prozesskette insgesamt effizient funktioniert“ [2]. Die absoluten Nährstoffmengen ändern sich durch den anaeroben Abbau nur unwesentlich. Die Art und die Menge der einzelnen Substrate, die in einer Biogasanlage zum Einsatz kommen, bestimmen somit die Nährstoffmengen im Gärrest. Hohe N- und P-Gehalte sind aus der Vergärung von Getreidekörnern, Grünland- oder Ackergrasaufwuchs und Geflügelmist zu erwarten. Mittlere N- und P-Gehalte liefern Getreide-GPS und Schweinegülle. Gärreste mit niedrigeren Nährstoffgehalten entstehen aus Silomais, Zuckerrüben oder Rindergülle. Der Nährstoffanfall lässt sich aus dem Substratmix einer Biogasanlage näherungsweise berechnen. Werden

beispielsweise in einer kleinen Biogasanlage mit ca. 100 kW installierter elektrischer Leistung die in Tab. 1 aufgeführten Substrate gefüttert, befinden sich im Gärrest 20.615 kg N, 7.700 kg P₂O₅ und 26.319 kg K₂O.

Tab. 1: Substratmix und Nährstofffracht (Beispiel)

Substrate	Masse [t/a]	TM-Gehalt [%]	N [kg/t FM]	P ₂ O ₅ [kg/t FM]	K ₂ O [kg/t FM]
Milchviehgülle (inkl. Futterreste)	2.200	8,0	4,6	1,6	5,9
Maissilage wachsreif, mittl. Kö.	1.000	33,0	4,3	1,8	6,4
Grassilage	364	35,0	8,6	3,0	12,6
Futterweizen Körner	73	87,0	19,2	7,6	5,2
GPS Getreide mittl. Kornanteil	300	38,0	5,8	2,6	6,5

Sind der Gasertrag und der Methangehalt des Biogases bekannt, lässt sich auch der Gärrestanfall ermitteln. Mit KTBL-Richtwerten [3] gerechnet, beträgt der Gasertrag rund 441.500 Nm³ mit einem Methangehalt von 52,6 %. Zieht man von der Substratmasse die Masse des Biogases ab, das vereinfachend nur aus Methan (CH₄) und Kohlendioxid (CO₂) bestehen soll, verbleiben rund 3.356 t Gärrest (3.937 t Substrat - 167,4 t CH₄ - 413,8 t CO₂). In jeder Tonne Gärrest sind demzufolge ca. 6,1 kg N, 2,3 kg P₂O₅ und 7,8 kg K₂O enthalten. Mit einem TM-Gehalt von ca. 6,8 % ist der Gärrest relativ dünnflüssig und kann gut in den Boden einsickern. Für entsprechende Berechnungen bietet sich der LfL-Gärrestrechner an (www.lfl.bayern.de/iab/duengung/39709).

Phosphat und Kali im Gärrest substituieren in vollem Umfang Mineraldünger. Bei Stickstoff gestaltet sich die Bewertung nicht ganz so einfach. Geht man davon aus, dass im Jahr der Anwendung nur der in Ammoniumform (NH₄-N) vorliegende Stickstoff (ca. 65 % des Gesamtstickstoffs) verfügbar ist, hängt es letztendlich von der Ausbringung ab, wie viel übrig bleibt. Während sich Lagerverluste bei gasdicht abgedeckten Endlagerbehältern in der Biogaserzeugung fast vollständig verhindern lassen, sind Ausbringverluste unvermeidbar, aber in der Höhe beeinflussbar. Je nach Witterung und Ausbringtechnik sind gasförmige Ammoniakverluste von weniger als 10 % bis weit über die Hälfte des NH₄-N möglich. Die wirkungsvollste Maßnahme zur Minimierung der Ammoniakausgasung ist die Injektion direkt in den Boden (z. B. Güllegrubber). Bei Düngemaßnahmen in stehenden Beständen vermindert die bodennahe Ausbringung (Schleppschlauch- oder Schleppschuhverfahren) in Verbindung mit niedrigen Temperaturen, geringen Windgeschwindigkeiten und hoher Luftfeuchtigkeit das Verlustrisiko deutlich. Im Durchschnitt kann zu Wintergetreide mit einem Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) von 70 % des NH₄-N und zu Silomais von 80 % gerechnet werden [1].

3 Ökonomische Bewertung

Sind die Nährstoffmengen bekannt, lässt sich der Wert des Gärrestes schnell ermitteln. Mit den erwarteten Brutto-Reinnährstoffpreisen 2012 multipliziert (siehe Abbildung 1), ergibt sich für das Berechnungsbeispiel ein Wert von 2,83 € für P₂O₅ und 7,25 € für K₂O pro Tonne Gärrest. Der Düngerwert des NH₄-N im Anwendungsjahr liegt je nach Kulturart und Ausbringverlusten zwischen 2,80 € (50 % Ausbringverlust) und 5,10 € (10 % Ausbringverlust) pro Tonne Gärrest. Bei einem durchschnittlichen NH₄-N-MDÄ von 70 % bzw. 80 % sind es knapp 4,00 €/t bzw. 4,50 €/t.

Insgesamt beträgt der Düngerwert des Gärrestes knapp 13 €t bis 15 €t.

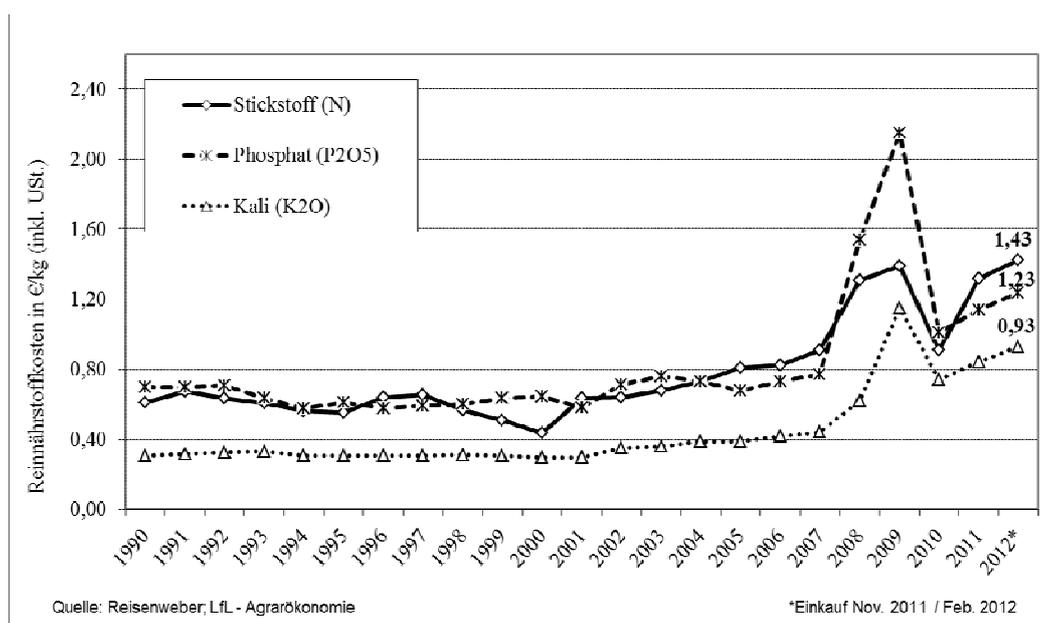


Abb. 1: Entwicklung der Reinnährstoffkosten einschließlich Umsatzsteuer

Es reicht aber nicht, nur den Düngerwert zu betrachten. Die Substitution von Mineraldünger durch organische Dünger verursacht einerseits deutlich höhere Ausbringkosten, andererseits lassen sich ca. zwei Mineraldüngergaben einsparen.

Werden beispielsweise vor der Maisaussaat rund 30 t bzw. m³ Gärrest ausgebracht, liegen die Kosten bei überbetrieblicher Arbeitserledigung bei Transportentfernungen von maximal 4 Kilometern in einer Größenordnung von 4,00 €/m³ bzw. rund 120 €/ha. Zwei eingesparte Mineraldüngergaben sind mit rund 21 €/ha zu veranschlagen. Die Kosten der Gärrestdüngung abzüglich der ersparten Kosten betragen rund 99 €/ha bzw. 3,30 €/t.

Der Wert des Gärrestes der Beispielsanlage ist also insgesamt je nach MDÄ des NH₄-N mit 9,50 €t bis 11,70 €t frei Feld zu veranschlagen. Ob dieser Wert auch realisierbar ist, hängt von den regionalen Gegebenheiten ab.

4 Literaturverzeichnis

- [1] Lichti, F., Wendland, M., Biogasgärreste - Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel, LfL-Information, 3. Auflage 2012
- [2] Bauer, C., Gronauer, A., Lebuhn, M., Mikrobiologische Prozesse in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, LfL- Schriftenreihe Nr. 12/2009, S. 19
- [3] Gasausbeuten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, KTBL-Heft 88, 2. überarbeitete Auflage 2010, S. 18-19

Rechtliche Grundlagen beim Einsatz von Gärresten

Matthias Wendland

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

1 Einleitung

Biogasgärreste sind wertvolle Düngemittel, die im Sinne eines Kreislaufes wieder auf den landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden. Die verwendeten Eingangssubstrate entscheiden darüber, in welche Kategorie von Düngern der Gärrest fällt (z. B. Wirtschaftsdünger, Bioabfall- oder Klärschlammgemisch) und welche Auflagen und Pflichten zu beachten sind. Diese sind auch davon abhängig, ob der Gärrest auf eigene Flächen ausgebracht oder an Dritte abgegeben, das heißt in Verkehr gebracht wird. Werden mehr als 200 t Frischmasse abgegeben, sind damit zusätzliche Aufzeichnung und Meldepflichten bei der Abgabe, Transport und der Aufnahme verbunden. Schließlich gibt die Düngeverordnung die gute fachliche Praxis bei der Anwendung der Gärreste vor.

Die folgenden Informationen können nur einen Überblick über die bei der Anwendung zu beachtenden Vorschriften (*Tab. 1*) und die wichtigsten Inhalte geben, sie ersparen im Einzelfall nicht den Blick in die Gesetze und Verordnungen.

Tab. 1: Übersicht über die wichtigsten Gesetze und Verordnungen

Gesetze, Verordnungen	Wesentliche Inhalte
Düngegesetz vom 09. Januar 2009	Grundsätzliche Regelungen und Definitionen
Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DüMV) vom 16. Dezember 2008	Inverkehrbringen von Düngemitteln, Düngemitteltypen, Stoffliste, Anforderungen an Düngemittel, Auflagen Ausbringung
Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV) Vom 21. September 1998 in der Fassung vom 23. April 2012	Untersuchung, Behandlung und Anwendung von Bioabfällen, Stoffliste
Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DÜV) vom 27. Februar 2007	Gute fachliche Praxis bei der Anwendung
Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdüngern (WdüngV) vom 21. Juli 2010	Aufzeichnungs- und Meldepflichten bei Abgabe von mehr als 200 t Frischmasse

2 Düngegesetz

Das Düngegesetz enthält grundsätzliche Regelungen und Definitionen, es stellt die rechtliche Grundlage vieler weiterer Verordnungen in Deutschland dar. Wichtig sind die Definitionen für das Inverkehrbringen und für Wirtschaftsdünger:

Wirtschaftsdünger sind Düngemittel, die

a) als tierische Ausscheidungen

aa) bei der Haltung von Tieren zur Erzeugung von Lebensmitteln oder

bb) bei der sonstigen Haltung von Tieren in der Landwirtschaft oder

b) als pflanzliche Stoffe im Rahmen der pflanzlichen Erzeugung oder in der Landwirtschaft,

auch in Mischungen untereinander oder nach aerober oder anaerober Behandlung, anfallen oder erzeugt werden.

Für Wirtschaftsdünger bestehen gewisse Erleichterungen bei Untersuchungen und bei der Kennzeichnung, wenn sie in Verkehr gebracht werden.

Inverkehrbringen: das Anbieten, Vorrätighalten zur Abgabe, Feilhalten und jedes Abgeben von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen und Pflanzenhilfsmitteln andere.

Auch das unentgeltliche Abgeben zählt zum Inverkehrbringen.

3 Düngemittelverordnung

Sie regelt das Herstellen und Inverkehrbringen von mineralischen, organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsstoffen. Auch Wirtschaftsdünger unterliegen den Vorgaben der Düngemittelverordnung.

Düngemittel und Wirtschaftsdünger dürfen nur in Verkehr gebracht bzw. an Dritte abgegeben werden, wenn sie bei sachgerechter Anwendung die Fruchtbarkeit des Bodens, die Gesundheit von Menschen, Haustieren und Nutzpflanzen nicht schädigen und den Naturhaushalt nicht gefährden. In der Anlage 1 werden die zugelassenen Düngemitteltypen beschrieben, Anlage 2 enthält organische Stoffe und Aufbereitungshilfsmittel, die für die Herstellung eines Düngemittels verwendet werden können. Nur solche Dünger, die diesen Vorgaben entsprechen, dürfen auf landwirtschaftlich genutzte Flächen ausgebracht werden. Es können auch Einschränkungen und Anwendungsvorgaben angegeben sein. Für das Inverkehrbringen von Wirtschaftsdüngern sind Grenzwerte für Schadstoffe festgesetzt sowie Anforderungen an die Seuchen- und Phytohygiene formuliert. Die seuchenhygienischen Anforderungen (in 50 g Probenmaterial keine Salmonellen nachweisbar) gelten auch dann als eingehalten, wenn die Kennzeichnung auf die Salmonellen hinweist und Auflagen zur Anwendung gemacht werden. Dazu zählen die ausschließliche Ausbringung auf unbestelltem Ackerland mit sofortiger Einarbeitung oder Ausbringung zu Wintergetreide und Winterraps nur bis zum Schosserstadium (EC 30) verbunden mit bodennaher Ausbringungstechnik. Bis zur nächsten Nutzung von Grünland und Futterflächen ist ein Abstand von sechs Wochen vorgeschrieben. Die Ausbringung zu nachfolgenden Kulturen wie Gemüse, Kartoffeln, Heil-, Duft- und Gewürzkräutern in Wasserschutzgebieten in den Zone I und II ist untersagt.

Düngemittel und auch Wirtschaftsdünger dürfen nur in den Verkehr gebracht werden, wenn sie entsprechend der Vorgaben der Düngemittelverordnung gekennzeichnet sind. Die Kennzeichnung für Wirtschaftsdünger muss für alle relevanten Nährstoffe Gehaltsangaben enthalten, ev. auch zu enthaltenen Schadstoffen. Neben Angaben zur Zusammen-

setzung bzw. den verwendeten Ausgangsstoffen sind die Menge des abgegebenen Produktes (Gewicht, Volumen), Name und Anschrift des Herstellers zu vermerken. Kennzeichnungsbeispiele sind zu finden unter www.lfl.bayern.de/ipz/verkehrskontrolle und www.biogas-forum-bayern.de/publikationen: Anforderungen an die Hygiene und die Kennzeichnung von Gärresten.

Wirtschaftsdünger flüssig – Gärrest

Unter Verwendung von Maissilage, Getreide GPS, Roggen, Grassilage, Rindergülle, Rindermist

In % FM	<i>kg/m³</i>
0,62 % N Gesamtstickstoff	6,2 <i>kg/m³</i>
0,41 % NH ₄ -N Ammoniumstickstoff	4,1 <i>kg/m³</i>
0,32 % P ₂ O ₅ Gesamtphosphat	3,2 <i>kg/m³</i>
0,52 % K ₂ O ₅ Gesamtkalium	5,2 <i>kg/m³</i>

Masse: siehe Lieferschein

Hersteller/Inverkehrbringer:

Musterbiogas
Musterstraße 8
88888 Mustergas

Zusammensetzung der Ausgangsstoffe:

35 % Maissilage
20 % Getreide-GPS
10 % Roggen
5 % Grassilage
20 % Rindergülle
10 % Rindermist

Tierischer Anteil: 30 %

5,0 % Trockenmasse

Lagerungshinweise:

Während der Lagerung bzw. Ausbringung sind Abtragungen in Oberflächen- oder Grundwasser zu vermeiden.

Anwendungshinweise:

Vom Gesamtstickstoff sind 66 % (*abhängig vom Ammoniumanteil*) sofort pflanzenverfügbar. 34 % des Stickstoffs liegen in organischer Bindung vor und werden erst durch mikrobielle Umsetzung pflanzenverfügbar.

Phosphat und Kalium können in der Fruchtfolge zu 100 % angerechnet werden.

Bei der Aufbringung auf landwirtschaftlichen Flächen sind Anwendungs- und Mengenbeschränkungen aus düngemittelrechtlichen Vorschriften (DüV) zu beachten. Auf weitere düngemittel-, abfall- und wasserrechtliche Vorschriften wird verwiesen.

[ev. Hinweise zur Anwendung bei Nichterfüllung der seuchenhygienischen Anforderungen]

Weitere Hinweise:

4 Bioabfallverordnung (BioAbfV)

Die Bioabfallverordnung gilt für die Verwertung, die Behandlung und Untersuchung unbehandelter und behandelter Bioabfälle, die zur Düngung verwendet werden. Ausgenommen sind Klärschlämme und tierische Nebenprodukte, die der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 unterliegen. Tierische Wirtschaftsdünger von Nutztieren und Pferden fallen nicht unter die Bioabfallverordnung.

Die BioAbfV enthält im Anhang 1 eine Stoffliste, die grundsätzlich geeignete Abfälle für die landwirtschaftliche Verwertung enthält. Einige davon, hauptsächlich Schlämme aus gewerblichen Herstellungsverfahren, dürfen nur mit Zustimmung der zuständigen Behörde ausgebracht werden. Dafür müssen vor der ersten Abgabe Art, Beschaffenheit und Herkunft der zuständigen Behörde gemeldet werden, die nach eingehender Prüfung eine Bescheinigung ausstellt. Folgende Punkte sind besonders zu beachten:

- Hygienisierende Behandlung ist durchzuführen, außer Bioabfall ist freigestellt nach § 10 oder Freistellung durch zuständige Behörde (Pasteurisierung 70 °C für eine Stunde oder thermophile Vergärung bei mind. 50 °C über anlagenspezifische Mindestverweilzeit, nachweisbar durch Traceruntersuchung, Wirksamkeit der Behandlung ist durch Prozessprüfung nachzuweisen.
- Eine biologisch stabilisierende Behandlung (Kompostierung, Vergärung) ist vorgeschrieben, außer es liegt eine Befreiung nach § 10 oder eine Befreiung durch die zuständige Behörde vor.
- Gärproduktchargen müssen nach Art, Menge und Herkunft der Substrate mit fortlaufenden Nummern gekennzeichnet werden.
- Einmalige Bodenuntersuchung vor der ersten Ausbringung auf Schwermetalle und pH-Wert. Das Ergebnis muss innerhalb von 3 Monaten nach der ersten Aufbringung an die zuständige Behörde gemeldet werden.
- Aufbringfläche muss innerhalb von zwei Wochen nach der ersten Aufbringung der zuständigen Behörde gemeldet werden.
- Ausbringmengen 20 bis 30 Tonnen Trockenmasse in Abhängigkeit von den Schwermetallgehalten.
- Auf Grünland und Feldfutterflächen dürfen nur die Bioabfälle ausgebracht werden, die in Anhang 1 dafür zugelassen sind. Auf Feldfutterflächen ist Anwendung möglich, wenn die Ausbringung vor dem Anbau und eine Einarbeitung erfolgt.
- Bei Aufbringung von Bioabfällen mit tierischen Nebenprodukten auf Grünland oder Feldfutterflächen darf eine Nutzung durch Beweidung oder Schnitt erst nach 21 Tagen erfolgen.
- Keine Ausbringung von Klärschlamm innerhalb von 3 Jahren.
- Ausstellen eines Lieferscheines bei jeder Abgabe, Zusendung an zuständige Behörde und Landwirtschaftsbehörde.
- Auch der Bewirtschafter der Fläche muss eine Kopie des vollständig ausgefüllten Lieferscheins an die zuständige Behörde und die Landwirtschaftsbehörde senden.
- Es sind zahlreiche Ausnahmen, z. B. für Mitglieder einer regelmäßigen Gütesicherung, möglich.

5 Düngverordnung (DÜV)

Folgende auszugsweise wiedergegebenen Regelungen der Düngverordnung sind für Biogasbetriebe besonders wichtig:

- Zeitliche und mengenmäßige Ausbringung so, dass die Nährstoffe von den Pflanzen weitestgehend ausgenutzt und Nährstoffverluste vermieden werden.
- Vor der Ausbringung ist der Düngbedarf der Kulturen festzustellen (Anrechnung von N_{\min} und N-Nachlieferung). Für Phosphat sind dafür spätestens alle 6 Jahre Bodenuntersuchungen durchzuführen.
- Die Ausbringung darf nicht erfolgen, wenn der Boden überschwemmt, wassergesättigt, gefroren oder durchgängig mit mehr als fünf Zentimeter mit Schnee bedeckt ist.
- Der direkte Eintrag in oberirdische Gewässer ist zu vermeiden. Es sind Mindestabstände zur Böschungsoberkante je nach Art der Ausbringtechnik und Neigung des Geländes vorgeschrieben.
- Die Ausbringung darf nur erfolgen, wenn der Gehalt an Gesamtstickstoff, Ammoniumstickstoff und Phosphat festgestellt wurde. Gärreste sind mindestens einmal jährlich auf der Grundlage wissenschaftlich anerkannter Messmethoden zu untersuchen. Bei Abgabe von Gärresten können auch mehrere Untersuchungen notwendig sein.
- Bei der Ausbringung auf unbestelltes Ackerland sind die Gärreste unverzüglich einzuarbeiten. Der Zeitraum von 4 Stunden soll dabei eingehalten werden.
- Auf Ackerland dürfen vom 01. November bis 31. Januar, auf Grünland vom 15. November bis 31. Januar keine flüssigen oder festen Gärsubstrate ausgebracht werden.
- Nach Ernte der letzten Hauptfrucht dürfen Gärsubstrate nur zu im gleichen Jahr angebauten Folgekulturen einschließlich Zwischenfrüchten bis in Höhe des aktuellen Düngbedarfes der Kultur oder als Ausgleichsdüngung zu auf dem Feld verbliebenen Getreidestroh bis zur maximalen Höhe von 40 kg Ammonium- oder 80 kg Gesamtstickstoff je Hektar ausgebracht werden.
- Stickstoff aus tierischen Wirtschaftsdüngern darf im Durchschnitt der landwirtschaftlich genutzten Fläche des Betriebes bis maximal 170 kg je Hektar und Jahr ausgebracht werden (abzüglich tierartspezifischer Stall- und Lagerungsverluste). Ist tierischer Wirtschaftsdünger im Gärrest enthalten, wird **nur** dieser Anteil auf die Stickstoffobergrenze angerechnet.
- Jährlich müssen betriebliche Nährstoffvergleiche für Stickstoff und Phosphat erstellt werden. Darin müssen die dem Betrieb zur Biogasnutzung zugeführten und ggf. abgeführten Substrate berücksichtigt werden.
- Enthält das Gärsubstrat Knochenmehl, Fleischknochenmehl oder Fleischmehl, ist der Einsatz auf landwirtschaftlich genutztem Grünland und als Kopfdüngung untersagt.

Eine aktuelle Ausgabe der Düngverordnung ist im Internet der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft zu finden: www.lfl.bayern.de/iab/duengung → Düngverordnung

6 Inverkehrbringungsverordnung (WdüngV)

Diese Verordnung gilt für das Inverkehrbringen (Abgeben), das Befördern und die Übernahme (Aufnehmen) von Wirtschaftsdüngern aller Art sowie von Mischungen mit diesen Stoffen.

- Die Verordnung gilt für Betriebe, die im Kalenderjahr insgesamt mehr als 200 Tonnen Frischmasse in Verkehr bringen, befördern und aufnehmen
- Sie gilt nicht, wenn die genannten Tätigkeiten innerhalb eines Umkreises von 50 km innerhalb eines Betriebes oder eines Betriebes des gleichen Verfügungsberechtigten vorgenommen werden
- Abgeber, Beförderer sowie Empfänger müssen spätestens einen Monat nach den entsprechenden Tätigkeiten Aufzeichnungen erstellen. Die Inhalte sind im Internet nachzulesen.
- Werden Wirtschaftsdünger aus einem anderen Bundesland oder dem Ausland importiert, muss der Empfänger dieser Stoffe bis zum 31. März für das vorangegangene Jahr den Abgeber, die Menge und das Datum der Annahme an die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft melden. Ein Formular dazu findet sich unter der u. g. Internetadresse (§ 4 Meldung für Aufnehmer)
- Wer Wirtschaftsdünger in Verkehr bringt, muss dieses einen Monat vor der erstmaligen Tätigkeit der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft mitteilen. Auch für diese einmalige Meldung (§ 5 Mitteilung für Inverkehrbringer) kann im Internet ein Formblatt ausgedruckt werden.

Der vollständige Verordnungstext, Erläuterungen dazu sowie die Formblätter sind im Internet www.lfl.bayern.de/iab/duengung/39771 enthalten.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Düngegesetz; Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 4, ausgegeben zu Bonn am 23. Januar 2009
- [2] Düngemittelverordnung; Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil I Nr. 60, ausgegeben zu Bonn am 19. Dezember 2008
- [3] Bioabfallverordnung vom 21. September 1998 (BGBl. I S. 2955), die zuletzt durch Artikel 1 u. Artikel 4 der Verordnung vom 23. April 2012 (BGBl. I S. 611) geändert worden ist; Bundesgesetzblatt Jahrgang 2012 Teil I, ausgegeben zu Bonn am 27 April 2012
- [4] Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DÜV) vom 27. Februar 2007; Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 7, ausgegeben zu Bonn am 05. März 2007
- [5] Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdüngern; Bundesgesetzblatt Jahrgang 2010 Teil I Nr. 40, ausgegeben zu Bonn am 05. August 2010
- [6] Biogashandbuch Bayern Materialienband;
www.lfu.bayern.de/abfall/biogashandbuch

Die Nährstoffwirkung von Biogasgärresten

Fabian Lichti¹, Matthias Wendland¹, Urs Schmidhalter², Konrad Offenberger¹

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

²Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Wissenschaftszentrum Weihenstephan

1 Einleitung

Biogasgärreste liefern in der Landwirtschaft wichtige Nährstoffe für die Pflanzenernährung und können zudem als Humuslieferant dienen. Durch die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Biogasanlagen und die Rückführung der Biogasgärreste ergeben sich folglich Auswirkungen auf den Nährstoff- und Kohlenstoffkreislauf von Betrieben mit einer Biogasanlage. Von besonderer Bedeutung für den Landwirt ist es hierbei die Nährstoffwirkung des Biogasgärrestes zu kennen. Nur wenn diese möglichst genau eingestuft werden kann, besteht die Möglichkeit den Biogasgärrest zur Erzielung von Höchstträgen effizient einzusetzen und den externen Zukauf von Düngemitteln zu minimieren.

2 Stickstoff im Biogasgärrest

Dem im Biogasgärrest gebundenen Stickstoff kommt aus vielerlei Hinsicht (Wirkung auf Pflanzenwachstum, Auswaschung, gasförmige Verluste usw.) eine besondere Bedeutung zu. Ziel ist es, den Nährstoffkreislauf Pflanze – Biogasgärrest – Boden möglichst verlustfrei zu halten. Um dies zu gewährleisten müssen die Nährstoffgehalte von Biogasgärresten bekannt sein. Nur mit genauen Inhaltsstoffanalysen kann eine vernünftige Düngeplanung erfolgen. Eine repräsentative Probenahme des Biogasgärrestes aus hinreichend aufgerührtem bzw. homogenisiertem Endlager ist hierfür Grundvoraussetzung. Bei Untersuchungen der Biogasgärreste zweier Biogasanlagen über den Untersuchungszeitraum von ca. einem Jahr zeigten sich relativ große Schwankungen der Stickstoffgehalte im Biogasgärrest. Eine konstante Ausbringungsmenge von 30 m³ Biogasgärrest/ha würde unter Annahme der gemessenen Nährstoffvariabilität einer Düngermenge zwischen 90-160 kg N_{Ges}/ha (*Abb. 1*) bei Anlage A bzw. 110-175 kg N_{Ges}/ha bei Anlage B entsprechen. Ein Großteil der schwankenden Nährstoffgehalte ist hierbei auf Änderungen im Inputsubstrat oder dessen Anteil an der Gesamtration zurückzuführen. Selbst innerhalb desselben Inputsubstrates unterliegen die Nährstoffgehalte jährlichen und standortbedingten Schwankungen und beeinflussen somit den Nährstoffgehalt im Biogasgärrest. Hinzu kommen unvermeidbare Fehler bei der Probenahme, die einzelne Ausreißer erklären können.

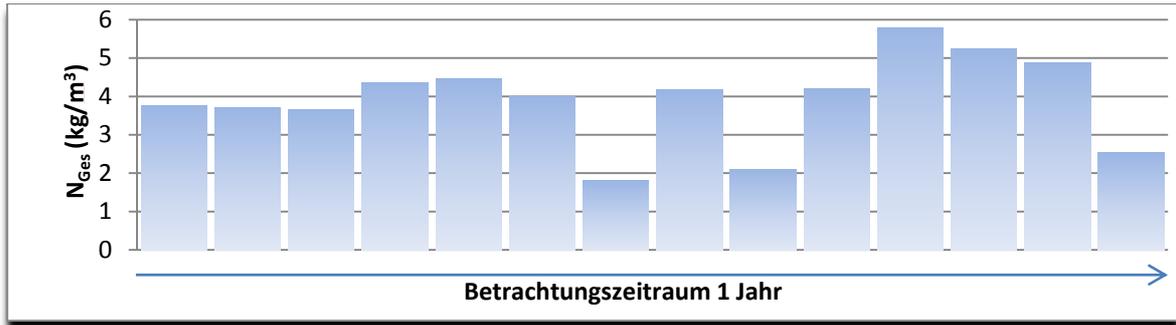


Abb. 1: Gesamtstickstoffgehalt eines Biogasgärrests über den Betrachtungszeitraum von einem Jahr

3 Nährstoffeigenschaften von Biogasgärresten

Vor dem Hintergrund steigender Nährstoffpreise sollte der verlustarmen Rückführung von Nährstoffen ein besonderes Augenmerk gelten. Bei einer Biogasanlage auf Basis NawaRo mit einer installierten elektrischen Leistung von 300 kW_{el} fallen durchaus über 30 t Stickstoff, 10 t Phosphor sowie 30 t Kali jährlich an. Der monetäre Wert dieser anfallenden Nährstoffe kann jedoch nur in Betracht gezogen werden, wenn eine effiziente Rückführung gegeben ist. Während Phosphor und Kalium in Biogasgärrest in deren Wirkung einer mineralischen Düngung gleich kommen [1], gilt gerade bei Stickstoff pflanzenbauliche Sachkenntnis um diesen der Pflanze zur Verfügung zu stellen. Generell wird bei Biogasgärresten von einer im Vergleich zu anderen flüssigen Wirtschaftsdüngern gesteigerten Stickstoffwirkung ausgegangen. Zu Grunde liegt dem ein höherer Anteil von rasch pflanzenverfügbarem Ammoniumstickstoff am Gesamtstickstoffgehalt im Gärrest bei gleichzeitig meist niedrigen TS-Gehalten. Voraussetzung für eine gute Wirkung ist jedoch, dass unter der Berücksichtigung erhöhter pH-Werte im Biogasgärrest dieser möglichst verlustarm ausgebracht wird. In Untersuchungen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft zeigte sich, dass diese sehr allgemeinen Annahmen nicht pauschal zutreffen müssen. So können in Ausnahmefällen auch Rindergüllen hohe Ammoniumgehalte bei gleichzeitig geringem TS-Gehalt aufweisen bzw. Biogasgärreste dem allgemeinen Muster nicht entsprechen. Es gilt also die einzelne Biogasanlage bzw. deren Biogasgärrest gesondert zu betrachten. Sind die Nährstoffgehalte anhand der vorgeschriebenen Untersuchungen bekannt, muss deren Wirkung eingestuft werden. In einer kleinen Umfrage (n=7) unter Biogasanlagenbetreibern wurde die Wirkung des Biogasgärrestes stets als gut – sehr gut eingestuft. Bisherige Untersuchungen zur Stickstoffwirkung von Biogasgärresten zeigen hingegen eine große Schwankungsbreite der Mineraldüngeräquivalente. Um die Nährstoffwirkung genau abschätzen zu können wurden an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft im Jahr 2008 Versuche im Freiland zur Düngung mit Biogasgärresten angelegt. Die vier Versuchsstandorte waren ein schluffiger Lehm nahe Fürstenfeldbruck (LVFZ Puch), ein stark lehmiger Sand in Guttenthau (AELF Bayreuth), ein schluffiger Lehm bei Landsberg am Lech (Agrarbildungszentrum Landsberg a. Lech) sowie ein schluffiger Lehm in Steinach (AELF Deggendorf). Neben Stickstoffsteigerungsversuchen mit Biogasgärrest sowie rein mineralischem Dünger wurde eine kombinierte Düngung aus Biogasgärrest und mineralischem Dünger geprüft. Zusätzlich wurden Parzellen mit Rindergülle sowie separiertem Biogasgärrest (flüssige und feste Phase aus Pressschneckenseparatoren) angelegt um deren Wirkung einstufen zu können.

4 Nährstoffwirkung von Biogasgärresten

Die erwähnten Wirtschaftsdünger Rindergülle sowie separiert fester und flüssiger Biogasgärrest wurden mit unbehandeltem Biogasgärrest verglichen, um deren Wirkung einzustufen zu können. Mit allen eingesetzten Düngern wurde dieselbe Menge Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) appliziert. Die separiert feste Phase erwies sich dabei als schwer zu analysierender Dünger. Es ist demzufolge zu beachten, dass die mit separiert fester Phase ausgebrachten Mengen $\text{NH}_4\text{-N/ha}$ teilweise geringer ausfielen als geplant war. Gründe hierfür waren vor allem die schwierige Homogenisierung des Materials sowie die erhöhte Anfälligkeit ammoniakalischer Verluste in Zusammenhang mit dessen noch hohem $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt und pH-Wert (teilweise > 9). Die Trockenmasseerträge des Dauerversuches zeigten im Mittel der Jahre 2009-2011 (Fruchtfolge: Silomais – Wintertriticale GPS, Weidelgras – Silomais) signifikant geringere Erträge der separiert festen Phase. Die höchsten Erträge konnten mit der separiert flüssigen Phase sowie dem unbehandelten Biogasgärrest erzielt werden, gefolgt von der eingesetzten Rindergülle (Abb. 2).

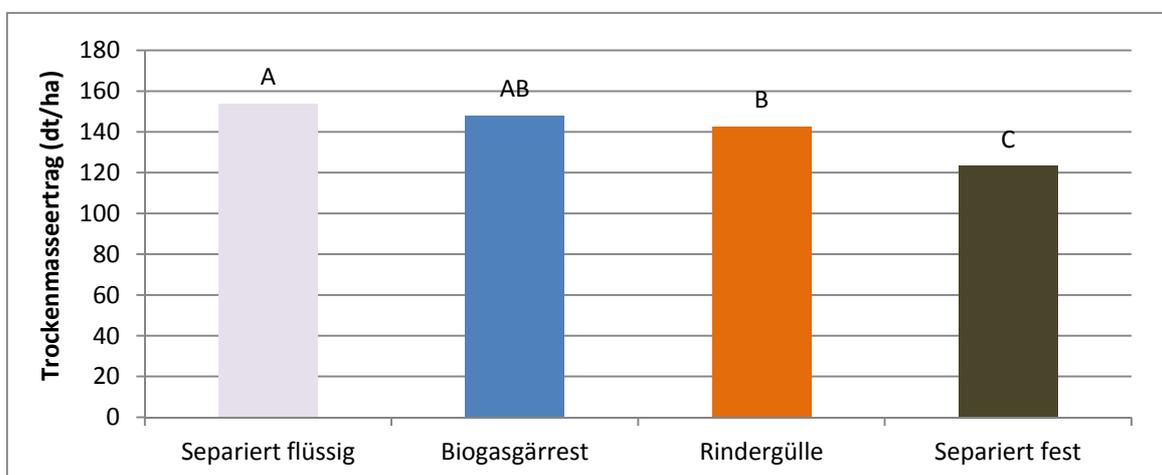


Abb. 1: Mittelwerte ($\bar{}$ 2009-2011) der TM-Erträge der verschiedenen organischen Dünger eines ortsfesten Fruchtfolgeversuches (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Signifikanz)

Um die organischen Dünger zu vergleichen, eignet sich das Mineraldüngeräquivalent (MDÄ). Dieses beschreibt jene Menge an mineralischem Stickstoff (in Prozent), welche zur Erzielung desselben TM-Ertrages durch organische Düngung benötigt wurde. Ein MDÄ von 50 % gibt somit an, dass mit 50 kg mineralischem Stickstoff derselbe Ertrag erzielt wurde wie mit 100 kg organischem Stickstoff. Zu achten ist zudem darauf, welche Stickstofffraktion des organischen Düngers betrachtet wird (Gesamtstickstoff oder Ammoniumstickstoff). Da die Ammoniumfraktion als die im Anwendungsjahr verfügbare Stickstoffquelle angesehen wird, beziehen sich die folgenden MDÄ Angaben auf den $\text{NH}_4\text{-N}$ im organischen Dünger. Auffallend sind die über alle organischen Dünger niedrigeren MDÄ am Standort Landsberg. Inwieweit der Einzelstandort Auswirkungen auf die Stickstoffeffizienz zeigt, sowie die Ursachen für die niedrigen MDÄ am Standort Landsberg, ist derzeit Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Tab. 1: Mittelwerte ($\bar{}$ 2009-2011) der Mineraldüngeräquivalente der verschiedenen organischen Dünger an vier Standorten eines ortsfesten Fruchtfolgeversuches

	MDÄ (TM-Ertrag, NH ₄ -N)				
	Puch	Bayreuth	Landsberg	Steinach	
Rindergülle	75 %	75 %	44 %	Biogasgärrest 1	75 %
Separiert flüssig	95 %	82 %	52 %	Biogasgärrest 2	72 %
Separiert fest	41 %	58 %	28 %	Biogasgärrest 3	87 %
Biogasgärrest	72 %	76 %	55 %	Biogasgärrest 4	73 %
				Rindergülle	59 %
				separiert fest	28 %

Lässt man vorerst den Standort Landsberg außer Betracht, so erreichte das höchste MDÄ die separiert flüssige Phase mit einer Wirkung knapp 90 % des applizierten NH₄-N. Das niedrigste MDÄ erzielte hingegen der separiert feste Biogasgärrest (MDÄ_{NH₄-N} 42 %). Im mittleren Bereich bewegten sich die eingesetzte Rindergülle mit einem durchschnittlichen MDÄ von 70 % sowie der unbehandelte Biogasgärrest mit einem durchschnittlichen MDÄ von 76 %. Im Einzelfall zeigte jedoch auch die Rindergülle eine mit dem Biogasgärrest vergleichbare Effizienz auf, wie im Beispiel Puch. Dies ist vor allem auf einen vergleichbaren Trockensubstanzgehalt bei gleichzeitig hohem NH₄-N Anteil am Gesamtstickstoffgehalt der Rindergülle (7,5 % TS; 58 % NH₄-N/N_{Ges}) gegenüber dem Biogasgärrest (7,2 % TS; 56 % NH₄-N/N_{Ges}) zurückzuführen.

5 Fazit

Die Wirkung von Biogasgärresten kann und muss im Einzelfall erfasst werden. Über die verpflichtende Untersuchung der Biogasgärreste kann der Nährstoffgehalt aufgezeichnet werden. Voraussetzung für eine effiziente Düngung ist, dass dies gewissenhaft aus möglichst gut homogenisierten Behältern (am besten während eines Ausbringungstermines aus dem Fass, sofern eine Entnahmeverrichtung vorliegt) erfolgt. In Kombination mit dem Mineraldüngeräquivalent kann dann die Stickstoffwirkung eingestuft und in eine Düngeplanung übernommen werden.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Bachmann, S., Wentzel, S. and Eichler-Löbermann, B. (2011), Codigested dairy slurry as a phosphorus and nitrogen source for *Zea mays* L. and *Amaranthus cruentus* L. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 174: 908-915.

BIOGAS FORUM BAYERN

Martin Müller und Irmgard Neumeier

ALB Bayern e.V.

Zusammenfassung

Das BIOGAS FORUM BAYERN ist eine Plattform für den Informationsaustausch zwischen Wissenschaft und Praxis. Zielsetzung sind die Erstellung von Informations-, Beratungs- und Schulungsunterlagen für Betreiber von Biogasanlagen, die Bereitstellung von Hilfsmitteln für die Qualitätssicherung der Biogasproduktion in Bayern, und die Information der Öffentlichkeit zur Verbesserung der Akzeptanz landwirtschaftlicher Biogasanlagen.

1 Organisationsstruktur

Experten aus allen Bereichen der Biogasproduktion bringen ihr Fachwissen in sechs Arbeitsgruppen ein:

- AG I: Substratproduktion
- AG II: Substratbereitstellung und Logistik
- AG III: Prozessbiologie, -bewertung und Analytik
- AG IV: Bau- und Verfahrenstechnik
- AG V: Betriebs- und volkswirtschaftliche Bewertung
- AG VI: Schulung und Zertifizierung

Es wird ein kontinuierlicher und auf aktuellen Forschungsergebnissen und Praxiserfahrungen basierender Wissenstransfer angestrebt.

Mit dem BIOGAS FORUM BAYERN konnte ein ehrenamtlicher Expertenausschuss zum Informationsaustausch und zur Wissensvermittlung in die landwirtschaftliche Praxis aufgebaut werden. Fachleute aus den Bereichen Wissenschaft und Forschung, Beratung und Ausbildung, Dienstleister und Hersteller, Fachbehörden und Verbände, sowie Selbsthilfeeinrichtungen und Betreiber kommen regelmäßig zusammen, um in gemeinsamer Runde Abläufe und Prozesse der Biogaserzeugung und -verwertung zu optimieren. Als Ergebnis werden Fachinformationen und Beratungsunterlagen angefertigt. Diese sind für die Allgemeinheit über den dafür eingerichteten Internetauftritt www.biogas-forum-bayern.de kostenlos abrufbar.

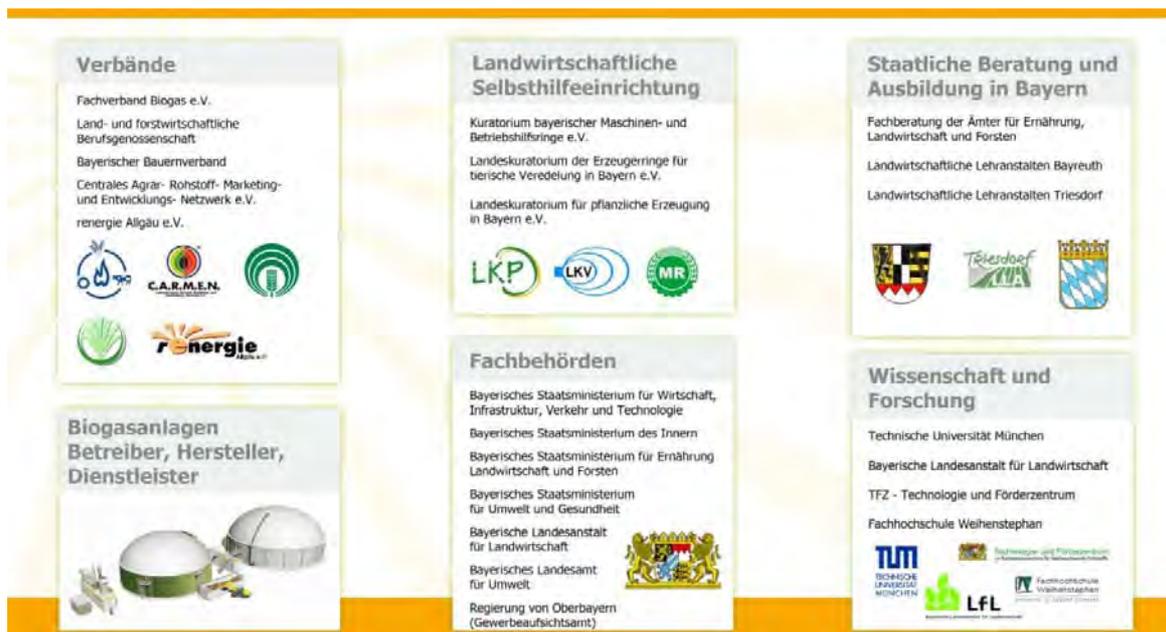


Abb. 1: Beteiligte Organisationen im BIOGAS FORUM BAYERN

Das Koordinierungsgremium des BIOGAS FORUM BAYERN legt die strategische Ausrichtung und Ziele fest und stimmt diese inhaltlich zwischen den einzelnen Arbeitsgruppen ab.

Als operative Ebene wirkt das Plenum des BIOGAS FORUM BAYERN, in dem die von den Arbeitsgruppen erstellten Unterlagen von allen Beteiligten diskutiert und nach fachlicher und inhaltlicher Abstimmung zur Veröffentlichung freigegeben werden. Im Plenum treffen die Mitglieder aller Arbeitsgruppen zweimal pro Jahr zusammen.

Neben dem allgemeinen Informationstransfer dient die bestehende Internetplattform zur inhaltlichen Abstimmung laufender Teilprojekte auf Arbeitsebene. Daten und Informationen können unter den Mitgliedern weitergeleitet und ausgetauscht werden. Hierzu steht für jede Arbeitsgruppe ein eigener geschützter Bereich zur Verfügung. Dadurch wird die Effizienz der Zusammenarbeit wesentlich gesteigert. Außerdem werden die Arbeiten der einzelnen Gruppen durch die Verwendung einer elektronischen Arbeitsplattform zentral koordinierbar.

2 Themenschwerpunkte

2.1 Substratproduktion



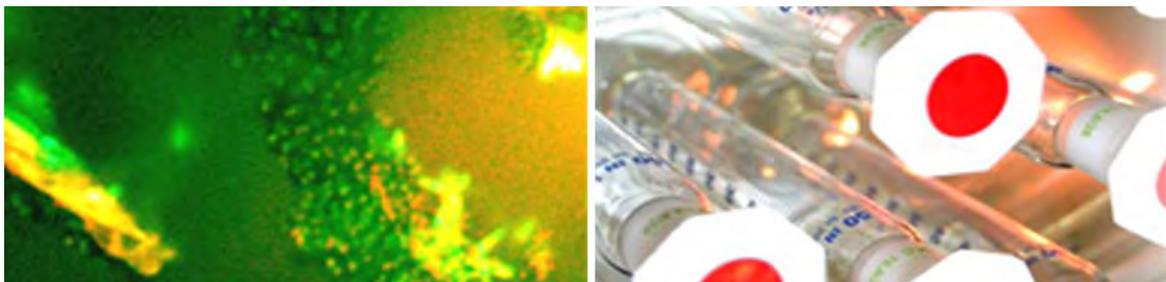
Schwerpunktthema der Arbeitsgruppe „Substratproduktion“ ist der Anbau nachwachsender Rohstoffe für die Biogaserzeugung. Zu den Kernkompetenzen gehören auch Fruchtfolgegestaltung und die Verwertung der Gärreste als Dünger.

2.2 Substratbereitstellung



Die Arbeitsgruppe „Substratbereitstellung“ beschäftigt sich mit der Erntetechnik und Verfahrensleistung, sowie dem Transport von Biomasse vom Feld zum Silo und der Verkehrssicherheit. Zentrale Fragestellungen zur Konservierung hochwertiger Silagen, sowie Technik und Verfahren der umweltgerechten Gärrestdüngung sind weitere Schwerpunkte der Arbeitsgruppe.

2.3 Prozessbiologie, -bewertung und Analytik



Die Arbeitsgruppe „Prozessbiologie, -bewertung und Analytik“ ist mit den mikrobiellen Prozessen im Fermenter sowie den Fragen der Hygiene und der Kontrolle des Gärprozesses mit Hilfe analytischer Methoden betraut.

2.4 Bau- und Verfahrenstechnik



Diese Arbeitsgruppe befasst sich mit den unterschiedlichen Bauweisen und Verfahrenstechniken für die Biogasgewinnung und -verwertung, die Umsetzung sicherheitstechnischer und genehmigungsrechtlicher Anforderungen, sowie die infrastrukturelle Anbindung der Anlagen.

2.5 Betriebs- und volkswirtschaftliche Bewertung



Diese Arbeitsgruppe behandelt die betriebs- und volkswirtschaftliche Bewertung des gesamten Verfahrens der Biogasproduktion, sowie seiner Teilprozesse. Weitere zentrale Themenschwerpunkte der Arbeitsgruppe sind Fragestellungen zur Treibhausgasbilanz, zu rechtlichen Belangen und zur Abwärmenutzung.

2.6 Schulung und Zertifizierung



Die Arbeitsgruppe „Schulung und Zertifizierung“ arbeitet an der Entwicklung und Umsetzung eines bayernweiten, standardisierten und abgestimmten Schulungs- und Weiterbildungsprogramms. Das Ziel ist eine Zertifizierung der Biogasanlagenbetreiber und Beratungsdienstleister.



3 Bedeutung für die Praxis

Seit Gründung des BIOGAS FORUM BAYERN im Jahr 2008 wurden 12 Sitzungen des Koordinierungsgremiums, 10 Plenumsitzungen und insgesamt 70 Sitzungen der einzelnen Arbeitsgruppen von der ALB Bayern organisiert und durchgeführt.

Zur Veröffentlichung der Ergebnisse aus der fachlichen Arbeit des BIOGAS FORUM BAYERN wurde mit www.biogas-forum-bayern.de eine Internetplattform geschaffen, die allen Interessierten in der Öffentlichkeit, aber insbesondere den Betreibern von Biogasanlagen, den Beratern und Dienstleistern sowie Planern bzw. Herstellern eine fundierte, umfassende und kostenfreie Informationsmöglichkeit bietet.

Aktuell sind im Internet über 70 Fachpublikationen und 11 Literaturempfehlungen abrufbar. Die Liste an Veröffentlichungen wird durch neue Ausarbeitungen der Arbeitsgruppen fortlaufend ergänzt und auf dem aktuellen Stand des Wissens gehalten.

Im Projektjahr 2011 wurden auf der Seite www.biogas-forum-bayern.de 133.395 Besuche registriert. Gegenüber dem Vorjahr 2010 ist demnach eine Zunahme der Besucherzahlen von 48 % zu verzeichnen. Das belegt die steigende Bedeutung und Akzeptanz dieser Informationsplattform. Zu den steigenden Nutzerzahlen hat u. a. die bestehende Öffentlich-

keitsarbeit beigetragen. In den vergangenen Jahren wurden regelmäßig Kurzinformationen zu Publikationen und aktuellen Themen verfasst und in Fachzeitschriften veröffentlicht (Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, Joule, Biogas Journal, Allgäuer Bauernblatt). Zweitveröffentlichungen von Publikationen des BIOGAS FORUM BAYERN fanden in entsprechenden Zeitschriften statt. Außerdem wurde das Projekt bei Vortragsveranstaltungen, Messen, Ausstellungen und Informationstagen immer wieder vorgestellt.

Der Gärresteinsatz in einer biologischen Biogasanlage

Hubert Miller

Bioenergie Schmiechen, GmbH & Co. KG

Der Gärresteinsatz in einer biologischen Biogasanlage

- Bioenergie Schmiechen GmbH & Co. KG



Kleegrasvergärung
Hubert Miller, Schmiechen

Fünf Teilhaber, weitere fünfzehn Zulieferbetriebe von Kleegras

	<p>Ackerbau, ca. 380 ha Nur Teilhaber</p>		<p>Lohnunternehmer für die gesamte Silierkette</p>
	<p>Biogas-Anlage, 350 kW_{el}.</p>		<p>Mitglieder von Naturland und Bioland</p>

Kleegrasvergärung
Hubert Miller, Schmiechen

Warum Biogas aus Klee gras und Mist

- Hoher Klee gras-Anteil
- Unkrautunterdrückung
- Keine Rauhfutter-Verwertung
- Hohe N-Bindung durch Abfuhr
- Hemmung weiterer N-Bindung durch Mulchauflage
- Aufwand für Mulchen erspart
- Reduktion von Emissionen
- Möglichkeit von Nährstoffmanagement



Klee grasvergärung
Hubert Miller, Schmiechen

Bisherige Erfahrungen

- Gärrestlager 2000 m³ + ca. 3000 m³ externe Lager.
- Der Gärrest wird überwiegend im Frühjahr als Kopfdüngung zu Weizen verwendet, aber auch zur Düngung von Zwischenfrüchten in Vorbereitung auf die Kartoffel
- Kleinere Mengen werden Separiert.
- Eine deutliche Ertragssteigerung kommt erst nach zwei bis drei Jahren.

Klee grasvergärung
Hubert Miller, Schmiechen

Relative Veränderungen der N-Aufnahmen viehlos-Versuch (%) (MW 2003-2005)

	v-los	v-los BG
KG	100	100
Kartoffeln	100	100
WW 3	100	117
Erbsen	100	100
WW 5	100	130
SW	100	117
Summe NL	100	116
Summe Get	100	122

Dr. Kurt Möller

Erfahrungen / Probleme

- Bodendruck der Erntemaschinen und der Substrat- Ausbringtechnik
- Separiertes Material verliert NH₄n.
- Ausbringverluste (NH₄n)!!!
- Ausbringung im zeitigen Frühjahr bei Nachtfrost am besten.

Kleegrasvergärung
Hubert Miller, Schmiechen

Analysewerte

	TS- Gehalt	N Gesamt	NH ₄ N Ammoniu m N	K ₂ O Kalium	P ₂ O ₅ Phosphor
	%	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
Gärrest	10,4	5,58	3,27	8,8	2,01

Kleegrasvergärung
Hubert Miller Schmiechen

Offene Fragen

- Wie kann Gärrest aufbereitet werden?
- Welche Ausbringtechnik?

Kleegrasvergärung
Hubert Miller, Schmiechen

Effekte der Gärrestdüngung auf Bodentiere – Zwischenbilanz

Roswitha Walter und Johannes Burmeister

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

Zusammenfassung

Der Einfluss von Gärrestdüngung auf die Besiedlungsdichte, Biomasse und Zusammensetzung von Bodentieren auf Äckern im Vergleich zu herkömmlichen Wirtschaftsdüngern wird in einer Zwischenbilanz verschiedener Untersuchungen in Bayern vorgestellt.

Von 2008 bis 2010 wurden auf einem Ackerschlag des Versuchsgutes Scheyern Untersuchungen in $\frac{1}{4}$ m² großen Edelstahlrahmen (Microplots) zu den Artengruppen der Springschwänze, Milben und Regenwürmer sowie in eingegrabenen Minicontainern von 100 ml zu Springschwänzen und Milben durchgeführt. Aus dem für 10 Jahre (von 2009 bis 2019) angelegten Forschungsprojekt „Gärrestversuch Bayern – Prüfung der langfristigen Nutzungspfade Biogas und BtL“ werden erste Ergebnisse zu Regenwürmern sowie zu epigäischen Arthropoden vorgestellt. Ergänzend erfolgt noch eine Validierung des Regenwurmbestandes von Gärrest gedüngten Äckern mit dem durchschnittlichen von 2010 bis 2012 auf 54 bayerischen Äckern ermittelten Regenwurmbestand (Referenzwert).

Insgesamt zeigten die organischen Düngungsvarianten im Vergleich zur rein mineralischen Düngung positive Effekte auf die Besiedlungsdichte vieler Bodentiere. Zwischen der Düngung mit Gärresten und Rindergülle waren bislang keine eindeutigen Unterschiede feststellbar. Dennoch gibt vor allem die Qualität und Menge des rückgeführten organischen Materials durch Gärreste Anlass zur Besorgnis. So zeigen sich erste tendenzielle Effekte für endogäische Regenwürmer durch Gärrest-Düngung, die zu Veränderungen in der Zusammensetzung der Regenwurmzönose führen könnten (bislang allerdings keine signifikanten Unterschiede nachweisbar). Zum landesweiten Durchschnitt wiesen die adulten endogäischen Regenwurmartens kleinere und leichtere Individuen in den Gärrest gedüngten Äckern auf.

Um den Erhalt der Bodentiere in ihrer Dichte und funktionalen Vielfalt zu gewährleisten wird abschließend v. a. auf weitere Forschung auf diesem Gebiet (z. B. im Gärrestversuch Bayern bis 2019) sowie auf eine vorsorgliche Risikominimierung (z. B. durch ein abwechslungsreiches Nutzungsmosaik, vielfältige Fruchtfolgen, reduzierte Bodenbearbeitung, agrarökologische Maßnahmen wie Blühflächen und Hecken) hingewiesen.

1 Einleitung

Bodentiere besiedeln in einer großen Vielfalt und teilweise in einer hohen Dichte landwirtschaftlich genutzte Böden und beeinflussen durch ihre Lebensweise die Bodenfruchtbarkeit. Zahlreiche Bodentiere sind am Streuabbau beteiligt (z. B. Springschwänze, Milben, Regenwürmer), wobei ihnen eine wichtige Bedeutung bei der Einmischung und Beschleunigung des Abbaus organischer Substanz zukommt [6] [14]. Insbesondere die grabenden Bodentiere wie Regenwürmer wirken aktiv auf das Bodengefüge [9] [15] und tra-

gen maßgeblich zur Lockerung und Umlagerung von Bodensubstanzen bei. Dadurch können die Sauerstoffversorgung und die Drainage des Bodens verbessert sowie Bodenverdichtungen und Bodenerosionen gemindert werden [18]. Als Wirkungsglieder bei der Schädlingsbekämpfung und Streuzersetzung kommt v.a. den epigäischen Raubarthropoden wie Laufkäfern, Spinnen und Raubmilben eine gewisse Rolle als Nützlinge zu. Besonders Laufkäfer und Spinnen sind auf Grund ihrer engen Standortbindung und umfangreicher Kenntnisse zu ihrer Ökologie zudem als Indikatororganismen bekannt.

Zahlreiche Einflussfaktoren, wie die Standortbedingungen (Boden, Klima, Witterung), die Nutzung und Bewirtschaftungsweise sowie auch die umgebene Landschaftstruktur (z. B. für die ausbreitungsstarken Insektenarten) beeinflussen die Siedlungsdichte und Zusammensetzung der Bodentiere. Ihre Vielfalt und Dichte sind ein Anhaltspunkt für die ökologische Nachhaltigkeit eines Bewirtschaftungssystems. Für viele Bodentiere kann auch die Menge der angebotenen Nahrung ihre Dichte erhöhen. Für die streuabbauenden Artengruppen (z. B. Collembolen, Regenwürmer) geschieht dies direkt über die organische Substanz (Streu, organische Düngung), bei räuberischen Arthropoden (hier Spinnen u. Laufkäfer) über die Präsenz von Beute (z. B. Schnecken, Collembolen u. a.).

In den letzten Jahren führte die starke Zunahme der Biogasanlagen zu einem zunehmenden Anfall vergorener Rückstände aus der Biogaserzeugung (Gärreste), die als organische Dünger anstelle herkömmlicher Wirtschaftsdünger eingesetzt werden. Aufgrund des Abbaus organischer C-Gerüste zu Methan im Fermentationsprozess der Biogasanlage weisen Gärreste andere Eigenschaften als konventionelle Gülle auf, z. B. geringere Gehalte an organisch gebundenem Kohlenstoff und Stickstoff, sowie höhere Ammoniumgehalte und pH-Werte [2] [27]. Insbesondere die Menge und Qualität der organischen Kohlenstoffverbindungen im Gärrest könnte ihren Nährwert für Bodentiere verringern. Wirkt sich dies auf die Siedlungsdichte und Aktivität von Bodentieren aus? Dazu wird eine Zwischenbilanz der bisherigen z. T. ersten Ergebnisse aus unterschiedlichen Untersuchungen in Bayern gezogen. Gesicherte Aussagen über Effekte der Gärrestdüngung auf Bodentiere sind erst nach weiteren der z. T. langfristig angelegten Untersuchungen möglich.

2 Microplot- und Minicontainerversuch in Scheyern

2.1 Versuchsdurchführung

Auf einem Ackerschlag des Versuchsgutes Scheyern im tertiären Hügelland in Oberbayern (Landkreis Pfaffenhofen) wurden von 2008 bis 2010 Untersuchungen in $\frac{1}{4}$ m² großen Edelstahlrahmen (Microplots) für die Artengruppen der Springschwänze, Milben und Regenwürmer sowie in 100 ml Minicontainer (für Springschwänze, Milben) durchgeführt. Auf dem integriert bewirtschafteten Schlag wurde 2008 Silomais, 2009 Winterweizen und 2010 (kurz nach der Beprobung) Kartoffel angebaut. Verglichen wurde die Siedlungsdichte und Zusammensetzung der Bodentiere für die Düngungsvariante Gärrest aus der Biogas-Produktion (klassisch, ohne Separation) mit Rindergülle aus der Tierhaltung sowie Wasser als Kontrolle in jeweils dreifacher Wiederholung für die Microplots und 12-facher Wiederholung für die Minicontainer. Von 2008 bis Ende 2009 wurde in die Microplots dreimal eine organische Düngermenge von jeweils 36 m³/ha (verteilt auf je zwei Gaben) appliziert. In die mit Tongranulat gefüllten Minicontainer wurde jeweils 25 (2008) bzw. 50 ml (2009) Dünger eingebracht.

Aus den Microplots wurden an drei Terminen Proben zu Springschwänzen und Milben (jeweils 4 Stechzylinder) entnommen und die enthaltenen Kleintiere mittels der Kempson-Apparatur ausgetrieben. Die mit Dünger behandelten Minicontainer (100 ml) wurden für einen Zeitraum von 3 bis 6 Monaten (03.07.-06.10.2008; 30.04.-21.07.2009; 13.10.2009-13.04.2010) im oberflächennahen Bodenhorizont eingegraben und anschließend die enthaltenen Kleintiere mittels der Berlese-Tullgren-Apparatur extrahiert.

Die Beprobung der Microplots ($\frac{1}{4}$ m²) auf Regenwürmer erfolgte nach dreimaliger Düngergabe im April 2010. Mit einer Methodenkombination bestehend aus einer Austreibung mit 0,2 %iger Formalinlösung und einer anschließenden Handauslese (auf jeweils der Hälfte des Microplots) wurden die Regenwürmer erfasst.

Die statistische Auswertung erfolgte mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse und nachfolgendem paarweisem t-Test korrigiert nach Holm ($\alpha = 0,05$). Im Sinne einer Hypothesensuche wurde auf eine Korrektur des α -Fehlers bei multivariater Analyse verzichtet.

2.2 Ergebnisse zu Springschwänzen und Milben

2.2.1 Microplots

Über den gesamten Untersuchungszeitraum wurden insgesamt 7534 Springschwänze und 2221 Milben nachgewiesen. In den Microplots konnten für die Abundanz der Springschwänze und Milben in keinem Jahr signifikante Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten gefunden werden (Abb. 1). Im Jahr 2010 zeigte sich eine im Mittel höhere Siedlungsdichte in den mit Gärrest und Rindergülle gedüngten Microplots gegenüber der Kontrollvariante. Unterschiede hinsichtlich der Siedlungsdichte von Springschwänzen und Milben zwischen Gärrest- und Rindergülldüngung konnten in diesem Versuchsdesign nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Die Artenzahlen der Springschwänze waren in den Microplots zwischen den Düngervarianten nicht deutlich verschieden. 2010 wurden hier etwas mehr Arten in den Gärrest gedüngten Rahmen nachgewiesen. Dennoch erbrachten die Daten auf Niveau der einzelnen Arten wichtige zusätzliche Ergebnisse. So zeigte sich, dass nur eine Förderung durch das organische Material für einige Arten nachgewiesen werden konnte. Eine Ausnahme bildet die Springschwanzart *Stenacidia violacea*, deren Siedlungsdichte in einem Jahr scheinbar durch die vorausgegangene Düngung verringert wurde. Auf den Microplots reagierte besonders der Springschwanz *Heteromurus nitidus* auf die organische Düngung und hier tendenziell sogar stärker auf die Gärrestdüngung.

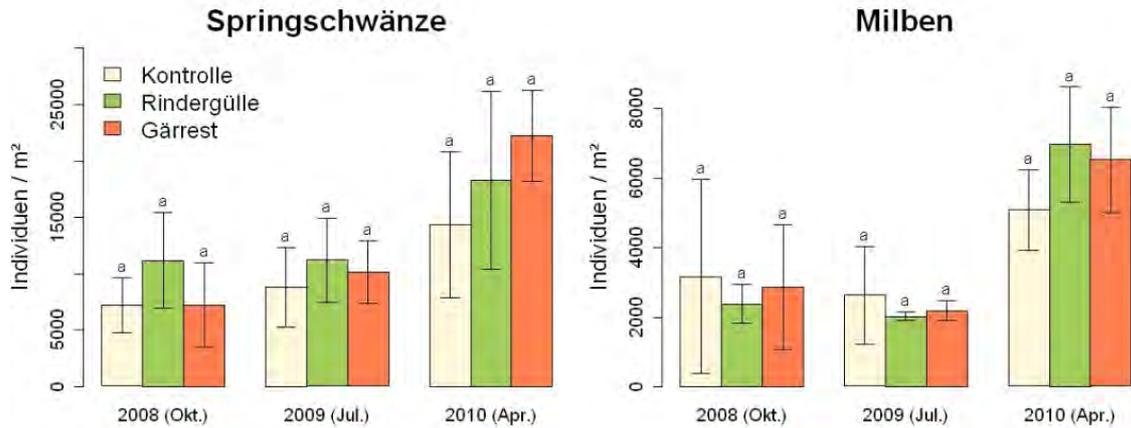


Abb. 1: Siedlungsdichte der Springschwänze und Milben in den Microplots 2008 bis 2010.

2.2.2 Minicontainer

Über den gesamten Versuchszeitraum wurden in der Summe 4188 Springschwänze und 2101 Milben gefangen. Die Zahl der Springschwänze in den mit organischem Dünger behandelten Minicontainern war 2008, 2009 und 2010 erwartungsgemäß höher als in der Kontrolle. 2010 war dieses Ergebnis signifikant, 2008 und 2009 lediglich für den Vergleich von Rindergülle zur Kontrolle (Abb. 2). Deutlich weniger Milben wanderten in allen Jahren in die Minicontainer der Kontrollvariante im Vergleich zu den organisch gedüngten Varianten ein bzw. entwickelten sich dort. Signifikante Unterschiede bestanden im Jahr 2009 wiederum nur für den Vergleich der Rindergülle mit der Kontrolle und 2010 für beide organischen Düngungsvarianten. Kein sicher nachweisbarer Unterschied in der Besiedlungsdichte zeigte sich zwischen den mit Rindergülle und Gärrest behandelten Containern.

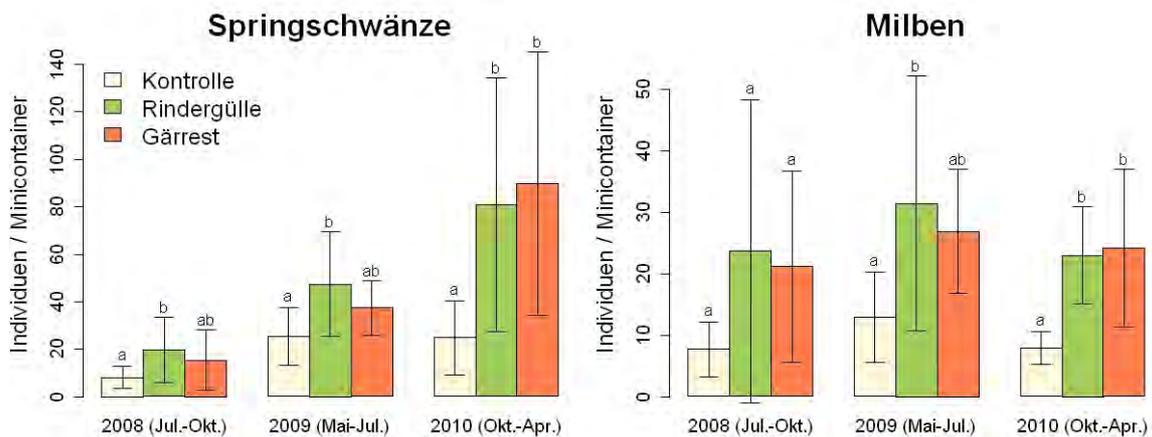


Abb. 2: Anzahl der Springschwänze und Milben in den Minicontainern 2008 bis 2010.

Mit organischem Material versehene Minicontainer wiesen erwartungsgemäß tendenziell mehr Arten auf. Signifikant positive Effekte waren in einzelnen Jahren für mehrere Milben und Springschwanzarten nachzuweisen, hierbei waren allerdings einige nur signifikant für die Behandlung mit Rindergülle (*Megalothorax minimus*, *Isotoma viridis*, *Veigaia cerva*). In beiden organischen Düngervarianten traten positive Effekte für *Parisotoma notabilis*, *Lysigamasus runcatellus*, *Pachylaelaps imitans* und *Parasitus beta* auf.

2.3 Ergebnisse Regenwürmer

Beide organische Düngerformen (Rindergülle und Gärrest) zeigten im Microplotversuch einen positiven Effekt auf den Regenwurmbestand. Zur Kontrolle (Behandlung mit Wasser) lag ihre Gesamt-Individuendichte um ca. das 2,5-fache und ihre Regenwurm-Biomasse um ca. das 2,8-fache höher (s. Tab. 1). In der Biomasse war dies für beide organische Düngungsvarianten signifikant, während in der Abundanz nur signifikante Unterschiede zwischen Rindergülle und Kontrolle nachweisbar waren.

Tab. 1: Abundanz und Biomasse der Regenwürmer in den Düngungsvarianten des Microplotversuches im Jahr 2010 (Mittelwerte mit Standardabweichung, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten)

	Kontrolle	Rindergülle	Gärrest	ANOVA P-Value
Individuen/m ²	133,3 ± 85,5 a	346,7 ± 63,5 b	314,7 ± 85,5 ab	< 0,05
Biomasse in g/m ²	54,6 ± 16,5 a	149,0 ± 24,9 b	154,2 ± 49,0 b	< 0,05

Da die Edelstahlrahmen der Microplots nur ca. 20 cm tief in den Boden gerammt wurden, könnten die hohen Besatzdichten der Regenwürmer in den organisch gedüngten Varianten auch ein Ergebnis von seitlicher Einwanderung der Regenwürmer über tiefere Bodenschichten sein, um in die vom Nahrungsangebot her attraktiveren Bereiche zu gelangen. Unstrittig scheint dennoch, dass im Microplotversuch die Düngung mit Gärresten in der Besiedlungsdichte eine ähnliche Attraktivität für Regenwürmer aufwies wie die mit Rindergülle. Dennoch zeigten sich bei den adulten endogäischen Arten tendenzielle Unterschiede zwischen der Düngung mit Gärrest- und Rindergülle. Eine um ca. 30 % geringere Individuendichte und Biomasse der adulten endogäischen Arten war in der Gärrest-Variante feststellbar, allerdings ohne nachweisbare signifikante Unterschiede (Abb. 3).

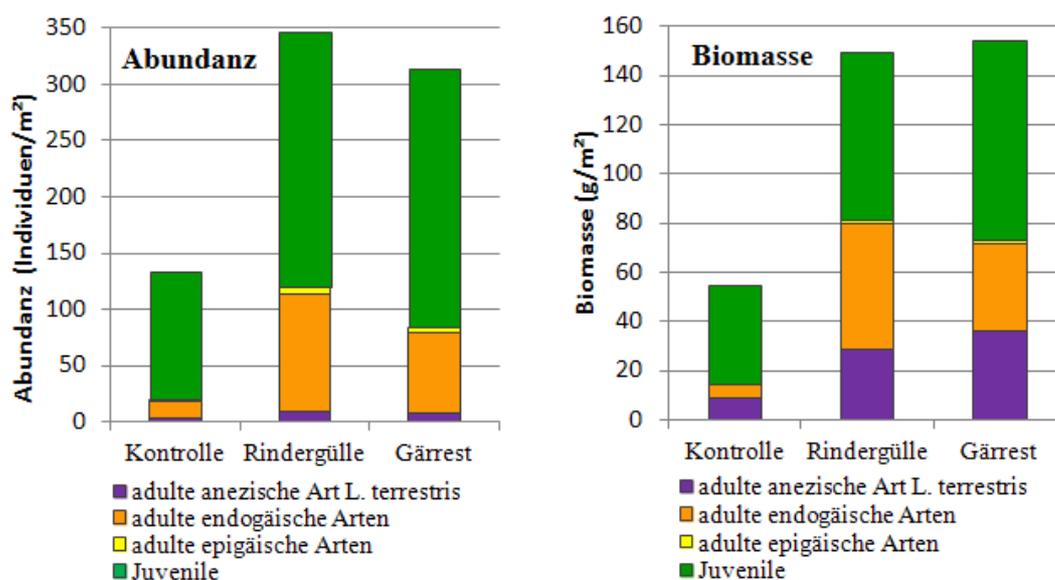


Abb. 3: Abundanz (links) und Biomasse (rechts) der ökologischen Gruppen der Regenwürmer in den Düngungsvarianten des Microplotversuches im Jahr 2010

3 Gärrestversuch Bayern

3.1 Versuchsdurchführung

Aus dem für über 10 Jahre (von 2009 bis 2019) angelegten Forschungsprojekt „Gärrestversuch Bayern – Prüfung der langfristigen Nutzungspfade Biogas und BtL“ [13] werden erste Ergebnisse zu Regenwürmern sowie zu epigäischen Arthropoden (Laufkäfer, Spinnen) vorgestellt. Auf vier Untersuchungsstandorten (Aholting, Straubing in Niederbayern und Reuth, Röckingen in Mittelfranken) wurden in einer Weizen-Mais Fruchtfolge rein mineralische Düngungsvarianten, verschiedenen Gärrestdüngungsvarianten sowie eine mit Rindergülle gedüngte Variante in jeweils 4-facher Wiederholung angelegt (Tab. 2).

Tab. 2: Übersicht der Düngungsvarianten je Fruchtfolgeglied

Variante Nutzungspfad	Stroh- nutzung	Silomais	Winter- weizen	Bemerkung
V 1 BtL-Fruchtfolge	Abfuhr	ausschließlich mineralische Düngung	ausschließlich min. Düngung	BtL-Simulation, keinerlei Rückführung org. Biomasse
V 2 Silomais-Weizen-FF ohne Gärrestrückführung	Verbleib	ausschließlich mineralische Düngung	ausschließlich min. Düngung	Keinerlei Rückführung org. Biomasse, Stroh verbleibt
V 3 Biogas-Marktfrucht-FF mit Strohabfuhr	Abfuhr	Gärrest proportional zur Silomais-abfuhr + N-Unterfußdüngung	Gärrest + min. Düngung	Simulation Strohverkauf
V 4 Biogas-Marktfrucht-FF	Verbleib	Gärrest proportional zu Silomais-abfuhr + N-Unterfußdüngung	Gärrest + min. Düngung	Simulation Stroh wird eingearbeitet
V 5 Biogas-Gärrestüberhang-FF	Abfuhr	Düngung über Gärrest + N-Unterfußdüngung	Gärrest + min. Düngung	Simulation 20 % Gärrestüberhang
V 6 Rindergülle-Marktfrucht-FF	Verbleib	Gülle proportional zu Silomaisabfuhr + N-Unterfußdüngung	Gülle + min. Düngung	Simulation Güllewirtschaft, ohne Strohnutzung

In allen Varianten wurde auf den optimalen Ertrag gedüngt. Aufgrund des Abbaus organischer C-Gerüste zu Methan im Fermentationsprozess der Biogasanlage erhielten dabei die beiden Gärrestvarianten V3 und V4 eine geringere Menge organischer Substanz als die Rindergülle-Variante V6. Dagegen wurde in der Biogas-Gärrestüberhang-Variante V5 eine ähnlich hohe Menge an organischer Substanz wie in der Rindergülle-Variante V6 eingebracht.

Nach dreijähriger Versuchslaufzeit fand im April 2012 die Beprobung der Regenwürmer von jeweils 5 Varianten (V1, V3, V4, V5 und V6) mit einer Methodenkombination aus Formalinaustreibung (0,2 %ige Lösung) und anschließender Handauslese statt. Je Parzelle wurden zwei Stichproben von jeweils 0,5 m² (mit der Formalinaustreibung) und 0,1 m² (mit der Handauslese) genommen.

Auf den Versuchsstandorten des „Gärrestversuches Bayern“ wurde 2011, nach einer Grundaufnahme 2009, die epigäische Fauna erfasst. Im Fokus dieser Untersuchung standen Laufkäfer, die bis auf Artniveau bestimmt wurden. Die Erhebungen fanden mit üblichen Barberfallen (Öffnungsweite: 6,5 cm; Fangflüssigkeit: 75 %iges Ethylenglykol; Plexiglasdach) statt. Die mit dieser Methode annähernd repräsentativ zu erfassenden taxonomischen Gruppen der epigäischen Fauna wurden zusätzlich quantitativ erfasst. Die Fallen wurden im Zeitraum vom 08.06.2011 bis zum 20.07.2011 in Reuth und Röckingen und vom 09.06.2011 bis zum 21.07.2011 in Aholting und Straubing gestellt und etwa alle zwei

Wochen geleert. Pro Parzelle wurde jeweils eine Bodenfalle in den Varianten 1, 3, 4, 5 und 6 in der Mitte eingegraben.

Die statistische Auswertung zu den Bodentieren erfolgte mittels einer zweifaktoriellen Varianzanalyse für die einzelnen Standorte (Varianten, Wiederholungen) und die Mittelwerte des Gesamtversuchs (Varianten, Standorte). Gruppenunterschiede wurden mit Tukey's HSD-Test ermittelt ($\alpha=0,05$).

3.2 Erste Ergebnisse zu Regenwürmern

Die mineralische Düngevariante V1 zeigte auf drei von vier Untersuchungsstandorten jeweils eine deutlich geringere Individuendichte und Biomasse der Regenwürmer als auf den organisch gedüngten Varianten V3 bis V6 (Tab. 3). Über alle Standorte lag das Mittel der Regenwurmabundanz in der mineralischen Düngevariante V1 bei 74 Individuen/m² und war signifikant geringer als in der maximalen Gärrestvariante (V5) und in der Rindergülle gedüngten Variante (V6) mit jeweils ca. 120 Individuen/m². Mit ca. 16 g/m² wies die mineralische BtL-Variante V1 im Mittel über alle Standorte eine deutlich geringere Biomasse der Regenwürmer auf als die organisch gedüngten Varianten mit durchschnittlich 24 bis 30 g/m² (Tab. 3). Signifikant waren die Unterschiede von V1 zu V4, V5 und V6.

Tab. 3: Regenwurmabundanz und -biomasse je Düngevariante und Standort (Mittelwerte von jeweils 4 Wiederholungen pro Standort mit Standardabweichung, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten, Tukey-Test)

	Variante V1 mineralisch -Stroh	Variante V3 Gärrest -Stroh	Variante V4 Gärrest +Stroh	Variante V5 max. Gärrest -Stroh	Variante V6 Rindergülle +Stroh	ANOVA P-Value
Abundanz (Individuen/m²)						
Aholting	61,3 ± 25,7	101,3 ± 59,2	106,3 ± 6,02	98,0 ± 42,6	109,8 ± 39,6	n.s.
Straubing	66,8 ± 44,0	92,0 ± 47,8	98,8 ± 44,3	112,5 ± 68,4	106,0 ± 36,9	n.s.
Reuth	98,0 ± 16,9	146,0 ± 34,2	147,0 ± 46,1	158,5 ± 30,5	193,0 ± 117,4	n.s.
Röckingen	70,3 ± 32,1	59,5 ± 23,9	62,0 ± 38,7	105,0 ± 35,7	83,3 ± 42,2	n.s.
Mittelwert	74,1 a	99,69 ab	103,5 ab	118,5 b	123,0 b	p<0,01
Biomasse (g/m²)						
Aholting	12,4 ± 3,4	28,1 ± 16,2	26,0 ± 11,2	27,6 ± 13,1	27,5 ± 15,1	n.s.
Straubing	10,8 ± 8,4	22,3 ± 11,8	20,9 ± 9,1	24,9 ± 12,7	20,3 ± 7,9	n.s.
Reuth	31,5 ± 10,4	36,9 ± 16,9	41,5 ± 17,5	39,5 ± 11,0	52,0 ± 37,2	n.s.
Röckingen	9,3 ± 2,2	8,2 ± 4,7	16,5 ± 8,6	18,1 ± 7,2	20,8 ± 8,6	p<0,1
Mittelwert	16,0 a	23,9 ab	26,2 b	27,5 b	30,1 b	p<0,01

Zwischen den drei Gärrest- und der Rindergülle-Variante waren keine signifikanten Unterschiede in der Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer nachweisbar. Dennoch deuten sich möglicherweise erste Entwicklungstrends an. Beispielsweise zeigte die Biogas-Marktfruchtfolgevariante V4, in der eine geringere Menge organische Substanz als in der Rindergülle-Variante V6 ausgebracht wurde, mit 104 Individuen/m² auch eine im Mittel über die vier Standorte um ca. 16 % geringere Individuendichte und mit 26 g/m² eine um ca. 14 % geringere Biomasse der Regenwürmer als die Marktfruchtfolgevariante V6 mit Rindergülle (123 Individuen/m² und 30 g Biomasse/m²). Dagegen war in der Biogas-Gärrestüberhang-Fruchtfolge V5 und in der Rindergülle-Variante V6 in der jeweils eine ähnlich hohe Menge organische Substanz appliziert wurde auch eine im Mittel über alle

Standorte ähnlich hohe Regenwurmabundanz von ca. 120 Individuen/m² nachweisbar. Für die knapp 9 % niedrigere Regenwurmbiomasse in der maximalen Gärrestvariante V5 als in der Rindergülle-Variante (V6) ist im Wesentlichen ein Standort (Reuth) verantwortlich (Tab. 3).

Erstaunlicherweise zeigten sich in den untersuchten Varianten nahezu keine Unterschiede in der Individuendichte der Regenwürmer ob Stroh abgefahren (V3) wurde oder auf der Fläche (V4) verblieb, bei sonst gleicher Düngung. In der Regenwurmbiomasse weist das standörtliche Mittel nur einen geringfügig niedrigeren Wert bei Abfuhr von Stroh im Vergleich zum Strohverbleib auf der Fläche auf (V3 und V4). Allerdings lassen sich hier etwas gegenläufige Entwicklungen zwischen den beiden niederbayerischen (Aholting und Straubing) und mittelfränkischen (Reuth und Röckingen) Standorten erkennen.

In allen Varianten dominierten die endogäischen juvenilen Regenwürmer (Abb. 4). Epigäische, in der Streuauflage lebende Regenwurmartarten waren nur auf dem Standort Reuth und hier nur in der mit Rindergülle gedüngten Variante V6 in sehr geringer Individuendichte nachweisbar.

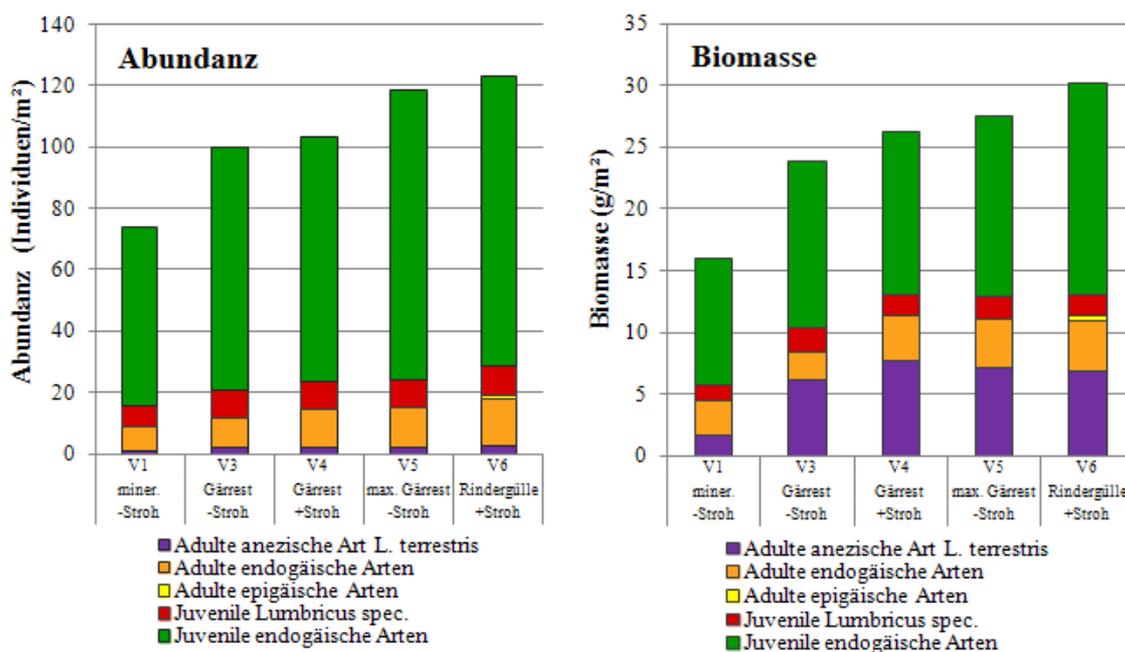


Abb. 4: Abundanz und Biomasse der ökologischen Gruppen der Regenwürmer je Düngevariante im Jahr 2012 (Mittelwerte über alle vier Standorte)

Die höhere Regenwurmabundanz durch organische Düngung im Vergleich zur Mineraldüngung ist vor allem auf eine höhere Anzahl der juvenilen endogäischen Tiere zurückzuführen (Abb. 4). Signifikante Unterschiede in der Individuendichte der juvenilen endogäischen Regenwürmer waren zwischen der BtL-Variante V1 und den organischen Düngungsvarianten V5 und V6 nachweisbar (Tukey-test, $\alpha=0,05$). Die hell pigmentierten endogäischen Regenwürmer leben im Innern des Mineralbodens mit horizontal-diagonal verlaufenden Röhren die sie z. T. mit ihrem Kot wieder verfüllen. Sie sind v. a. am Abbau von organischem Feinmaterial sowie beim Vermischen von organischer Substanz mit Mineralboden (Ton-Humus-Komplexe) beteiligt.

Die höhere Biomasse der Regenwürmer in den organisch gedüngten Parzellen im Vergleich zur mineralischen BtL-Variante ist v. a. eine Folge höherer Biomasse der tiefgra-

benden anezischen Art *Lumbricus terrestris* (Abb. 4). Besonders ausgeprägt war dies am Standort Aholfung. Zudem führte die organische Düngung zu einer durchschnittlich etwas höheren Biomasse der juvenilen endogäischen Regenwürmer mit dem höchsten Wert in der Rindergülle-Variante (V6). Die höhere Individuendichte und Biomasse der Regenwürmer in der Rindergülle Marktfruchtfolge-Variante V6 im Vergleich zur Biogas-Marktfruchtfolge-Variante V4 ist vor allem auf die juvenilen endogäischen Regenwurmar-ten zurückzuführen.

3.3 Ergebnisse zu Laufkäfern und weiteren epigäischen Arthropodengruppen

Die Summe gefangener Individuen der Laufkäfer und weiterer epigäischer Arthropodengruppen im Jahr 2011 sind in Tab. 4 dargestellt. Die Unterschiede zwischen den Versuchsstandorten sind deutlich höher als die der einzelnen Düngvarianten.

Tab. 4: Summe der in Bodenfallen erfassten Individuen verschiedener Arthropodengruppen im Jahr 2011

Tiergruppe	Ort	V1	V3	V4	V5	V6	Summe
Spinnen & Weberknechte	Aholfung	255	310	300	380	267	1512
	Straubing	482	411	385	521	574	2373
	Reuth	194	156	227	316	200	1093
	Röckingen	186	208	275	229	186	1084
	Gesamt	1117	1085	1187	1446	1227	6062
Laufkäfer	Aholfung	697	519	484	505	598	2803
	Straubing	312	434	495	427	491	2159
	Reuth	93	111	131	240	152	727
	Röckingen	307	330	296	359	363	1655
	Gesamt	1409	1394	1406	1531	1604	7344
Sonstige Käfer	Aholfung	930	838	707	736	877	4088
	Straubing	529	670	768	660	719	3346
	Reuth	173	179	239	338	252	1181
	Röckingen	384	420	407	452	459	2122
	Gesamt	2016	2107	2121	2186	2307	10737
Asseln & Tausendfüßler	Aholfung	92	97	110	133	120	552
	Straubing	46	45	42	56	49	238
	Reuth	57	33	59	33	37	219
	Röckingen	53	41	52	80	32	258
	Gesamt	248	216	263	302	238	1267

Spinnen und Weberknechte scheinen jedoch zumindest im standörtlichen Mittel häufiger in den stärker mit organischem Material versorgten Parzellen (V5 und V6) vorzukommen. Laufkäfer und weitere Käfer traten in Aholfung hingegen eher häufiger in der nur mineralisch gedüngten Variante auf (V1). Statistisch signifikante Unterschiede konnten dafür jedoch keine gefunden werden.

Im Mittel der Standorte liegen die Aktivitätsdichten der erfassten Tiergruppen in den stärker mit organischem Material versorgten Varianten mit Gärrestüberschussdüngung bzw. Rindergülldüngung am höchsten, am einzelnen Standort können aber auch weniger Lauf-

käfer oder Spinnen aktiv sein. Dies könnte auf ein verbessertes Beuteangebot in den organischen Düngevarianten zurückzuführen sein, von dem epigäische Raubarthropoden (Spinnen und Laufkäfer) profitiert haben. Gliederfüßler die am Zersetzungsprozess beteiligt sind (z. B. Tausendfüßler, saprophage Käfer), werden hingegen direkt vom organischen Material gefördert.

Die Untersuchung der Laufkäfer erbrachte nur am Standort Reuth eindeutige Unterschiede zwischen den Varianten, hier war die Aktivitätsdichte der in bayerischen Maisäckern dominierenden Art *Pterostichus melanarius* in der stark mit Gärrest gedüngten V5 signifikant höher als in der rein mineralisch gedüngten V1. Das gleiche galt für *Synuchus vivalis*.

Bei der Interpretation der Ergebnisse zu Untersuchungen mit Bodenfallen gilt es zu berücksichtigen, dass immer nur Aktivitätsdichten und keine Siedlungsdichten erfasst werden. Zwar zeigen einzelne Vertreter der epigäischen Fauna an einzelnen Standorten eine erhöhte Aktivität auf stärker mit organischem Material versorgtem Boden (z. B. Spinnen, *Pterostichus melanarius*), bedeutender sind allerdings die Unterschiede zwischen den Standorten. Dies wird besonders bei der Betrachtung der Laufkäfer auf Artniveau deutlich.

4 Regenwurmbestand von Gärrest gedüngten Äckern im Vergleich zum landesweiten Durchschnitt

Abschließend erfolgt eine Validierung des Regenwurmbestandes von Gärrest gedüngten Äckern. Dabei wird die Regenwurmsiedlungsdichte und –biomasse der vier Versuchstandorte des Gärrestversuches Bayern sowie von acht mit Gärrest gedüngten Äckern aus Praxisbetrieben mit dem durchschnittlichen von 2010 bis 2012 auf 54 bayerischen Äckern ermittelten Regenwurmbestand (Referenzwert) verglichen. Zur Ermittlung der Referenzwerte dienten überwiegend Boden-Dauerbeobachtungsflächen, Sandäcker blieben dabei unberücksichtigt. Die Erfassung der Regenwürmer erfolgte stets mit der Methodenkombination aus Formalinaustreibung und Handauslese.

Die 12 seit 2 bis 15 Jahren mit Gärrest gedüngten Äcker (Gärrestversuch Bayern und Praxis schläge) zeigten mit 146 Individuen/m² (Mittelwert) eine etwas höhere Regenwurmabundanz auf als der landesweite Durchschnitt (Referenzwert) mit 116 Individuen/m². Für die durchschnittlich geringere Siedlungsdichte der Regenwürmer auf den Referenzstandorten, die v. a. auf eine geringere Anzahl juveniler Tiere zurückzuführen ist (Abb. 5), sind wahrscheinlich die zahlreichen nur mineralisch gedüngten Flächen verantwortlich, die in die Bewertung mit einfließen. Rein mineralisch gedüngte Flächen weisen im Vergleich zu organisch gedüngten Äckern eine geringere Regenwurmsiedlungsdichte auf, wie die Ergebnisse des Gärrestversuches Bayerns sowie zahlreiche weitere Studien belegen [7] [1] [12] [30] [20].

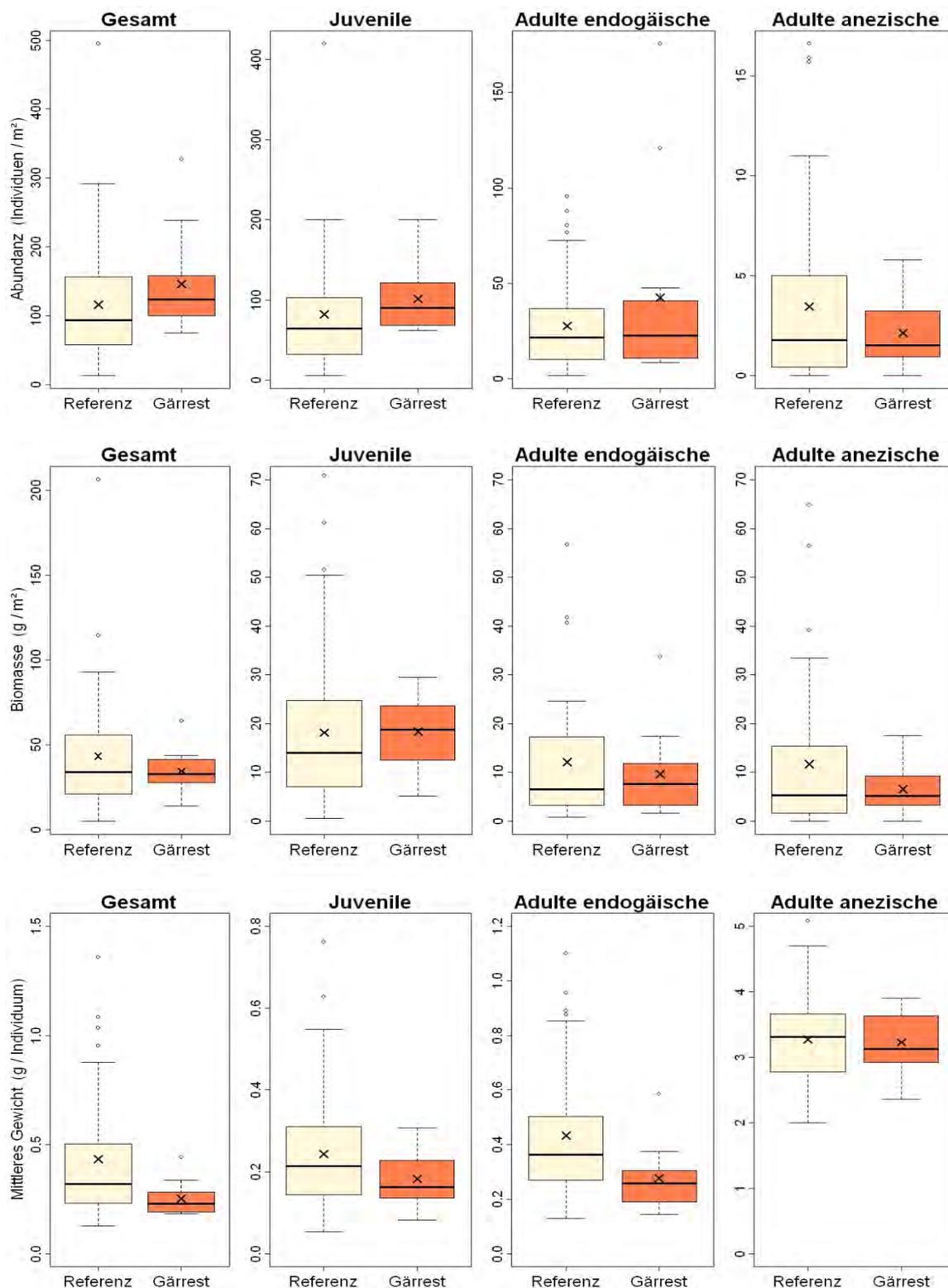


Abb. 5: Vergleich der Regenwurmabundanz (obere Grafikreihe) und -biomasse (mittlere Grafikreihe) von Gärrest gedüngten Äcker (n=12; „Gärrest“) mit dem landesweiten Durchschnitt in Bayern (n=54; „Referenz“). Das Biomasse/Abundanz Verhältnis ist in der unteren Grafikreihe dargestellt. (Box:25-75 %; Whisker: 5-95 %; Strich: Median; Kreuz: Mittelwert)

Darüber hinaus gilt es zu berücksichtigen, dass neben der Düngung noch zahlreiche weitere Einflussfaktoren wie Standortfaktoren, Fruchtfolge, Bodenbearbeitung auf den Regenwurmbestand von Äckern wirken. Für den Vergleich der Regenwurmbesiedlung von Gärrest gedüngten Äckern mit landesweiten Durchschnittswerten (Referenz) gilt es deshalb unbedingt zu berücksichtigen, dass hierfür keine exakten Versuchsbedingungen zugrunde liegen. Dennoch können möglicherweise erste Tendenzen abgelesen werden. Beispielsweise ist es erstaunlich, dass trotz einer durchschnittlich höheren Regenwurmbiomassee in den Gärrest gedüngten Äckern, die Regenwurmbiomasse eher im mittleren bis unteren Bereich der landesweiten Referenz liegt (Abb. 5). Insbesondere die adulten endogäischen Arten, aber auch die juvenilen Regenwürmer wiesen in den Gärrest gedüngten Äckern kleinere und leichtere Individuen auf, welches sich am Verhältnis Biomasse zur Abundanz widerspiegelt.

Dagegen war für die adulten anezischen Arten ein ähnliches Individualgewicht zwischen den Gärrest gedüngten Äckern und den Referenzäckern feststellbar (siehe Verhältnis Biomasse zur Abundanz in Abb. 5). Dies entspricht den Beobachtungen von [11], die in ihrem Mikrokosmenversuch durch Gärrest-Düngung keinen Effekt auf das Individualgewicht von *L. terrestris* im Vergleich zur Rindergülldüngung feststellen konnten. Allerdings lag sowohl die Besiedlungsdichte (Individuen/m²) als auch die Biomasse (g/m²) der tiefgrabenden anezischen Arten (v. a. *Lumbricus terrestris*) in den Gärrest gedüngten Äckern im mittleren bis unterdurchschnittlichen Bereich der Referenz (Abb. 5). Für diesen Effekt könnten andere Bewirtschaftungsfaktoren verantwortlich sein. Beispielsweise reagiert die tiefgrabende Art *L. terrestris* empfindlich auf eine voll wendende Bodenbearbeitung [18] [23] [29], so dass möglicherweise auf den mit Gärrest gedüngten Äckern ein durchschnittlich höherer Pflugeinsatz erfolgt. Dies zeigt, dass im Rahmen des Energiepflanzenbaus auch die Betrachtung des Bewirtschaftungssystems als Ganzes wichtig ist.

5 Zusammenfassende Diskussion

5.1 Regenwürmer

Die Ergebnisse zeigen insgesamt positive Effekte der organischen Düngung auf die Regenwurmbesiedlung. Zur rein mineralischen Düngung (BtL) konnte eine signifikant höhere Individuendichte und Biomasse der Regenwürmer im Gärrestversuch festgestellt werden. Zahlreiche Studien belegen den positiven Einfluss von organischer Düngung auf Regenwürmer [7] [1] [12] [30] [20].

Zwischen der Applikation von Gärrest und Rindergülle wurden weder im Microplotversuch noch im Gärrestversuch signifikante Unterschiede in der Regenwurmbiomassee und -biomasse festgestellt. Ähnliche Beobachtungen machten [10] in zwei Feldversuchen in Sachsen und in Baden-Württemberg und [3] auf einem Sandstandort in Berlin-Dahlem. Dennoch zeigte die Biogas-Marktfruchtfolgevariante V4 des Gärrestversuches Bayern im standörtlichen Mittel eine um ca. 15 % geringere Individuendichte und Biomasse der Regenwürmer als die Marktfruchtfolgevariante V6 mit Rindergülle. Auch [3] stellten in zwei Gärrestvarianten (flüssig und fest) etwas geringere Siedlungsdichten der Regenwürmer im Vergleich zur Gülle-Variante fest, ohne dass signifikante Unterschiede nachweisbar waren.

Die Düngung mit Gärrest wies im Vergleich zur Rindergülle v. a. einen tendenziellen (nicht signifikanten) Effekt auf endogäische Arten auf. Im Microplotversuch war bei Dün-

gung mit Gärrest die Individuendichte und Biomasse der adulten endogäischen Regenwürmer um 30 % geringer als bei Rindergülldüngung. Auf die juvenilen endogäischen Regenwürmer ist v. a. die 15 % niedrigere Individuendichte und Biomasse der Regenwürmer in der Biogas-Marktfruchtfolge des Gärrestversuches Bayern (im Mittel über vier Standorte, erste Ergebnisse) im Vergleich zur Rindergülle Marktfruchtfolge zurückzuführen. Diese Effekte auf die endogäischen Regenwürmer könnten eine Folge der geringeren Menge rückgeführter organischer Substanz durch die Gärrestdüngung im Vergleich zur Rindergülldüngung sein und auf den Beginn einer Änderung in der Zusammensetzung der Regenwurmzönose durch Gärrestdüngung hindeuten. Eine Beeinflussung der Artenzusammensetzung durch Gärrestdüngung beobachtete [10], wobei die endogäische Art *A. rosea* zurückging. Auch die im Mittel kleineren adulten endogäischen Individuen in den Gärrest gedüngten Äckern im Vergleich zum landesweiten Durchschnitt deuten auf eine Änderung in der Zusammensetzung der Regenwurmlebensgemeinschaft hin. Dabei könnte sich die Artenzusammensetzung verschieben, hin zu kleineren Arten oder aber die Individuen von endogäischen Arten kleiner und leichter werden. Eine signifikant geringere Biomasse der endogäischen Art *A. caliginosa* wiesen [11] in ihrem Mikrokosmenversuch nach einer Gärrestapplikation nach. Für das Wachstum der endogäischen Arten, die sich verstärkt vom organischen Feinmaterial ernähren, könnte sich ein geringerer Gehalt leicht verfügbarer organischer Kohlenstoffverbindungen im Gärrest im Vergleich zur Rindergülle ungünstig auswirken [22] [20] führen in ihrem Freilandversuch die geringere Besiedlung der Regenwürmer in Kompostvarianten im Vergleich zu Rindergülle auf den geringeren Anteil leicht abbaubarer Kohlenstoffverbindungen im reifen Kompost zurück und weniger auf den Gesamt-Kohlenstoffgehalt.

Um allerdings insgesamt gesicherte Aussagen zum Einfluss der Gärrestdüngung auf Regenwürmer treffen zu können bedarf es weiterer längerfristiger Beobachtungen.

5.2 Springschwänze und Milben

Ein positiver Einfluss von organischer Düngung auf Springschwänze und Milben wurde bereits in mehreren Studien belegt [17] [5] [4] [9]. Eine Förderung durch die Düngung wird zum Teil auch auf die Verbesserung des Nahrungsangebots durch erhöhtes Pflanzenwachstum zurückgeführt [9] [19]. Die Untersuchungen in Scheyern konnten diese Ergebnisse zum Teil bestätigen. Obwohl hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den Rindergülle und Gärrest gedüngten Varianten nachgewiesen werden konnten, lässt sich daraus nicht ableiten, dass diese Düngemittel in ihrer Wertigkeit für die Bodenmesofauna identisch sind. Die Beschreibung des Zustandes der Bodenmesofauna wird durch eine hohe anuelle und standörtliche Variabilität, die sich über ein großes Spektrum an Arten erstreckt, über deren konkrete Anpassungen noch wenig bekannt ist, erschwert. Für die Zersetzung von organischen Düngern ist eine regelrechte Sukzession von spezifischen Lebensgemeinschaften bekannt [28]. Über die Eignung der wohl gegenüber mikrobieller Zersetzung etwas stabileren Rückstände aus der Biogasproduktion als Nahrung für Springschwänze und Milben kann derzeit nur spekuliert werden. Auch zur Toxizität des bei Gärrestdüngung zum Teil in höheren Konzentrationen als bei herkömmlicher Rindergülldüngung auftretenden Ammoniaks lassen sich noch keine gesicherten Aussagen treffen. Weitere langfristige Untersuchungen, wie sie im Gärrestversuch Bayern in den nächsten Jahren erfolgen, sind erforderlich. Vergleicht man die Düngung mit Gärresten mit einer rein mineralischen Düngung, so lassen sich sicher positive Effekte des organischen Materials auf Springschwänze und Milben nachweisen. Tatsache ist allerdings, dass ein Ersatz von Rindergülle durch Gärreste mit insgesamt geringeren Trockenmasse-

gehalten, auf Grund limitierter N- und P-Frachten, eine reduzierte Rückführung an organischem Material und insbesondere an leicht verfügbarem organischem Kohlenstoff mit sich bringt. Veränderte Bewirtschaftungsweisen im Zusammenhang mit der Biogasproduktion insbesondere eine zunehmende Nutzungsintensivierung wirken sich möglicherweise auf die Bodenmesofauna aus und müssen weiter beobachtet werden.

5.3 Laufkäfer, epigäische Bodenfauna

Für die meisten Gruppen der epigäischen Bodenfauna ist über die Wirkung organischer Düngung noch wenig bekannt. Eine Förderung der Dichte ist allerdings für einige Laufkäfer und Diplopoden belegt [26] [16] [28]. Für die Diversität gilt dies vermutlich nur für einige spezialisierte Artengruppen. Andere werden eventuell durch die Verschärfung der Konkurrenzverhältnisse bei Förderung einzelner angepasster Arten zurück gedrängt. Verschiedene Arten und Teile derer Lebenszyklen können außerdem durch die Ausbringung der Düngemittel und damit erreichter kritischer Grenzwerte (z. B. Ammoniaktoxizität, pH-Werte, Wechselwirkungen mit Mikroorganismen u. v. m.) beeinflusst und die Fitness der Population geschwächt werden. Die Erhöhung des Durchsatzes entlang der Nahrungsketten durch die Düngung ist ein wichtiger, entgegen gerichteter Faktor. Einige Hinweise auf eine Erhöhung der Aktivität bei organischer Düngung konnten auch in der hier vorgestellten Untersuchung gefunden werden. Ursachen hierfür sind zum einen in einem verbesserten Nahrungsangebot, aber auch in veränderten abiotischen Faktoren zu suchen. Da das Gesamtsystem in seiner Beschaffenheit allerdings sehr komplex ist und zahlreiche Wechselwirkungen berücksichtigt werden müssen (z. B. Mikroklima durch besseres Pflanzenwachstum), sind verallgemeinernde Aussagen selbst auf Artniveau nur schwer möglich. Die an den vier Standorten des Gärrestversuchs Bayern gefundenen Ergebnisse verweisen eher auf die große standörtliche Vielfalt und die trotz monotoner Bewirtschaftung einzigartige Lebensgemeinschaft der Agrarräume. Der positive Einfluss der umgebenen Landschaftsstruktur und der Vielfalt der Nutzungen auf die Vielfalt der Spinnen und Laufkäfer ist mehrfach belegt worden [21] [25]. Die Düngung ist nur ein kleiner Faktor der auf die epigäische Fauna wirkt. In der Praxis gilt es diesen Faktor innerhalb des gesetzlichen Reglements trotz einheitlicher ökonomischer Rahmenbedingungen vielfältig, landschaftsspezifisch und ökologisch zu beleben.

6 Schlussfolgerung und Empfehlungen

Zum Zeitpunkt dieser Veröffentlichung kann der Einfluss der Gärrestdüngung auf die Bodentiere im Vergleich zu rein mineralischer Düngung eher als positiv gewertet werden. Der Vergleich von Gärrestdüngung zur Düngung mit Rindergülle lässt bislang keine eindeutigen Unterschiede erkennen, es gibt allerdings Anlass in größeren zeitlichen und räumlichen Skalen bzw. in der Praxis solche zu erwarten. So besteht beispielsweise Besorgnis bezüglich der Qualität der organischen Kohlenstoffverbindungen in Gärresten und der Menge des rückgeführten organischen Materials. Die tendenziell geringere Siedlungsdichte und Biomasse der endogäischen Regenwürmer auf Gärrest gedüngten Äckern im Vergleich zur Rindergülledüngung könnte darauf zurückzuführen sein und auf den Beginn einer Änderungen in der Zusammensetzung der Regenwurmzönose hindeuten. Zudem gilt es die Wirkung von freiwerdendem Ammoniak auf die Bodentiere weiterhin zu beobachten.

Um die ökologische Nachhaltigkeit in Bezug auf die Bodentiere (im Wesentlichen der Erhalt der Vielfalt und Dichte der Tiere) zu gewährleisten, erfordert dies zum einen weitere Forschung auf diesem Gebiet (z. B. im Gärrestversuch Bayern bis 2019), zum anderen eine vorsorgliche Risikominimierung. Hierunter versteht sich zunächst eine strikte Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften (CC, Dünge- und Düngemittelverordnung) und Handlungsrahmen (gute fachliche Praxis), weiterhin aber auch eine um die ökologischen Zusammenhänge sorgetragende, verantwortungsbewusste Bewirtschaftung die für den Naturhaushalt nachweislich positive Verfahren integriert. Hierunter zeigen sich für die Bodentiere insbesondere eine reduzierte Bodenbearbeitung und der Anbau vielfältiger Fruchtfolgen mit Zwischenfrüchten für besonders hilfreich und empfehlenswert. Da die Bodenfauna unterschiedliche Ansprüche an ihren Lebensraum stellt, bedeutet Risikominimierung auch ein abwechslungsreiches Nutzungsmosaik und eine vielfältige, regional-spezifische Landschaftsstruktur. Agrarökologische Maßnahmen wie z. B. Blühflächen und Hecken aber auch innovative und ressourcensparende Bewirtschaftungskonzepte könnten die Vielfalt der Agrarlandschaft und der Bodenfauna fördern.

Dank

Die Autoren danken allen Projektbeteiligten, insbesondere dem Versuchsgut Scheyern, der Arbeitsgruppe Düngung der LfL, IAB 2a, dem AELF Ansbach und für die Projektkoordination des Gärrestversuches Bayern dem Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ Straubing). Zudem gilt besonderer Dank Frau Beate Formowitz für die Durchsicht des Manuskriptes.

Dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) danken wir für die Projektfinanzierung.

7 Literaturverzeichnis

- [1] BAUCHHENß, J. (1989): Düngung und Bodenleben. PdN-Ch 2/38: pp. 36-40.
- [2] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2012): Biogasgärreste. Lfl-Information. / www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_31972.pdf (Datum des Zugriffs: 04.10.2012)
- [3] BERMEJO, G., S. KRÜCK, F. ELLMER (2010): Einfluss von Gärprodukten aus der Biogaserzeugung auf die Regenwurmpopulation eines sandigen Standortes. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 22: pp. 211-212.
- [4] BUTZ-STRAZNY, F., R. EHRNSBERGER (1993): Auswirkungen von mineralischer und organischer Düngung auf Mesostigmata (Raubmilben) und Collembola (Springschwänze) im Ackerboden. In: R. EHRNSBERGER (Hrsg.): Bodenmesofauna und Naturschutz: pp. 220-249.
- [5] COLE, D., G. MCCracken, M. FOSTER, L. AITKEN (2001): Using Collembola to assess the risks of applying metal-rich sewage sludge to agricultural land in western Scotland. Agriculture, Ecosystems and Environment 83: pp. 177-189.
- [6] DUNGER, W. (2008): Tiere im Boden. Westarp Wissenschaften, Hohenwarsleben; 280 Seiten.

- [7] EDWARDS, C. & J. LOFTY (1982): Nitrogenous fertilizers and earthworm populations in agricultural soils. *Soil Biology & Biochemistry* 14: pp. 515-521.
- [8] EHRNSBERGER, R. (1993): Bodenzöologie und Agrarökosysteme. In: R. Ehrnsberger (Hrsg.): *Bodenmesofauna und Naturschutz*: pp. 11-42.
- [9] EHRMANN, O. (1996): Regenwürmer in einigen südwestdeutschen Agrarlandschaften: Vorkommen, Entwicklung bei Nutzungsänderungen und Auswirkungen auf das Bodengefüge. *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte* 35: pp. 135.
- [10] ELSTE, B., S. TISCHER, O. CHRISTEN (2010): Einfluss von Biogasgärrückständen auf Abundanz und Biomasse von Lumbriciden. 4 Seiten; *Berichte der DBG* (nicht begutachtete online Publikation), www.dbges.de/ (letzter Zugriff: 07.10.2012)
- [11] ERNST, G., A. MÜLLER, H. GÖHLER, C. EMMERLING (2008): C and N turnover of fermented residues from biogas plants in soil in the presence of three different earthworm species (*Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea longa*, *Aporrectodea caliginosa*). *Soil Biology & Biochemistry* 40; pp. 1413-1420.
- [12] ESTEVEZ, B., A. N'DAYEGAMIYE, D. CODERRE (1996): The effect on earthworm abundance and selected soil properties after 14 years of solid cattle manure and NPKMg fertilizer application. *Canadian Journal of Soil Science* 76 (3): pp. 351-355.
- [13] FORMOWITZ, B., R. BECK, R. BRANDHUBER, J. BURMEISTER, M. FRITZ, R. WALTER (2012): Effects of digestates and cattle slurry on biotic and abiotic soil parameters and plant growth. In Krautkremer, B., H. Ossenbrink, D. Baxter, J.F. Dallemand, A. Grassi (eds): *20th European Biomass Conference – Setting the course for a biobased economy. Proceedings of the 20th EU BC&E*: pp. 165-170. ISBN: 978-88-89407-54-7
- [14] GRAFF, O. (1983): *Unsere Regenwürmer*. Verlag M. & H. Schaper, Hannover. 112 Seiten.
- [15] HARRACH, T., J. HEYN, T. VOERDERBRÜGGE, M. SCHNEIDER (2011): angepasste Bodenbearbeitung, Förderung der Regenwurmaktivität und anzustrebendes Bodengefüge zum Schutz der Ackerböden vor Verdichtung und Erosion. Hrsg.: Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Fachinformation –Pflanzenproduktion – 05/12: 22 Seiten.
- [16] HUMPHREYS, J.C., D. J. MOWAT (1994): Effects of some organic treatments on predators (Coleoptera: Carabidae) of Cabbage Root Fly, *Delia radicum* (L.) (Diptera: Anthomyiidae) and on alternative prey species. *Pedobiologia* 38: pp. 513-518.
- [17] KANAL, A. (2004): Effects of fertilization and edaphic properties on soil associated Collembola in crop rotation. *Agronomy Research* 2 (2): pp. 153-168.
- [18] KRÜCK, S., NITZSCHE, O. SCHMIDT, W. (2001): Verbesserte Regenverdaulichkeit durch Regenwurmaktivität - Regenwürmer vermindern Errosionsgefahr. *Landwirtschaft ohne Pflug*: 1, 18-21.
- [19] LAGERLÖF, J., O. ANDRÉN (1991): Abundance and activity of Collembola, Protura and Diplura (Insecta, Apterygota) in four cropping systems. *Pedobiologia* 35 (6): pp. 337-350.

- [20] LEROY, B., O. SCHMIDT, A. VAN DEN BOSSCHE, D. REHEUL, M. MOENS (2008): Earthworm population dynamics as influenced by the quality of exogenous organic matter. *Pedobiologia* 52: pp.139-150.
- [21] MAISONHAUTE, P. PERES-NETO, É. LUCAS (2010): Influence of agronomic practices, local environment and landscape structure on predatory beetle assemblage. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139: pp. 500-507.
- [22] MARHAN, S. & S. SCHEU (2005): The influence of mineral and organic fertilisers on the growth of the endogeic earthworm *Octolasion tyrtaeum* (Savigny). *Pedobiologia* 49: pp. 239-249.
- [23] MAURER-TROXLER, C., A. CHERVET, L. RAMSEIER, W.G. STURNY (2006): Zur Bodenbiologie nach zehn Jahren Direktsaat und Pflug – Ähnlich wie auf Dauergrünland. *Landwirtschaft ohne Pflug* 6, 4-19.
- [24] PETZ, W. (2000): Auswirkungen von Biogasgülledüngung auf Bodenfauna und einige Bodeneigenschaften - Eine Freilandstudie an vier Standorten in Oberösterreich. 19 Seiten.
- [25] PURTAUF, T., I. ROSCHEWITZ, J. DAUBER, C. THIES, T. TSCHARNTKE, V. WOLTERS (2005): Landscape context of organic and conventional farms: Influences on carabid beetle diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 108: pp. 165-174.
- [26] AWORTH, D.A., M. C. ROBERTSON, S. BITTMAN (2004): Effects of dairy slurry application on carabid beetles in tall fescue British Columbia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: pp. 527-534.
- [27] REINHOLD, G., V. KÖNIG, L. HEROLD (2004): Auswirkungen der Biogaserzeugung auf die Eigenschaften der Gärsubstrate. Veröffentlichung im Rahmen des VDLUFA-Kongresses, 13.-17.September 2004, Rostock. .
URL: www.tll.de/ainfo/pdf/bio10904.pdf (letzter Zugriff: 08.10.2012)
- [28] TISCHLER, W. (1965): Agrarökologie. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 499 S.
- [29] WALTER, R. & J. BURMEISTER (2011): 25 Jahre Regenwurmerfassung auf landwirtschaftlich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern. In: Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): Den Boden fest im Blick - 25 Jahre Bodendauerbeobachtung in Bayern: pp. 10-22.
- [30] WHALEN, J.K., R. PARMELEE, C. EDWARDS (1998): Population dynamics of earthworm communities in corn agroecosystems receiving organic or inorganic fertilizer amendments. *Biology and Fertility of Soils* 27: pp. 400-407.

Effekte der Gärrestdüngung auf Humus und Bodenstruktur – Zwischenbilanz

Dr. Robert Beck und Robert Brandhuber

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

Zusammenfassung

Um mögliche langfristige Auswirkungen einer Biogasgärrestdüngung auf Humushaushalt und Bodenstruktur feststellen zu können, wurden in Bayern verschiedene Feldversuche angelegt und nach einer drei-bis vierjährigen Laufzeit beprobt und untersucht.

Aus den Untersuchungsergebnissen können erste, vorläufige Aussagen getroffen werden:

- Humusgehalt und Aggregatstabilität reagieren positiv auf die Zugabe von organischem Dünger.
- Die Festphase eines separierten Gärrestes übertrifft die Flüssigphase bezüglich der Humuswirkung und der Verbesserung der Aggregatstabilität deutlich.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Zeitspanne seit Beginn der Feldversuche mit Biogasgärrestdüngung noch zu kurz ist, um allgemeingültige Aussagen darüber treffen zu können, ob Gärrestdüngung ggf. andere Wirkungen auf den Humushaushalt und die Verschlammungsneigung von Böden hat als übliche Düngung mit tierischer Gülle.

1 Einleitung

Die Bedeutung des Humus liegt in der komplexen Beeinflussung nahezu aller Bodeneigenschaften und -funktionen. Der Humus stellt eine langsam fließende Nährstoffquelle für die Pflanzen dar. Durch mikrobiellen Abbau der Humusbestandteile werden organisch gebundene Elemente (Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel) in pflanzenaufnehmbare Verbindungen umgewandelt. Der Humus ist auch die Nahrungsquelle für Bodenmikroorganismen und Bodentiere. Zahlreiche experimentelle Ergebnisse belegen eine enge Beziehung zwischen Humusgehalt und der mikrobiellen Biomasse eines Bodens. Eine hohe mikrobielle Aktivität der Böden führt über Lebendverbauung wiederum zu einer Verbesserung der Aggregatstabilität und des Bodengefüges. Damit beeinflusst der Humus wesentlich den Luft- und Wasserhaushalt der Böden und dient als wichtiger Nährstoffspeicher für das Pflanzenwachstum.

Aufgrund dieser vielfältigen Wirkungen stellt eine standortangepasste, optimale Humusversorgung in landwirtschaftlichen Betrieben eine wesentliche Grundlage zur nachhaltigen Bodenfruchtbarkeit und Ertragssicherung dar. Der Landwirt kann die Humusversorgung seiner Äcker nur durch die Bodenbewirtschaftung (Fruchtfolge, Düngung, Bodenbearbeitung) beeinflussen.

Die starke Zunahme von Biogasanlagen führte in den letzten Jahren zu einem zunehmenden Anfall von Biogasgärresten. Aufgrund der hohen Nährstoffgehalte (Stickstoff, Phosphor, Kalium) sind diese Gärreste sehr gut als organischer Dünger geeignet. Die Frage, in wie weit die Energiearmut der Gärreste, bedingt durch die Kohlenstoffverluste in der Methanerzeugung, Auswirkungen auf den Humusgehalt und die Bodenstruktur hat, bleibt offen. Aus diesem Grund wurden in den letzten Jahren in Bayern auf verschiedenen Standorten Versuche angelegt, die mögliche, langfristige Auswirkungen einer Biogasgärrestdüngung auf unterschiedliche Parameter der Bodenfruchtbarkeit aufzeigen sollen.

2 Methoden

2.1 Untersuchungen zur Aggregatstabilität

In verschiedenen Feldversuchen werden an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft die Effekte von Gärrestdüngung auf die Verschlammungsneigung der oberen Krume untersucht. Messparameter ist die Aggregatstabilität, die in Prozent angegeben wird. Je höher der Prozentanteil, desto mehr Aggregate bleiben intakt, wenn die Aggregate in der Natur dem Aufprall von Regentropfen ausgesetzt sind. Im Labor wird dies durch Eintauchen und Hin- und Herbewegen im Wasserbad nachempfunden. Böden, die schnell verschlammten, verhindern das weitere Einsickern von Niederschlagswasser, sind deshalb erosionsanfällig und bilden nach dem Austrocknen Krusten, die den Luftaustausch und auch das Wachstum von Keimlingen behindern. Die Ausprägung der Aggregatstabilität steht in enger Verbindung mit der mikrobiellen Biomasse.

2.2 Humusuntersuchungen

Die Bodenprobenahme erfolgte jeweils im Frühjahr vor der Ausbringung des organischen Düngers. Von allen vier Wiederholungen wurden jeweils Mischproben aus mehreren Einzelproben gewonnen. Die Mischproben wurden luftgetrocknet, zerkleinert, auf 2 mm gesiebt, homogenisiert, in einer Kugelmühle fein gemahlen und auf 0,5 mm gesiebt. Die so aufbereiteten Proben werden in einem Probenlager für mögliche Nachuntersuchungen aufbewahrt.

Folgende Humus-Kennwerte wurden bestimmt: Organischer Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtstickstoff (N_{t}), $C_{\text{org}} / N_{\text{t}}$ – Verhältnis. C_{org} und N_{t} charakterisieren den Humusgehalt und $C_{\text{org}} / N_{\text{t}}$ die Humusqualität eines Bodens. Die Bestimmung von Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff erfolgte simultan und quantitativ mittels Elementaranalyse (Dumas Methode). Bei carbonathaltigen Böden wurde der Carbonat-Kohlenstoff (C_{Carbonat}) nach Scheibler bestimmt.

Der organische Kohlenstoff wurde nach der Gleichung $C_{\text{org}} = C_{\text{t}} - C_{\text{Carbonat}}$ berechnet.

3 Ergebnisse

3.1 Biogasdüngungsversuch in Puch und Landsberg

In einem Düngungsversuch mit der zweijährigen Fruchtfolge Silomais/Triticale-GPS und Weidelgras, der die Effekte von Rindergülle mit Biogasgülle (mit und ohne Separierung) vergleicht und darüber hinaus auch Stickstoffsteigerungsvarianten prüft, wurden im Frühjahr 2012 vor der Düngung Bodenproben in 0-10 cm Tiefe entnommen. Der Versuch lief im vierten Jahr, die Parzellen waren in den drei Jahren vor der Probennahme viermal

(Landsberg) bzw. fünfmal (Puch) organisch gedüngt worden. An beiden Standorten ist der Boden ein Lösslehm, also ein Substrat, das wegen des hohen Schluffanteils zur Verschlammung neigt.

In Puch und Landsberg wurde derselbe Biogas-Gärrest ausgebracht. Die Biogasgärreste stammen allesamt (unbehandelt, separiert flüssig und separiert fest) von einer Anlage. Als Eingangssubstrat werden ausschließlich nachwachsende Rohstoffe, ca. 47 % Maissilage und 53 % Klee gras, verwendet. Die Rindergülle stammte jeweils aus nahegelegenen Milchviehbetrieben.

Die Düngung der beprobten Varianten zeigt Tabelle 1.

Tab. 1: Düngungsvarianten im Gärrestversuch Puch

Nr.	Bezeichnung	Gärrest <% N-Bedarf>	N mineralisch* <kg N/ha>
1	Rindergülle	100	-
2	Gärrest separiert flüssig	100	-
3	Gärrest separiert fest	100	-
6	Gärrest ½ Menge	50	-
8	Gärrest unbehandelt	100	-
11	Gärrest + N- Mineraldünger	100	90
12	Gärrest + N-Mineraldünger	100	120
14	Gärrest 50 % über Bedarf	150	-
15	Nullparzelle ohne N-Düngung	-	-
19	nur N-Mineraldünger	-	150

*zu Silomais und Triticale

3.1.1 Aggregatstabilität

Die Untersuchungsergebnisse zur Aggregatstabilität zeigen die Abbildungen 1 und 2.

Die Ergebnisse zeigen für den Standort Puch Folgendes:

- Die Varianten Biogasgärrest unbehandelt (8) und Festphase-Gärrest nach Separierung (3) sind gleichwertig mit der Variante Rindergülle (1).
- Die Festphase der separierten Gülle bewirkt höhere AS-Werte als die Flüssigphase.
- Mineralisch mit N gedüngte Varianten (11, 12, 19) fallen gegenüber den ausschließlich organisch gedüngten ab, auch dann, wenn mineralisch und organisch (mit Gärrest) gedüngt wurde (11, 12).
- Die Null-Variante (15) ist gleichwertig mit den ausschließlich organisch gedüngten Varianten (mit Ausnahme von Gärrest über Bedarf, (14)) und setzt sich gegenüber den mineralisch gedüngten signifikant nach oben ab.

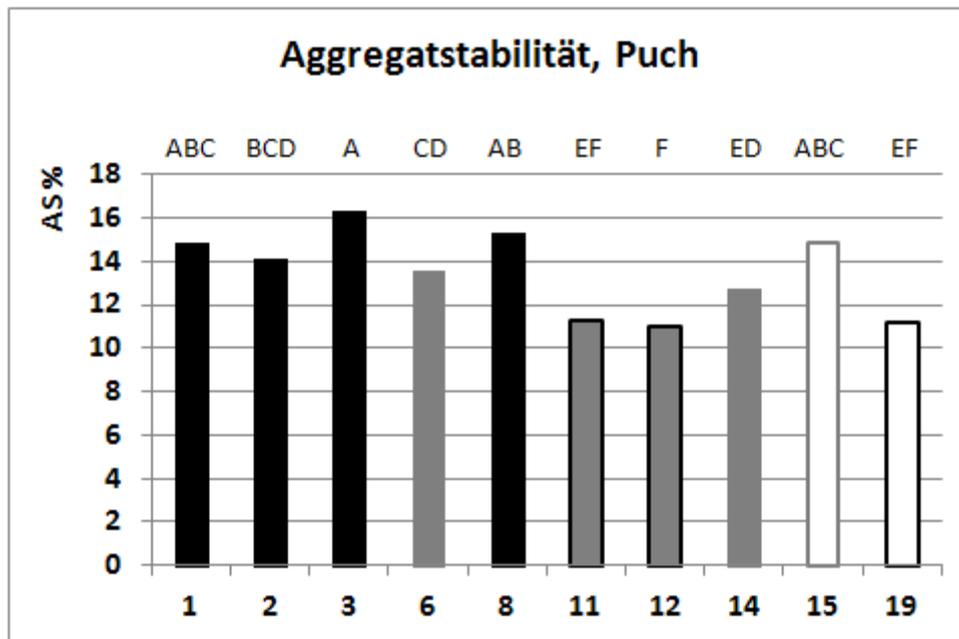


Abb. 1: Aggregatstabilität der oberen Krume im Feldversuch in Puch, Landkreis Fürstfeldbruck (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Signifikanz; t -Test $p \leq 0,05$)

Die Aggregatstabilität reagiert also positiv auf die Zufuhr organischer Substanz, was den Erwartungen entspricht und auch aus anderen Untersuchungen bekannt ist. Die höchste Menge an organischer Substanz wird im Pucher Versuch mit der Festphase des separierten Biogasgärrestes ausgebracht, dort ist der AS-Wert am höchsten. Die negative Reaktion auf Mineraldüngung (mit und ohne Gärrest) entspricht nicht den Erwartungen. Untersuchungen auf dem Internationalen Organischen Stickstoff-Dauerversuch (IOSDV) am selben Standort zeigten die bekannte positive Reaktion auf organische Düngung (Rindergülle, Zwischenfrüchte), jedoch Indifferenz gegenüber mineralischer N-Düngung. Demgegenüber stellte Mäder [3] im sog. DOK-Versuch höhere Werte der Aggregatstabilität fest, wenn auf mineralische Düngung verzichtet wurde.

Einschränkend ist zu vermerken, dass im Pucher Versuch die absoluten Unterschiede zwischen den Varianten gering sind. So belegen AS-Messungen in einem langjährigen Bodenbearbeitungsversuch in Puch eine Verdoppelung der Werte bei Direktsaat gegenüber Pflug.

In Landsberg am Lech wurde der identisch angelegte Gärrest-Feldversuch ebenfalls im Frühjahr 2012 beprobt und untersucht, die AS-Werte der nach Pflanzenbedarf ausschließlich organisch gedüngten Varianten sind tendenziell höher als die der (auch) mineralisch gedüngten, wegen der größeren Heterogenität der Versuchsfläche sind die Unterschiede aber statistisch nicht abzusichern (siehe Abb. 2).

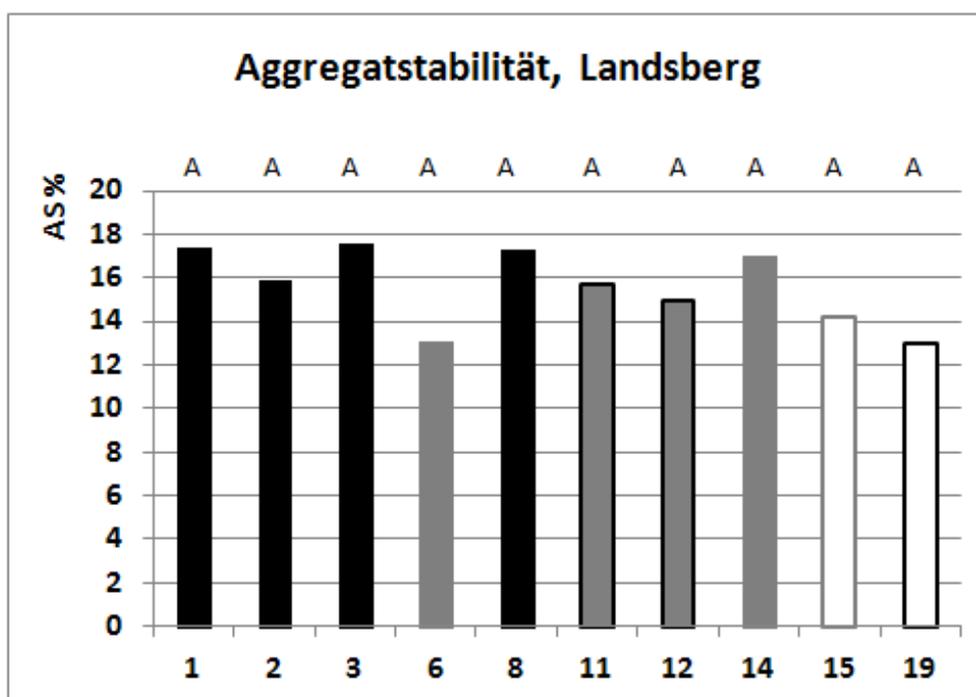


Abb. 2: Aggregatstabilität der oberen Krume im Feldversuch in Landsberg (keine Signifikanz; t -Test $p \leq 0,05$)

3.1.2 Humusgehalt

In Abb. 3 sind die Ergebnisse der Humusuntersuchungen als Mittelwert beider Standorte (Puch und Landsberg) dargestellt.

Tendenziell zeigt sich auf beiden Standorten eine ähnliche Reaktion. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Aggregatstabilität (Abb. 1 und 2) waren die Unterschiede in den gemessenen Humusgehalten bei den einzelnen Varianten aber deutlich geringer.

Anhand der Ergebnisse der Humusuntersuchung können folgende Aussagen getroffen werden:

- In der kurzen Versuchslaufzeit können signifikante Unterschiede im Humusgehalt nur zwischen den beiden Extremdüngungsvarianten, Festphase Gärrest nach Separierung (3) und der Nullkontrolle ohne Düngung (15) festgestellt werden.
- Die Festphase der separierten Gülle bewirkt höhere Humusgehalte als die Flüssigphase
- Mineralischer N-Dünger wirkt sich indifferent auf den Humusgehalt aus, eine negative Humuswirkung ist nicht festzustellen.

Auf landwirtschaftlichen Nutzflächen treten produktionsbedingte Veränderungen im Humusgehalt nur sehr langsam auf und müssen daher über einen relativ langen Zeitraum (5 bis 10 Jahre) beobachtet werden [1]. Nach einer dreijährigen Versuchslaufzeit sind daher noch keine eindeutigen Unterschiede im Humusgehalt der verschiedenen Varianten zu erwarten.

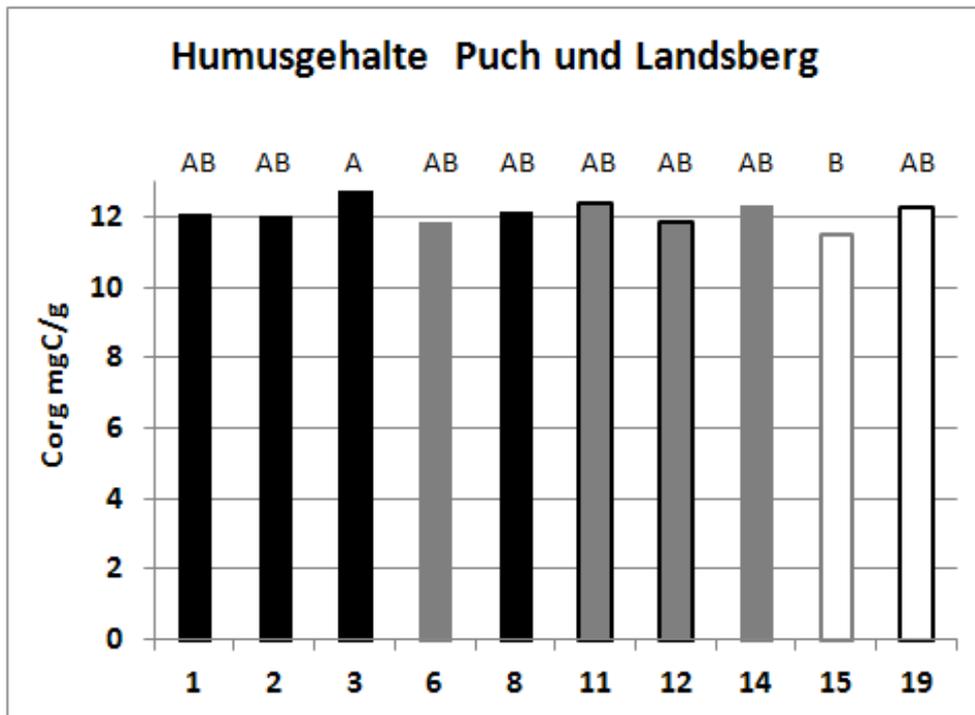


Abb. 3: Humusgehalte der Oberkrume, Mittelwerte der Feldversuche Puch und Landsberg (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Signifikanz; t -Test $p \leq 0,05$)

3.2 Gärrestversuch Bayern

Für weitere Feldversuche mit Biogasgärrestaubsbringung in Mittelfranken und Niederbayern (insg. vier Standorte, Projektkoordination beim Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für nachwachsende Rohstoffe, Details siehe [2]) liegen ebenfalls Untersuchungsergebnisse über Humusgehalte und Aggregatstabilität vor. Diese Versuche starteten im Jahr 2009, verglichen werden Mais-Weizen-Fruchtfolgen mit gestaffelter Zufuhr organischer Dünger, von der kompletten Abfuhr des Aufwuchses ohne organische Düngung (BtL-Simulation) bis zur Gärrestdüngung mit 20 % Überhang. In allen Varianten wird auf optimalen Ertrag gedüngt (s. Tab. 2).

Die eingesetzten Gärreste sind nicht separiert. Für die beiden niederbayerischen Standorte Straubing und Aholting stammen die Gärreste aus reinen NaWaRo-Anlagen (Mais-GPS und Grassilage nebst Zwischenfrüchten bzw. Gras- und Maissilage, Körnermais und Getreide). An den Standorten in Mittelfranken (Röckingen und Reuth) werden Gärreste aus Kofermentationsanlagen mit Einsatz von Substraten aus nachwachsenden Rohstoffen plus 30 % Rindergülle ausgebracht.

Aufgrund des Abbaus organischer C-Gerüste zu Methan im Fermentationsprozess der Biogasanlage erhielten die beiden Gärrestvarianten V3 und V4 eine geringere Menge organischer Substanz als die Rindergülle-Variante V6. Dagegen wurde in der Biogas-Gärrestüberhang-Variante V5 eine ähnlich hohe Menge an organischer Substanz wie in der Rindergülle-Variante V6 ausgebracht.

Tab. 2: Übersicht der Düngungsvarianten je Fruchtfolgeglied

Variante Nutzungspfad	Stroh- nutzung	Silomais	Winter- weizen	Bemerkung
V 1 BtL-Fruchtfolge	Abfuhr	ausschließlich mineralische Düngung	ausschließlich min. Düngung	BtL-Simulation, keinerlei Rückführung org. Biomasse
V 2 Silomais-Weizen-FF ohne Gärrestückführung	Verbleib	ausschließlich mineralische Düngung	ausschließlich min. Düngung	Keinerlei Rückführung org. Biomasse, Stroh verbleibt
V 3 Biogas-Marktfrucht-FF mit Strohabfuhr	Abfuhr	Gärrest proportional zur Silomais-abfuhr + N-Unterfußdüngung	Gärrest + min. Düngung	Simulation Strohverkauf
V 4 Biogas-Marktfrucht-FF	Verbleib	Gärrest proportional zu Silomais-abfuhr + N-Unterfußdüngung	Gärrest + min. Düngung	Simulation Stroh wird eingearbeitet
V 5 Biogas-Gärrestüberhang-FF	Abfuhr	Düngung über Gärrest + N-Unterfußdüngung	Gärrest + min. Düngung	Simulation 20 % Gärrestüberhang
V 6 Rindergülle-Marktfrucht-FF	Verbleib	Gülle proportional zu Silomaisabfuhr + N-Unterfußdüngung	Gülle + min. Düngung	Simulation Güllewirtschaft, ohne Strohnutzung

3.2.1 Aggregatstabilität

Die Untersuchungen der Aggregatstabilität in den Jahren 2011 und 2012 brachten keine Ergebnisse, die gerichtete Effekte einzelner Behandlungen belegen würden. Die Streuung innerhalb der Versuchsfläche ist teilweise hoch, wie Bestimmungen der Aggregatstabilität vor den ersten Applikationen ergeben haben. Ob Effekte aus dem bisher dominanten Rauschen sichtbar werden, wird sich noch zeigen, der Versuch läuft bis 2019.

3.2.2 Humusgehalte

In Abb. 4 sind die Veränderungen der Humusgehalte zwischen 2009 und 2012 für alle vier Standorte in Bayern dargestellt. Dabei wurden die gemessenen Humusgehalte vor Versuchsbeginn 2009 als 100% gesetzt. Der durchschnittliche Humusausgangsgehalt der einzelnen Standorte stieg in der Reihenfolge Aholting < Straubing < Reuth < Röcking an.

Über alle Standorte und Varianten betrachtet kann man einen allgemeinen Rückgang der Humusgehalte erkennen, der auf den Standorten Straubing und Reuth in allen Varianten feststellbar war. Eine Erklärung hierfür kann nicht gegeben werden, zumal am Standort Reuth die Rindergülle-Strohvariante entgegen aller Erkenntnisse den stärksten prozentualen Rückgang aufzeigt. Lediglich am Standort Röckingen entsprachen die Veränderungen im Humusgehalt den Erwartungen und zeigten eine klare Abhängigkeit zur Menge an ausgebrachten organischen Düngern.

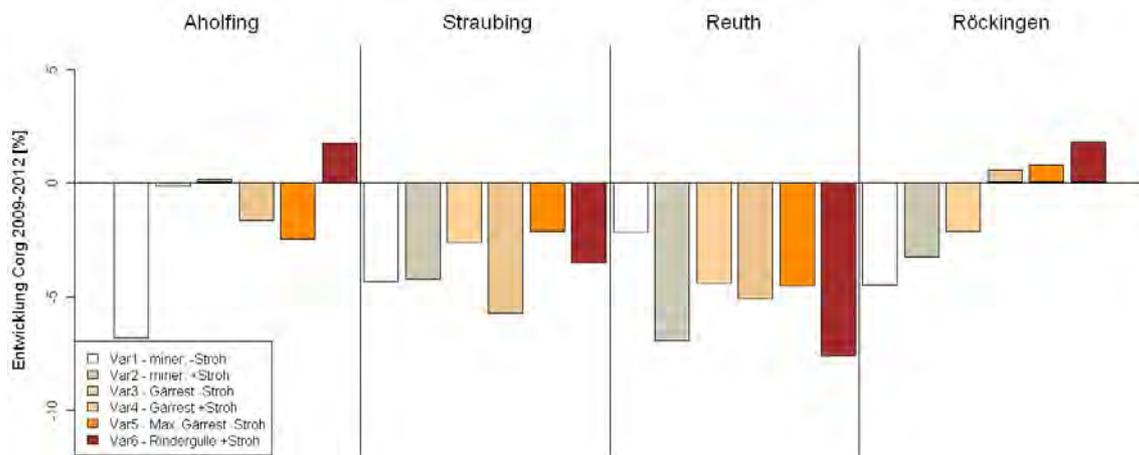


Abb. 4: Veränderung der Humusgehalte von 2009 bis 2012 auf vier Standorten in Bayern

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Zeitspanne seit Beginn der Feldversuche mit Biogasgärrestdüngung noch zu kurz ist, um allgemeingültige Aussagen darüber treffen zu können, ob Gärrestdüngung ggf. andere Wirkungen auf den Humushaushalt und die Verschlammungsneigung von Böden hat als übliche Düngung mit tierischer Gülle.

3.3 Risiken von Bodenverdichtung und Bodenerosion

In Feldversuchen zur Gärrestdüngung wird der spezifische Effekt von Gärrestsubstrat auf den Boden untersucht. Die Nutzung von Kulturpflanzen zur Erzeugung von Biogas kann jedoch weitere Wirkungen auf den Boden haben, wenn sich die Fruchtfolge (höherer Maisanteil) oder die Nutzung (Acker statt Grünland) ändert. Dies betrifft die mit der Silagebergung bzw. Gärrestausrückung verbundene mechanische Bodenbelastung und auch die Erosionsgefährdung.

Die herkömmliche Verfahrenskette bei der Silagebergung ist charakterisiert durch parallel fahrende Transportfahrzeuge, bestehend aus Traktor und Silowagen. Sie folgen in der Regel der zuvor angelegten Spur des Häckslers. Aufgrund der Überrollhäufigkeit und des auf Straßenfahrt abgestimmten Reifeninnendruckes (bis zu 3 bar) der Transportfahrzeuge ist die mechanische Belastung dieses Ernteverfahrens als hoch einzustufen. Bei Fahrten auf zu feuchten Böden kann es zu Bodenverdichtungen kommen. Dies gilt auch für die Ausbringung von Gärresten insbesondere im Frühjahr auf noch nassen Böden. Gleiches gilt für das Erosionsrisiko. Es ist bei Maisanbau in Hanglagen hoch, falls nicht effektive Maßnahmen zur ausreichenden Bodenbedeckung im Frühjahr und Frühsommer ergriffen werden. Die genannten Risiken bestehen selbstverständlich unabhängig von der Nutzung des Silomaises für Biogas oder Tierernährung.

Wenn auf Flächen von Betrieben, die Substrate für die Biogasverwertung erzeugen, Bodenstrukturen auf treten, liegt dies häufig an einer nicht ausreichend bodenschonenden Bewirtschaftung der Flächen.

Wird nach „guter fachlicher Praxis“ gehandelt (dazu gehören auch regelmäßige Bodenuntersuchungen und bedarfsgerechte Kalkdüngung), ist auch in Biogasbetrieben der Erhalt von Humus und einer guten Bodenstruktur möglich.

4 Literaturverzeichnis

- [1] Capriel, P. (2010): Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 05
- [2] Formowitz, B., R. Beck, R. Brandhuber, J. Burmeister, M. Fritz, R. Walter (2012): Effects of digestates and cattle slurry on biotic and abiotic soil parameters and plant growth. In Krautkremer, B., H. Ossenbrink, D. Baxter, J.F. Dallemand, A. Grassi (eds): 20th European Biomass Conference – Setting the course for a biobased economy. Proceedings of the 20th EU BC&E: pp.165-170. ISBN: 978-88-89407-54-7
- [3] Mäder, P., A. Fließbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried, U. Niggli (2002): Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. Science Vol. 296, 1694-1697

Hygienische Aspekte beim Einsatz von Gärresten

Michael Lebuhn und Bianca Fröschle

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen

Zusammenfassung

Die landwirtschaftliche Biogasproduktion erzeugt regenerative Energie und führt die Mineralien in den Nährstoffkreislauf zurück. Die Diskussion um eine Gesundheitsgefährdung bei der Anwendung der Gärreste und im Bereich der Biogasproduktion ist Anlass, im vorliegenden Artikel die wissenschaftlichen Ergebnisse und rechtlichen Gegebenheiten zu diesem Thema darzustellen und Empfehlungen für die Praxis abzugeben, wie und in welchen Bereichen der hygienische Status auf dem Betrieb, von den Substraten hin bis zum Gärrest, optimiert werden kann.

Bisher liegt kein Ergebnis vor, das eine Zunahme eines Krankheitserregers im Biogasprozess belegt, in allen Fällen wurden die Erreger mehr oder weniger deutlich abgetötet. Das Ausmaß der Abtötung wird von den Prozessbedingungen mit biologischen, chemischen und physikalischen Faktoren bestimmt. Besonders starken Einfluss haben die Höhe der Prozesstemperatur und die Länge der tatsächlichen Verweilzeit im Prozess.

Die Hygienisierung durch die landwirtschaftliche Biogasproduktion aus den „klassischen“ Substraten Gülle und nachwachsende Rohstoffe ist ein willkommener Nebeneffekt, sie ist aber von Rechts wegen nicht einforderbar. Dennoch gibt es einzelne Arbeitsschritte bzw. Aspekte in den Bereichen Anlagenplanung, Prozessführung, Ernte/Mahd, Silierung, Substratqualität, Prozesseffizienz und Umgang mit dem Gärrest, die hinsichtlich eines optimalen Hygienestatus im Bereich der Substratbereitstellung, der Biogasproduktion und der Gärrestdüngung beachtet werden sollten. Die Empfehlungen betreffen insbesondere die Bereiche Human-, Tier- und Phytohygiene, es werden aber auch Anmerkungen zu toxischen Substanzen wie manchen Spurenelementen im Bereich „Umwelthygiene“ gemacht.

1 Einleitung

Durch die anaerobe Vergärung wird in Biomasse gespeicherte, letztlich über die Photosynthese erzeugte Sonnenenergie in den Energieträger Methan im Biogas umgesetzt und nutzbar gemacht. Die landwirtschaftliche Biogasproduktion ist damit ein wichtiger Bestandteil bei der Erzeugung regenerativer grundlastfähiger Energie zur Umsetzung der Energiewende. Gleichzeitig werden die im Gärrest enthaltenen mineralischen Nährstoffe über die Düngung dem Boden und damit in den landwirtschaftlichen Produktionskreislauf zurückgeführt.

Aus der Öffentlichkeit und in den Medien wurden aber in letzter Zeit wiederholt Stimmen laut, dass die landwirtschaftliche Biogasproduktion Ursache hygienischer Probleme sei. Hier wurde vor allem behauptet, dass sich toxinbildende Clostridien (v. a. *Clostridium botulinum*, sporenbildendes Bakterium und Erreger des Botulismus) bei der Biogasproduktion vermehren würden, dass Biogasanlagen Keimschleudern u. a. von krankheitserre-

genden Salmonellen seien, und auch für die jüngste EHEC (bzw. EAEC, enterohämorrhagische bzw. enteroaggregative *Escherichia coli*) -Krise wurden Biogasanlagen verantwortlich gemacht. Dabei handelt es sich praktisch durchwegs um Vermutungen, die nicht oder auf zweifelhaften wissenschaftlichen Untersuchungen beruhen.

Dagegen ergab eine Vielzahl wissenschaftlicher Studien, dass sich die Konzentration aller bisher untersuchter Krankheitserreger in den Prozessschritten Silierung, Lagerung in der Güllegrube und vor allem im Biogasprozess selbst abhängig von der Widerstandsfähigkeit der Erreger und den Prozessbedingungen mehr oder weniger stark verringert. In keiner Untersuchung hatte die Konzentration der Pathogenen gegenüber der im Ausgangssubstrat zugenommen [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Dem Stand der Forschung nach zu urteilen ist der hygienische Status im Gärrest immer besser als in den Substraten. Dies gilt auch für die Güllevergärung. Im Prinzip ist der Einsatz der Biogastechnologie damit zur Verbesserung der hygienischen Situation der Umwelt und im Betrieb nur zu begrüßen.

Dennoch mag es besondere oder Ausnahmesituationen geben, in denen ein hygienisch einwandfreier Status des Gärrests nicht gewährleistet ist. In landwirtschaftlichen Biogasanlagen hängt der hygienische Status des Gärrests nicht unwesentlich von der Belastung der Substrate mit Krankheitserregern ab. Hier ist zu bedenken, dass die hygienisierende Wirkung zwar ein willkommener Nebeneffekt der anaeroben Vergärung ist, in der landwirtschaftlichen Biogasproduktion ist sie aber nicht der Hauptzweck und nicht einforderbar. Die Technik ist hierauf nicht ausgelegt.

Der vorliegende Artikel gibt Hinweise zu einer auch hinsichtlich Hygiene optimierten guten fachlichen Praxis in landwirtschaftlichen Biogasanlagen auf Basis des aktuellen Stands der wissenschaftlichen Kenntnis. Ihre Beachtung wird den Anlagenbetreibern nahegelegt. Der Schwerpunkt ist dabei auf den Bereich Human- und Tierhygiene gelegt, die Bereiche Phyto- und Umwelthygiene sind nur kurz angesprochen. Die Autoren gehen davon aus, dass die Ausbringung von Gärresten aus der landwirtschaftlichen Biogasproduktion nach den geltenden Regeln und Empfehlungen bei Beachtung der Ratschläge keine gesundheitlichen Gefahren für Mensch, Tier und Pflanze nach sich zieht, sondern dass sich im Gegenteil die hygienische Situation durch den Einsatz von Gärresten verbessert.

2 Hygienisierung durch den Biogasprozess

2.1 Rechtliche Grundlagen

Von den Produkten bzw. Gärresten aus Biogasanlagen darf kein Risiko der Verbreitung von Seuchen für Mensch, Tier oder Pflanze ausgehen. Mit solchen Erregern befallene Substrate dürfen nicht in Biogasanlagen eingebracht werden bzw. sind einer geeigneten Hygienebehandlung zu unterziehen. Abhängig vom hygienischen Risikopotenzial, das von den verarbeiteten Substraten ausgeht, unterscheidet der Gesetzgeber hinsichtlich tierischer Nebenprodukte drei Kategorien, die in der Verordnung (EG) 1069/2009 [7], der Verordnung (EU) Nr. 142/2011 [8] bzw. der "Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung" (TierNebV, 2012) [9] definiert sind. Sie stellen unterschiedliche Anforderungen an die Hygienisierung:

- Material der Kategorie 1 (K 1) darf nicht in Biogasanlagen eingesetzt werden,
- Material der Kategorie 2 (K 2, bei ausschließlicher Einsatz von Gülle, Magen- und Darminhalt und Kolostrum in der Regel keine Hygienisierung notwendig sofern die Substrate seuchenhygienisch unbedenklich sind) und

- Material der Kategorie 3 (K 3) einer Pasteurisierung bzw. einer äquivalenten Behandlung zu unterziehen.

Die hier betrachteten landwirtschaftlichen Biogasanlagen bedürfen der Zulassung nach Verordnung (EG) 1069/2009 [7] bzw. Verordnung (EU) Nr. 142/2011 [8], wenn sie Gülle, Magen- und Darminhalt, Milch oder Kolostrum einsetzen, da diese Einsatzstoffe in die Kategorie 2 eingruppierte tierische Nebenprodukte sind, deren Einsatz nach der BiomasseV (2012) [10] statthaft ist. Diese Zulassung ist auch erforderlich, wenn z. B. Gülle in Mischung mit nachwachsenden Rohstoffen vergoren wird. Die Einsatzstoffe dürfen auch nur aus Betrieben stammen, die keinen tiereseuchenrechtlichen Maßregeln unterliegen.

Beim Einsatz von Bioabfällen unterliegt der Gärrest den Anforderungen der Bioabfallverordnung (BioAbfV, 2012) [11]. Die Vergärung von Bioabfällen erfordert eine Hygienisierung, die über verschiedene Mechanismen erreicht werden kann. Als Einsatzstoffe für die Biogasanlage weisen Substrate wie Gülle zwar Abfalleigenschaft auf, die genannten K2-Materialien sind aber von den Auflagen der BioAbfV (2012) [11] ausgenommen, da sie durch den Prozess den Zweck der Entledigung verlieren. Als Gärrest unterliegen sie damit nicht mehr dem KrWG (2012) [12] und damit Auflagen der BioAbfV (2012) [11]. Mit der Aufhebung des Ausschließlichkeitsprinzips im neuen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG, 2012) [13] wird voraussichtlich die Verschneidung von nachwachsenden Rohstoffen mit nur grundvergüteten Einsatzstoffen (ggf. Abfällen) deutlich zunehmen. Wenn risikobehaftete Substrate (z. B. Geflügelkot) verstärkt eingesetzt werden, steigt allerdings auch das hygienische Risikopotenzial.

Der Gärrest von Biogasanlagen unterliegt in jedem Fall bei landwirtschaftlicher Verwertung der Düngemittelverordnung (DüMV, 2012) [14] und muss beim Inverkehrbringen u. a. mit Angaben zum Salmonellengehalt gekennzeichnet sein.

2.2 Wirkungsweise der Hygienisierung / Abtötungsmechanismen / Mechanismen der Überdauerung

Für die Hygienisierungseffizienz (Ausmaß der Keimabtötung) im Biogasprozess sind biologische, chemische und physikalische Faktoren bestimmend.

- Bei den **biologischen** Faktoren sind insbesondere der Konkurrenz- oder Fraßdruck der umgebenden Mikroflora zu nennen,
- bei den **chemischen** Faktoren eventuell hohe Konzentrationen von Zwischen- und Endprodukten des Stoffwechsels (z. B. Fettsäuren, Ammoniak, Alkohole, Lösungsmittel) sowie das sehr tiefe Redoxpotenzial und
- bei den **physikalischen** Faktoren die Prozesstemperatur und die Verweilzeit. Typischerweise nimmt die abtötende Wirkung auf Pathogene mit steigender Temperatur zu, weil diese an die meist niedrigere Temperatur des Wirts angepasst sind, und weil sich das Ammonium-Ammoniak-Gleichgewicht mit steigender Temperatur und steigendem pH-Wert stark in Richtung des toxischen Ammoniaks verschiebt.

Je länger die pathogenen Organismen den für sie widrigen Prozessbedingungen ausgesetzt sind, je länger also ihre Verweilzeit im Biogasprozess ist, desto intensiver ist die abtötende oder inaktivierende Wirkung. Bei der Verweilzeit ist zwischen der minimalen gesicherten (minimum guaranteed retention time, MGRT) und der hydraulischen Verweilzeit (hydraulic retention time, HRT) strikt zu unterscheiden. Die MGRT bezeichnet die Zeit, die ein betrachteter Partikel den Bedingungen im Fermenter ausgesetzt ist. In den in land-

wirtschaftlichen Biogasanlagen weit verbreiteten Rührkesselfermentern ist das wegen möglichen Kurzschlussströmen streng genommen nur die Zeit zwischen Befüllung und der folgenden Entnahme. Bei Biogasanlagen, die der BioAbfV (2012) [11] unterliegen, kann die Verweilzeit ggf. über Untersuchungen mit Tracermaterialien bestimmt werden. Die HRT bezeichnet dagegen das Verhältnis des Volumenstroms der in eine Anlage zugeführten Substratmenge zum Anlagenvolumen und ist nur ein statistisch-kalkulatorischer Wert.

Die Ergebnisse der in der Einleitung genannten Studien sind aber kein Anlass zu völliger Sorglosigkeit: Im mesophilen Bereich (etwa 35-42°C) der Prozesstemperatur, der in landwirtschaftlichen Biogasanlagen überwiegt, können manche Pathogene den Prozess besser (wenn auch dezimiert) als bei thermophilem Betrieb (etwa 45-60°C) überstehen. Allerdings ist hinsichtlich des Einsatzes einer thermophilen Prozessstufe zu bedenken, dass die Vergärung proteinreicherer Substrate (z. B. Grassilage) bei höherer Raumbelastung Schwierigkeiten bereiten kann [15]. Voraussetzung für eine effiziente Abtötung der Pathogenen ist eine möglichst lange Verweilzeit im anaeroben Abbau. Dies ist bei Vorliegen einer Kurzschlussströmung im Fermenter nicht der Fall, da die Verweilzeit dann u. U. deutlich verkürzt ist. Wenn Krankheitserreger im Substrat vorhanden sind, ist es hier nicht ausgeschlossen, dass einige davon den Prozess schnell wieder mehr oder weniger unbeschadet verlassen.

Gleiches gilt, wenn die Erreger in eine schützende Matrix eingebettet sind. Wenn sie sich tief innen in grobkörnigen Substraten befinden, die nicht oder kaum im Prozess abgebaut werden, können sie diesen auch weniger beschadet verlassen. Auch wenn Pathogene in abnormal hoher Konzentration im Ausgangsmaterial vorliegen, ist die Chance größer, dass eine Fraktion überlebt. Manche Krankheitserreger sind auch zur Bildung von Überdauerungsformen wie Sporen oder bei anderen Erregern zu Zysten fähig, um widrige Umweltbedingungen zu überstehen. *Clostridium botulinum*, *C. perfringens* sowie manche *Bacillus*-Arten gehören dazu. Damit bestehen zumindest theoretisch Möglichkeiten, dass manche (eher die resistenten) Krankheitserreger in besonders gelagerten Fällen den Prozess teilweise überstehen, und dass damit der Gärrest hygienisch nicht völlig unbedenklich ist.

Die Belastung mit Krankheitserregern kann über verschiedene Mechanismen vermindert werden. Bei Pathogenen, die strikt an die Gegenwart des Wirts gebunden sind und keine Überdauerungsformen bilden, reicht es häufig, die Infektionskette zu unterbrechen. Solche Fälle treten besonders im Bereich Phytohygiene auf. Weiterhin bzw. zusätzlich können Krankheitserreger über verfahrens- und prozesstechnische Maßnahmen inaktiviert werden. Dabei hängt das Ausmaß der Inaktivierung und damit des residualen Verbleibs der Pathogenen von verschiedenen Faktoren ab,

- den Prozessbedingungen (z. B. Temperatur, Ammoniak, Redoxpotenzial, Schwefelwasserstoff und andere chemische Komponenten, Verweilzeit u. a. m.) und der Ausprägung der einzelnen Faktoren,
- der Widerstandsfähigkeit der Krankheitserreger gegenüber den Stressfaktoren und ihrer Fähigkeit, Überdauerungsformen zu bilden,
- der Prozesseffizienz (eine schlechte Effizienz kann auf Kurzschlussströmungen beruhen) sowie der Gegenwart schützender Hüllen und damit der tatsächlichen Expositionsdauer im Prozess sowie
- den Anfangsgehalten der Pathogenen in der Substratmischung.

Bei der Evaluierung der Hygienisierungsleistung durch den betrachteten Prozess wird in der Praxis meist nach dem Indikatorprinzip vorgegangen. Dabei dient ein gut beherrschter Leitkeim (oder eine Mikroorganismengruppe) als Indikator, wenn gezeigt wurde, dass er/sie hinsichtlich des Stressors (bestimmte Prozessbedingungen) resistenter ist als die Mikroorganismen bzw. Krankheitserreger, auf die hin geprüft werden soll. Hygienisierung bezeichnet im wissenschaftlichen Sprachgebrauch eine Reduktion aktiver (bzw. koloniebildender) Individuen um mindestens 4, typischerweise 5¹⁰log-Stufen, also um 99,99 bzw. 99,999 %. Die Verordnung (EU) Nr. 142/2011 [8] schreibt bei alternativen thermischen und chemischen Umwandlungsverfahren in Biogasanlagen für eine ausreichende Reduzierung biologischer Risiken u.a. den Nachweis einer Verminderung von *Salmonella* Senftenberg (775W, H₂S-negativ) um 5 log-Stufen vor.

2.3 Beispiele aus der Human- und Tierhygiene

Es gibt eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Erreger von Krankheiten bei Mensch und Tier. Die meisten sind an die Körpertemperatur ihres Wirts angepasst und sterben bei erhöhter Temperatur relativ schnell ab, während sie tiefere Temperaturen meist länger überdauern können. Solche Erreger, beispielsweise die als Hygienisierungsindikator verwendeten Salmonellen, sterben schon bei relativ kurzer Verweilzeit im Biogasprozess und bei erhöhter Temperatur schnell ab ([16]; Abb. 1).

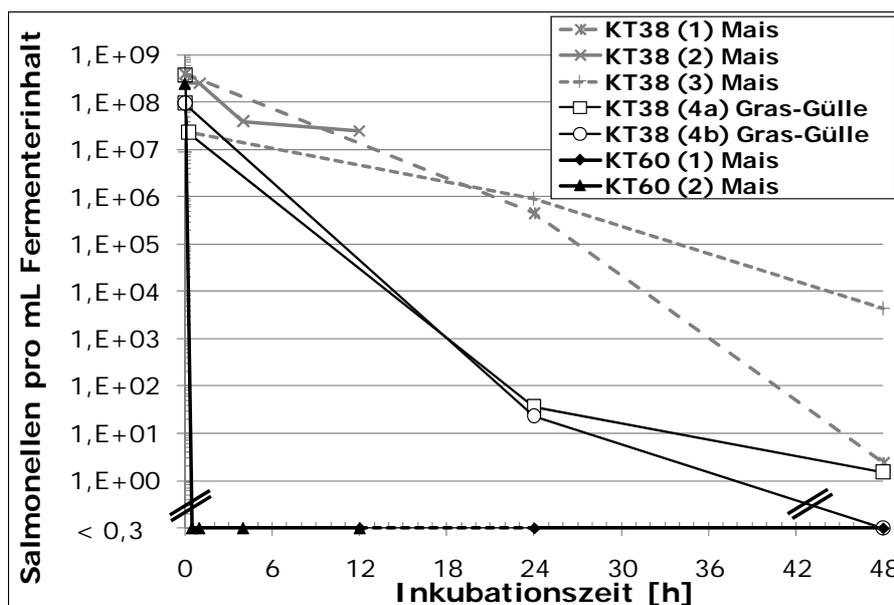


Abb. 1: Abtötung von Salmonellen im Biogasprozess mit verschiedenen Verfahrensführungen; KT38, KT60: Keimträgerversuch bei 38 °C bzw. 60 °C Betriebstemperatur

Bei 60°C wurden im Prozess mit Maissilage schon nach weniger als 3,2 min mehr als 10⁸ Salmonellen abgetötet. Abhängig von der Prozessführung und der chemischen Zusammensetzung des Gärgemischs betrug die Inaktivierung bei 38°C nach 2 Tagen gesicherter Verweilzeit (MGRT) zwischen 99,995% und 99,999999% (4,5 bis 8¹⁰log-Stufen). Beim Betrieb mit Grassilage erfolgte die Hygienisierung wohl wegen des entstehenden höheren NH₃-Gehalts im Gärgemisch schneller als mit Maissilage (Abb. 1).

Die Ergebnisse zum Verhalten von Salmonellen im Biogasprozess unterstreichen die bisherigen Erkenntnisse. Sie zeigen weiterhin, dass der chemischen Zusammensetzung des Gärgemischs bei der Inaktivierung auch eine wichtige Rolle zukommt.

Den bisherigen Untersuchungen zufolge sind die einleitend genannten pathogenen *E. coli* Varianten (u. a. EHEC und EAEC) sowie die meisten bekannten Krankheitserreger bei Mensch und Tier empfindlicher gegenüber den Bedingungen in der anaeroben Vergärung als *S. Senftenberg* und sterben dementsprechend auch schneller ab [1, 17]. Damit ist in der Praxis mit einem Vorliegen solcher Erreger im Gärrest bei den üblichen hydraulischen Verweilzeiten nur bei Vorliegen sehr hoher Ausgangskonzentrationen, einer ausgeprägten Kurzschlussströmung und/oder bei Einbettung der Erreger in eine stark schützende Hülle bzw. Matrix zu rechnen. Meist ist der Prozess in Praxisanlagen auch mehrstufig gestaltet (Fermenter – Nachgärer). Dadurch wird die Absterberate mehr als nur addiert, sie ist zumindest rechnerisch multipliziert (Abb. 2). Gegenüber der Vergärung in einem Fermenter mit dem gleichen Volumen ist die Hygienisierung auf alle Fälle deutlich gefördert [18].

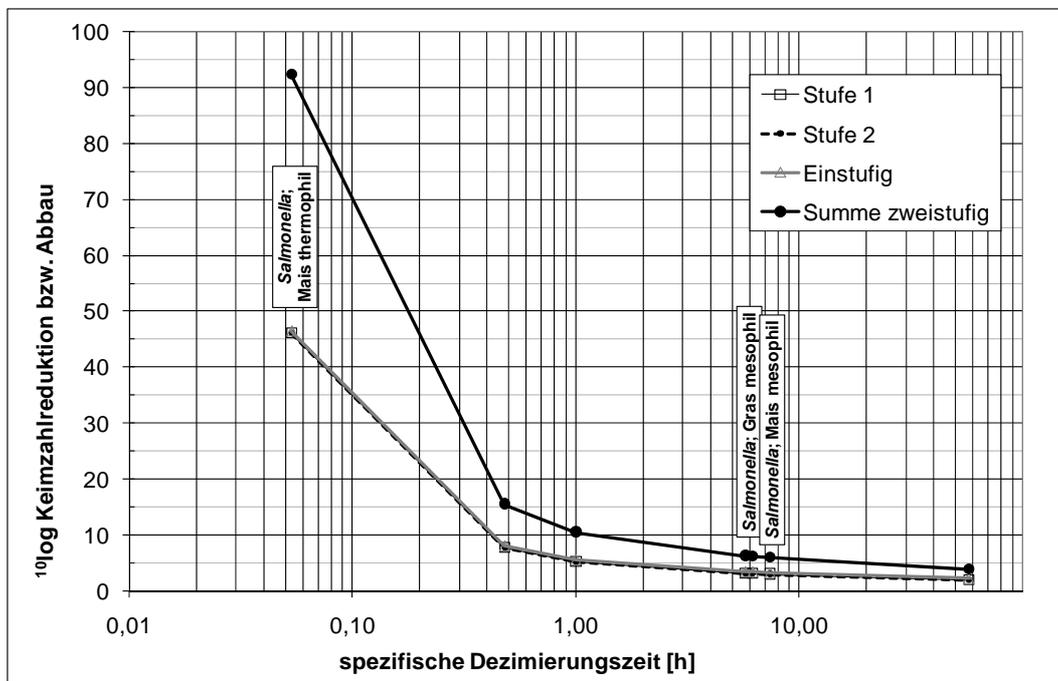


Abb. 2: Kalkulierte Keimzahlreduktion in Praxis-Rührkesselfermentern (je 275 m³, tägliche Fütterung 7 m³) bei ein- und 2-stufigem Betrieb bei gegebener spezifischer Dezimierungszeit

Problematische Mikroorganismen, Human- und Tierpathogene sowie Bakterien mit Antibiotikaresistenzen [19], finden sich eher in tierischen Reststoffen. In pflanzlichen Substraten bzw. Einsatzstoffen kommen sie typischerweise nicht in höherer Konzentration vor, hier ist eher mit der Gegenwart von Pflanzenschädlingen, Pilzgiften (Mykotoxinen) und Pflanzenschutzmitteln zu rechnen. Wie die EHEC/EAEC-Krise in Deutschland 2012 zeigt, ist aber eine Gegenwart infektiöser Krankheitserreger in Pflanzenteilen nicht völlig auszuschließen.

Widerstandsfähige Organismen scheinen den Prozess der anaeroben Gärung eher unbeschadet oder wenig dezimiert überstehen zu können [3]. Hierzu gehören insbesondere die sporenbildenden Bakterien, zu denen auch die in der Einleitung genannten *Clostridium*- und *Bacillus*-Arten zählen. Wenn solche Krankheitserreger in nur geringer Konzentration

in der Prozesskette nachgewiesen werden, ist dies dennoch kein Grund zur Besorgnis, da sie ubiquitär (überall in der Umwelt) vorkommen. Allerdings ist der „natürliche Hintergrund“ nur für wenige dieser Erreger bekannt [3], hier besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

Bei einem Nachweis in höherer Konzentration (etwa ab 10^4 * mL^{-1}) wären aber Bedenken angebracht, weil ein Hinweis auf eine nicht sachgemäße Verunreinigung gegeben wäre, möglicherweise sogar mit Kadavern bzw. Leichenteilen. Einige *Clostridium*- und *Bacillus*-Arten sind am Verwesungsprozess beteiligt, und manche dieser Arten können mit die stärksten bekannten Toxine bilden. Neuesten Ergebnissen von Köhler [20] zufolge wurde *Clostridium botulinum* auch vereinzelt in der Verfahrenskette von mit tierischen Nebenprodukten betriebenen Biogasanlagen gefunden, dabei in den Substraten häufiger als im Prozess, aber praktisch nicht in den Gärresten. Der Autor zeigte auch, dass sich das Toxinbildungsvermögen von *Clostridium botulinum* im Durchgang durch den Biogasprozess vermindert [20]. Dem entsprechend fanden Bagge et al. (2010) [5] eine Abnahme von *C. botulinum* im mesophilen Prozess einer mit Schlachtabfällen betriebenen Biogasanlage. Weiterhin konnten in einer kürzlich abgeschlossenen Studie [6] in den Gärgemischen und in den Gärresten von 15 verschiedenen niedersächsischen landwirtschaftlichen Biogasanlagen keine pathogenen Clostridien, keine krankheitserregenden *E. coli* und keine Salmonellen nachgewiesen werden, und es lag kein Hinweis auf eine Anreicherung von Krankheitserregern während der unterschiedlichen Biogasprozesse vor.

Der Einsatz von Tierkörpern oder -teilen ist bekanntermaßen verboten. Es ist aber nicht auszuschließen, dass Kleintiere (z. B. Mäuse und Ratten bei der Nagerbekämpfung, Vögel/Geflügel) unbemerkterweise in den Prozess gelangen. Wenn sie in den Verwesungsprozess eintreten, können sie mit den genannten *Clostridium*- und *Bacillus*-Krankheitserregern verseucht sein und dann eine potentielle Infektionsquelle darstellen. Mit der immer großflächigeren Beerntung und Mahd können auch getötete Kleintiere (z. B. Kitze, Vögel, Mäuse) vermehrt in die Silagen gelangen und mit den Erregern infiziert werden. Der Betreiber sollte deswegen auf eine Gegenwart toter Kleintiere in der Substratmischung achten und sie ggf. sachgemäß entsorgen. Aus ähnlichen Gründen gehört auch Kot von Fleischfressern nicht in eine landwirtschaftliche Biogasanlage. Auch wie mit der Gülle einzelner erkrankter Tiere zu verfahren ist, sollte mit dem zuständigen Veterinär geklärt werden.

2.4 Phytohygiene

Nach aktuellem Rechtsstand unterliegen Gärreste aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen beim Inverkehrbringen auch den Anforderungen der DüMV (2012) [14] an die Phytohygiene. Hierzu geben Seigner et al. (2011) [21] einen Überblick. Quarantäneschädlinge (QSO) wie z. B. Kartoffelkrebs, Ring- oder Schleimfäule dürfen nicht verbreitet und damit auch nicht in die Biogasanlage eingebracht werden. Mit widerstandsfähigen Pflanzenschädlingen befallene Wirtschaftsdünger bzw. Gärreste können die Anforderungen der Phytohygiene nur erfüllen, wenn sie einer geeigneten Hygienebehandlung unterzogen werden. Sie dürfen nur in Verkehr gebracht werden, wenn neben der hygienischen auch die phytohygienische Unbedenklichkeit gewährleistet ist, sie also frei sind von QSO, widerstandsfähigen Pilzen und thermoresistenten Viren.

Um das Hygienisierungspotenzial des Biogasprozesses im Hinblick auf phytopathogene Schaderreger zu evaluieren, führten u. a. Seigner et al. (2010) [22] Untersuchungen durch. Die Ergebnisse des Monitorings verschiedener Praxisanlagen ergaben keinen Hinweis auf

eine Verbreitung von Pilzkrankheiten durch landwirtschaftliche Biogasanlagen. Für die meisten untersuchten Schadpilze ergab sich, dass die Gärreste bei praxisüblicher Verfahrensführung, also bei mesophiler Vergärung (38 – 39°C) und einer hydraulischen Verweilzeit von 30 – 40 d, phytohygienisch unbedenklich waren. Die Autoren stellten allerdings bei mesophilen Bedingungen in Laborversuchen ein Verschleppungsrisiko für persistenterer Erreger fest, beispielsweise für den Erreger der Ring- und Schleimfäule (QSO, 30 d bzw. 100 d Überdauerung), den Kartoffelkrebserreger (QSO, 137 d Überdauerung), die Bakterielle Gräserwelke (50 d Überdauerung), den Tabakmosaikvirus (78 d Überdauerung) und für *Verticillium albo-atrum* (8 Wochen Überdauerung bei Hopfen). Wegen des Verschleppungsrisikos kann ein Einbringen von mit persistenteren Erregern befallenem Substrat und von widerstandsfähigen Unkrautsamen in mesophil betriebene Biogasanlagen nicht empfohlen werden.

Schultheiss et al. (2012) [23] folgern aus einer Zusammenstellung verschiedener Untersuchungen zum Thema, dass sich „zumindest im Hinblick auf die Verbreitung von Pilzkrankheiten sowohl bei thermo- als auch mesophil betriebenen Anlagen keine Hinweise auf ein Risiko für eine Verschleppungsgefahr von Pathogenen mit den Gärresten ergeben“. Es wird hervorgehoben, dass eine gute Silierung, eine lange Gärrestlagerung und vor allem eine mehrstufige Prozessgestaltung die Hygienisierungsleistung fördern. Um mögliche Infektionsketten zu unterbrechen und möglichst zu unterbinden, sollte der Gärrest bei Hinweisen auf Gegenwart eines wirtsspezifischen Erregers nicht auf Flächen ausgebracht werden, die den Wirt des Erregers in der Fruchtfolge haben. Entsprechend den Ausführungen in Kapitel 2.2 ist Vorsicht geboten, wenn grobkörnige Substrate mit schützender Matrix (z. B. Kartoffeln) (mit)vergoren werden sollen. Partien mit Befall durch Quarantäneschädlinge müssen sachgemäß entsorgt werden, in Zweifelsfällen ist eine Absprache mit dem amtlichen Pflanzenschutzdienst erforderlich. Für Chargen mit Befall durch andere Schädlinge und/oder Durchsetzung mit Unkrautsamen wird die Entsorgung in einer Bioabfallanlage empfohlen.

Wie sich die Überdauerungsfähigkeit der Erreger und Unkrautsamen bei thermophilem Betrieb darstellt, ist noch zu prüfen. Angesichts der in Kapitel 2.2 genannten Ergebnisse zu Krankheitserregern von Mensch und Tier ist zu erwarten, dass bei gleicher Expositionsdauer eine wesentlich höhere Absterberate als bei mesophilem Betrieb erzielt wird.

2.5 „Umwelthygiene“

Es ist auch möglich, dass bestimmte organische Fremdstoffe (z. B. Antibiotika, Desinfektionsmittel, hormonell wirksame Verbindungen, Mykotoxine, Fungizide u. a. m.) oder Schwermetalle in den Prozess gelangen und sich dort auf Grund des Abbaus der organischen Masse zu Biogas sogar leicht anreichern. Solche Substanzen können besonders beim Einsatz von Gülle und Reststoffen aus der Tierhaltung in den Prozess gelangen [24, 25], die Schwermetalle darüber hinaus beim Zusatz von Prozesshilfsmitteln wie Spurenelementmischungen und durch Geräteabrieb. Finden sie sich in unnatürlich hohen Gehalten im Gärrest, kann dies eine Belastung für Mensch, Tier und Umwelt darstellen.

Manche Schwermetalle wie z. B. Nickel (Ni) und Kobalt (Co) sind sehr giftig, weswegen keine unformulierten Schwermetallsalze gelagert und mit ihnen auch nicht offen umgegangen werden sollte. In Lebuhn und Effenberger (2012) [26] sind Richtwerte für Spurenelementkonzentrationen für einen effizienten Biogasprozess mit nachwachsenden Rohstoffen aufgeführt. Eine regelmäßige oder zumindest sporadische Messung der Spurenelementgehalte im Fermenter durch erfahrene Laboratorien [27] macht nicht nur dafür Sinn,

Mangelsituationen in der Ernährung der Mikroorganismen rechtzeitig zu erkennen und damit Prozessstörungen vorzubeugen, sie gibt auch Auskunft über einen eventuell unnötig hohen Einsatz dieser Stoffe, der zu Vergiftungen und Umweltschäden führen könnte. Hier gilt ganz ausdrücklich: „Viel mehr“ bringt eben nicht „viel mehr“ sondern kann schwerwiegende Schäden hervorrufen.

3 Empfehlungen für die Praxis

In diesem Kapitel sind in Kurzform Empfehlungen für die Praxis zusammengestellt, die sich aus dem vorangestellten Textteil und dem Stand des Wissens ergeben. Sie sollen nicht als Vorgabe verstanden werden sondern stellen Hinweise dar, bei deren Beachtung der hygienische Status auf dem Betrieb, von den Substraten hin bis zum Gärrest, optimiert werden kann.

Anlagenplanung, Prozessführung:

- Mehrstufige sequenzielle Fermenteranordnung oder Propfenströmer bieten eine bessere Prozesseffizienz sowie eine deutlich effizientere Hygienisierung.
- Bypassmöglichkeiten (direkt ins Endlager) und hydraulische Kurzschlüsse sollten eliminiert bzw. unterbunden werden.
- Nutzung der Abwärme des BHKW zur Hygienisierung z. B. über eine Pasteurisierung oder eine thermophile Vergärungsstufe.

Ernte/Mahd:

- Entgegen dem Trend, Arbeitsbreiten zu vergrößern, sind kleinere Arbeitsbreiten wünschenswert, da dadurch die Gefahr, Tiere bei der Mahd zu erfassen, verringert wird.
- Von innen nach außen mähen, um Tieren, die sich im Feld aufhalten, die Flucht zu ermöglichen.
- Mit akustischen Warnsignalen Tiere vorwarnen.
- Ausreichend Abstand zum Boden einhalten, da Bodenpartikel Träger von Krankheitserregern und Schadstoffen sein können.

Silierung:

- Sichtkontrolle der angelieferten Materialien auf Verunreinigungen.
- Verendete Tiere (z. B. durch Maßnahmen zur Schädnerbekämpfung) einsammeln und ordnungsgemäß entsorgen.
- Eine Abdeckung von Silos und Lagerbehältern kann einen Eintrag von Krankheitserregern über Vogelkot verhindern.
- Eine gute und ausreichend lange Silierung reduziert eventuell vorhandene Krankheitserreger.

Gülle:

- Auf Sauberkeit im Bereich der Tierhaltung und Biogaserzeugung achten.
- Kein Fleischfresserkot oder fleischhaltige Abfälle in die Güllegrube „entsorgen“.
- Zugang von Tieren zu Substraten unterbinden, auch zur Güllegrube.
- Bei Verdacht auf Krankheiten in der Tierhaltung bzw. im Stall umgehend den Veterinär kontaktieren und den Einsatz der Gülle in die Biogasanlage sowie als Dünger aussetzen (aber Achtung: Verlust des Güllebonus möglich). Eine Analyse der Gülle auf Krankheitserreger, ggf. nicht nur auf die gesetzlich geforderten, kann für eine Entscheidung hilfreich sein.

Biogasprozess:

- Je höher die Prozesstemperatur ist, desto schneller erfolgt die Hygienisierung (bei proteinreicheren Substraten wird er aber auch zunehmend instabil; generell sind Temperaturen über ca. 60 °C kritisch).
- Die Prozesstemperatur sollte nicht absinken, bei höheren Temperaturen ist die Hygienisierungsleistung besser.
- Eine Biogasanlage sollten nicht mit Material anfahren werden, das mit Krankheitserregern belastet ist. Eine entsprechende Analyse des Inokulums ist hier hilfreich.
- Der Prozessablauf sollte zuweilen auf Vorliegen von Kurzschlussströmen untersucht werden, z. B. über Restgas-/Restmethanpotenzialbestimmungen.
- Ein hoher Methanertrag weist auf eine effizient arbeitende Biozönose hin. Krankheitserreger haben hier kaum Chancen sich anzusiedeln und werden reduziert.
- Eine lange Verweilzeit ohne Kurzschlussströme gewährleistet die bestmögliche Hygienisierung. Insbesondere sollten Kurzschlussströme von frischem Material in das Gärrestlager vermieden werden.
- Eine gute Durchmischung fördert die Prozesseffizienz und damit die Hygienisierungsleistung.

Gärrest/Gärprodukte:

- Das Gärprodukt sollte so gelagert werden, dass keine Krankheitserreger von frischem Material oder der Umwelt (z. B. auch durch Tiere) eingetragen werden können („Schwarz-Weiß-Trennung“; Reinfektion verhindern).
- Bei Verdacht auf Vorliegen von Krankheitserregern sollten in Absprache mit dem Veterinär zusätzlich zu den gesetzlich geforderten weitere, spezifische Analysen beauftragt werden.

4 Literaturverzeichnis

- [1] Hoferer, M. (2001): Seuchenhygienische Untersuchungen zur Inaktivierung ausgewählter Bakterien und Viren bei der mesophilen und thermophilen anaeroben alkalischen Faulung von Bio- und Küchenabfällen sowie anderen Rest- und Abfallstoffen tierischer Herkunft. Inaugural Dissertation beim Fachbereich Veterinärmedizin an der Freien Universität Berlin, Journal-Nr. 2528, S. 1-211
- [2] Reinhold, G. und O. Jahn (2004): Hygienisierende Wirkungen der Biogaserzeugung auf die Gärsubstrate. In: Tagungsband des 116. VDLUFA-Kongresses Rostock, 13. – 17.9.2004

-
- [3] Lebuhn, M. und P. Wilderer (2006): Abschlussbericht des StMUGV-Projekts "Biogastechnologie zur umweltverträglichen Flüssigmistverwertung und Energiegewinnung in Wasserschutzgebieten: wasserwirtschaftliche und hygienische Begleituntersuchung, Projektteil: Mikrobiologische, parasitologische und virologische Untersuchungen". Technische Universität München, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft. www.lfl.bayern.de/ilt/umwelttechnik/23185/?context=/lfl/itt/umwelttechnik/
- [4] Tebbe, C.C., A.-B. Dohrmann und S. Baumert (2007): Abschlussbericht über das Vorhaben „Untersuchungen zum qualitativen und quantitativen Vorkommen von *Clostridium botulinum* in Substraten und Gärückständen von Biogasanlagen. Institut für Technologie und Biosystemtechnik und Institut für Agrarökologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig, pp. 109
- [5] Bagge, E., M. Persson and K.-E. Johansson (2010): Diversity of spore-forming bacteria in cattle manure, slaughterhouse waste and samples from biogas plants. *Journal of Applied Microbiology* 109, 1549–1565, ISSN 1364-5072
- [6] Breves, G. (2011): Untersuchungen zum mikrobiologischen Risikopotenzial von Gärs substraten und Gärresten aus niedersächsischen Biogasanlagen. Physiolog. Institut der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover. www.ml.niedersachsen.de/portal/live.php?navition_id=1375&article_id=101070&psmand=7
- [7] Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (Verordnung über tierische Nebenprodukte)
- [8] Verordnung (EU) Nr. 142/2011: Verordnung (EU) Nr. 142/2011 der Kommission vom 25. Februar 2011 zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte sowie zur Durchführung der Richtlinie 97/78/EG des Rates hinsichtlich bestimmter gemäß der genannten Richtlinie von Veterinärkontrollen an der Grenze befreiter Proben und Waren
- [9] TierNebV (2012): Verordnung zur Durchführung des Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetzes (Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung - TierNebV), vom 27. Juli 2006 (BGBl. I S. 1735), zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 23. April 2012 (BGBl. I S. 611) geändert
- [10] BiomasseV (2012): Biomasseverordnung vom 21. Juni 2001 (BGBl. I S. 1234), zuletzt durch Artikel 5 Absatz 10 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert
- [11] BioAbfV (2012): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV), Bioabfallverordnung vom 21. September 1998 (BGBl. I S. 2955), zuletzt durch Artikel 1 u. Artikel 4 der Verordnung vom 23. April 2012 (BGBl. I S. 611) geändert
- [12] KrWG (2012): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG) vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212)

- [13] EEG (2012): Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17. August 2012 (BGBl. I S. 1754) geändert
- [14] DüMV (2012): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DüMV), Düngemittelverordnung vom 16. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2524), zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 23. April 2012 (BGBl. I S. 611) geändert
- [15] Andrade, D., C. Marin-Perez, H. Heuwinkel, M. Lebuhn und A. Gronauer (2009): Biogasgewinnung aus Grassilage: Untersuchungen zur Prozessstabilität. Kongressband Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009, 2.12. – 4.12.2009, Erding, LfL-Schriftenreihe 16/3, ISSN 1611-4159, 529-538
- [16] Fröschle, B., B. Munk, A. Gronauer and M. Lebuhn (2012): Inactivation of *Salmonella* in biogas processes – determination by conventional and qPCR methods. In: Proceedings of the Fourth International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Venice 2012, pp 14
- [17] Godfree, A. and J. Farrell (2005): Processes for Managing Pathogens. J. Environ. Qual. 34, 105-113
- [18] Lebuhn, M. und M. Effenberger (2011): Hygienische Aspekte beim Betrieb einer Biogasanlage. In: Kongressband des C.A.R.M.E.N. Fachgesprächs „Hygienische Unbedenklichkeit von Biogasanlagen“, 27.10.2011, Rottersdorf/Landau, S. 79-96
- [19] Hölzel, C.S., K.S. Harms, H. Küchenhoff, A. Kunz, C. Müller, K. Meyer, K. Schwaiger and J. Bauer (2010): Phenotypic and genotypic bacterial antimicrobial resistance in liquid pig manure is variously associated with contents of tetracyclines and sulfonamides. J. Appl. Microbiol. 108/5, 1642–1656
- [20] Köhler, B. (2011): Wechselwirkungen von Clostridien-Tox-Infektionen mit der Umwelt unter besonderer Berücksichtigung von *Clostridium botulinum* und Entsorgungsverfahren in der Tierhaltung. Tierärztliche Hochschule Hannover, 30.11.2011, www.ml.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=1375&article_id=101070&psmand=7
- [21] Seigner, L., M. Wendland und M. Schneider, (2011): Anforderungen an die Hygiene und die Kennzeichnung von Gärresten aus NawaRo-Anlagen bei der Verwendung als Wirtschaftsdünger. biogas-forum-bayern.de/publikationen/Anforderungen_an_die_Hygiene_und_die_Kennzeichnung_von_Garresten.pdf
- [22] Seigner, L., R. Friedrich, D. Kaemmerer, P. Büttner, G. Poschenrieder, A. Hermann und A. Gronauer (2010): Hygienisierungspotenzial des Biogasprozesses, Ergebnisse aus einem Forschungsprojekt. LfL-Schriftenreihe 8, 2010, ISSN 1611-4159
- [23] Schultheiss, U., H. Döhler, M. Hofmann und S. Wulf (2012): Phytohygienische Aspekte bei der anaeroben Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen – Zusammenfassende Betrachtung. In: Untersuchungen zum phytosanitären Risiko bei der anaeroben Vergärung von pflanzlichen Biomassen in Biogasanlagen, KTBL Darmstadt, S. 80-85
- [24] Harms, K. und K. Meyer (2006): Antibiotikarückstände in Gülle. In: Schweinegülle – Quelle für potentiell unerwünschte Stoffe? LfL-Schriftenreihe 12, 2006, ISSN 1611-4159, S. 15-20

-
- [25] Müller, C. (2006): Schwermetalle und Spurenelemente in Gülle. In: Schweinegülle – Quelle für potentiell unerwünschte Stoffe? LfL-Schriftenreihe 12, 2006, ISSN 1611-4159, S. 29-35
- [26] Lebuhn, M. und M. Effenberger (2012): Hygienisierung durch Biogastechnologie. Korrespondenz Wasserwirtschaft 8/12, 419-424
- [27] Henkelmann, G., K. Fischer, K. Meyer zu Köcker, K. Koch, M. Lebuhn, M. Effenberger und K. Bayer (2011): Marktübersicht Zusatz- und Hilfsstoffe in Biogasanlagen - Stand Januar 2012 - . www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Zusatz- und Hilfsstoffe.pdf

Der effiziente Einsatz von Gärresten

Fabian Lichti¹, Matthias Wendland¹, Urs Schmidhalter², Konrad Offenberger¹

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

²Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Wissenschaftszentrum Weihenstephan

1 Einleitung

In Biogasbetrieben fallen sämtliche über die Eingangssubstrate in den Betrieb importierten Nährstoffe in den entstehenden Biogasgärresten an. Um die darin gebundenen Nährstoffe im Sinne eines geschlossenen Betriebskreislaufs einzusetzen, gilt es die Effizienz des einzelnen Nährstoffs (v. a. Stickstoff) bezüglich der pflanzenbaulichen Wirkung zu maximieren. An der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft werden in diesem Zusammenhang seit 2008 Feldversuche an mehreren Standorten in Bayern durchgeführt. Zielsetzung ist dabei, den anfallenden Biogasgärrest auf die Flächen, welche zur Gewinnung des Biogassubstrates genutzt wurden, zurückzuführen und diese Nährstoffe gut möglichst auszunutzen. Gleichzeitig müssen aber Höchstserträge und Produktqualität (z. B. Proteingehalt) gewährleistet sein. Unter dieser Prämisse wurde auch der kombinierte Einsatz mit mineralischem Dünger geprüft, um das Risiko einer Minderwirkung der organischen Düngung auszugleichen.

2 Stickstoffeffizienz von Biogasgärresten

Die Stickstoffeffizienz bei der Düngung mit Biogasgärresten hängt von vielerlei Einflüssen ab. Einige dieser können nicht oder nur kaum durch den Landwirt beeinflusst werden, andere wiederum deutlich. Bereits während der Fermentation werden Nährstoffe freigesetzt bzw. in eine rasch pflanzenverfügbare Form übergeführt. Je effektiver der Abbau organischer Substanzen und somit auch die Gasausbeute sind, desto stärker werden Nährstoffe mineralisiert und damit pflanzenverfügbarer. Für die Stickstoffeffizienz maßgebliche Eigenschaften des Biogasgärrestes wie Fließfähigkeit, TS-Gehalt, Ammoniumgehalt oder pH-Wert können vom Anlagenbetreiber nur bedingt beeinflusst werden. Systeme zur Senkung des pH-Wertes, beispielsweise durch Ansäuern des Biogasgärrestes während der Ausbringung, sind derzeit in Deutschland nicht weit verbreitet. Da bei einer Ausbringung von Biogasgärresten im Frühjahr meist nur ein kurzes Zeitfenster zur Verfügung steht, kann auf klimatische Faktoren welche die NH_3 -Abgasung beeinflussen, ebenfalls nur bedingt reagiert werden. Faktoren zur Steigerung der Stickstoffeffizienz bei der Ausbringung sind vor allem eine rasche Einarbeitung, emissionsarme Applikationsmethoden sowie eine an den Stickstoffbedarf der Kultur angepasste Düngehöhe. Dazu ist es wichtig die Stickstoffwirkung von Biogasgärresten zu kennen. Nur so kann eine exakte Düngeplanung durchgeführt werden. Aus den an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in den Jahren 2009-2011 durchgeführten Versuchen im Freiland zur Düngung mit Biogasgärresten konnte neben der Stickstoffwirkung von Biogasgärresten (siehe Tagungsbeitrag „Die Nährstoffwirkung von Biogasgärresten“) das Einsparpotenzial der Applikationstechniken

Breitverteilung (Abstrahlung über eine Verteilerblech nach unten), Schleppschlauch und Schleppschuh geprüft werden. Ebenso können aus diesen Versuchen Düngeempfehlungen zu wichtigen Biogaskulturen abgeleitet werden.

3 Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf den Trockenmasseertrag

Um den Einfluss der Applikationstechniken Breitverteilung, Schleppschlauch und Schleppschuh zu prüfen, wurde für die Feldversuche ein spezielles Güllefass angefertigt. Zu erwähnen ist, dass es sich bei der Breitverteiltertechnik nicht um in der Praxis bekannte Verfahren wie z. B. Schwanenhalsverteiler oder Möscha-Verteiler handelt. Um eine exakte Düngung der Versuchsparzelle zu gewährleisten, tropft der Biogasgärrest von einem Verteilerblech breitflächig ab. Geprüft wurden die drei Techniken jeweils zu Vegetationsbeginn und zum Schossen in Wintertriticale und Winterweizen. Vor Silomais wurde mit Schleppschuh und Schleppschlauch appliziert. In den Schleppschlauchvarianten wurde sofort, nach 3 h oder 24 h, in der Schleppschuhvariante hingegen nicht eingearbeitet.



Abb. 1: Breitverteilung, Schleppschlauch und Schleppschuh (von links nach rechts) mit Versuchsgüllefass im Parzellenversuch

Die Ernteergebnisse der Varianten zur Ausbringungstechnik zeigten im Wintergetreide lediglich zu Vegetationsbeginn bei Winterweizen einen statistisch absicherbaren Anstieg von Schleppschlauch zu Schleppschuh. In den anderen Varianten konnte dieses Ergebnis nur tendenziell festgestellt werden. Da parallel eine Stickstoffsteigerungsdüngung mit Schleppschläuchen und Biogasgärrest sowie mineralischer Düngung durchgeführt wurde, kann die äquivalente Stickstoffersparnis durch Einsatz von Schleppschuhtechnik gegenüber Schleppschlauch in Wintergetreide und der Effekt einer raschen Einarbeitung berechnet werden. Durch den Einsatz von Schleppschuhen konnte gegenüber dem Einsatz von Schleppschläuchen in Wintergetreide im Mittel (Winterweizen und Wintertriticale 2009-2011) 10 kg N/ha * a mineralisch bzw. 34 kg N_{Ges}/ha * a aus Biogasgärrest eingespart werden. Bei der Ausbringung vor der Silomaissaat konnten durch die sofortige Einarbeitung (Kreiselegge nach Schleppschlauchapplikation im absätzigen Verfahren) 20 kg N/ha * a mineralisch bzw. 50 kg N_{Ges}/ha * a aus Biogasgärrest oder bei Einarbeitung nach 3 h 14 kg N/ha * a mineralisch bzw. 36 kg N_{Ges}/ha * a aus Biogasgärrest eingespart werden.

Tab. 1: Stickstoffersparnis verschiedener Ausbringungsverfahren zu Wintergetreide (Mittel aus Wintertriticale und Winterweizen 2009-2011) und Silomais durch verlustarme Ausbringungsstrategien;

Ausbringungstechnik (Wintergetreide)	$N_{\text{mineralisch}}$	N_t aus BGR
Schleppschuh (zu Schleppschlauch)	10 kg N/ha	34 kg N_t /ha
Einarbeitung (vor Mais)	$N_{\text{mineralisch}}$	N_t aus BGR
1 h	20 kg N/ha	50 kg N_t /ha
3 h	14 kg N/ha	36 kg N_t /ha
24 h	-	-

4 Düngempfehlungen für ausgewählte Biogaskulturen

Zu den Kulturarten Wintertriticale (Ganzpflanzensilage), Winterweizen (Marktfrucht) sowie Silomais wurden zusätzlich zu den Stickstoffsteigerungsversuchen mit Biogasgärrest kombinierte Verfahren aus Biogasgärrest- und mineralischer Düngung geprüft. Zielsetzung war hierbei neben der Erzielung möglichst hoher TM-Erträge den Stickstoffsaldo vor dem Hintergrund eines maximal tolerierbaren N-Saldo von 60 kg N/ha nach DüV möglichst gering zu halten. Wintertriticale als Ganzpflanzensilage kennzeichnet sich vor allem durch dessen frühen Stickstoffbedarf und eine relativ kurze Vegetationszeit (Ernte zwischen Milch- und Teigreife). Dies bedeutet, dass eine flüssige Gärrestgabe möglichst zeitig im Frühjahr (Vorgaben der DüV beachten!) mit bodennaher Applikationstechnik zu erfolgen hat. In den Versuchen wurden die besten Ergebnisse mit einer Gärrestgabe von 120 kg NH_4 -N in Kombination mit einer mineralischen Düngung erzielt. Die Gärrestgabe orientierte sich in diesem Fall an einer theoretischen Rückführung der je Flächeneinheit angefallenen Substrate (entspricht 100 % Rückführung des Biogasgärrests). Die mineralische Ergänzungsdüngung wurde dann auf eine Gabe zu Vegetationsbeginn zur Risikominimierung eventueller Minderwirkungen des Biogasgärrests und eine Gabe zu Beginn des Schossens aufgeteilt. Die Höhe der mineralischen Düngung hängt wiederum von dem Gesamtsollwert je nach Ertragsersparnis und dem N_{min} -Gehalt im Frühjahr ab. Ein Düngungsbeispiel zu Wintertriticale GPS zeigt Abb. 2.

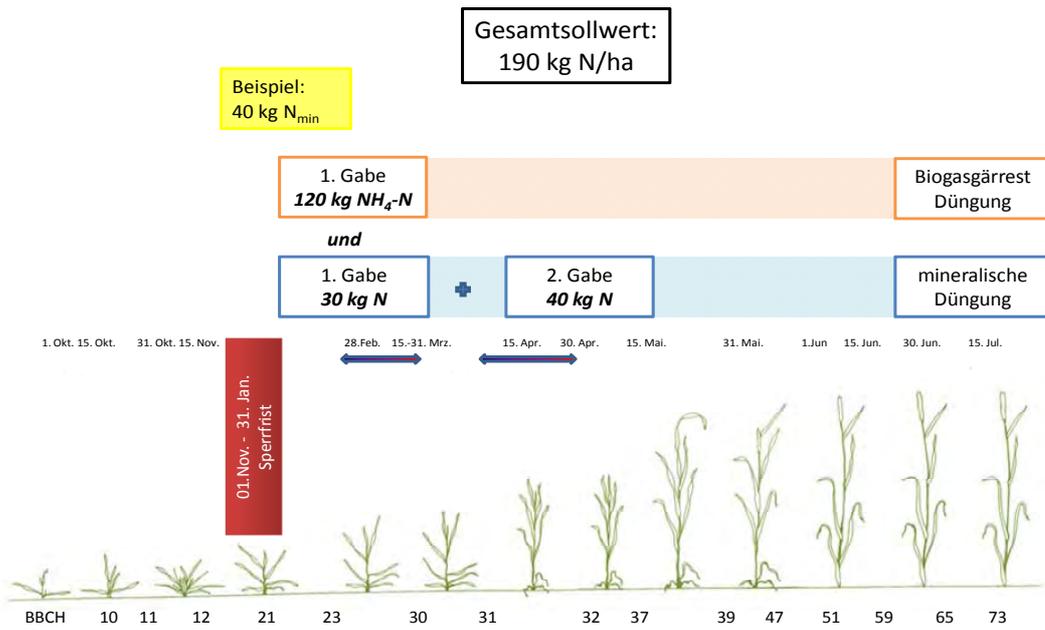


Abb. 2: Beispiel für eine Düngeempfehlung zu Wintertriticale Ganzpflanzensilage

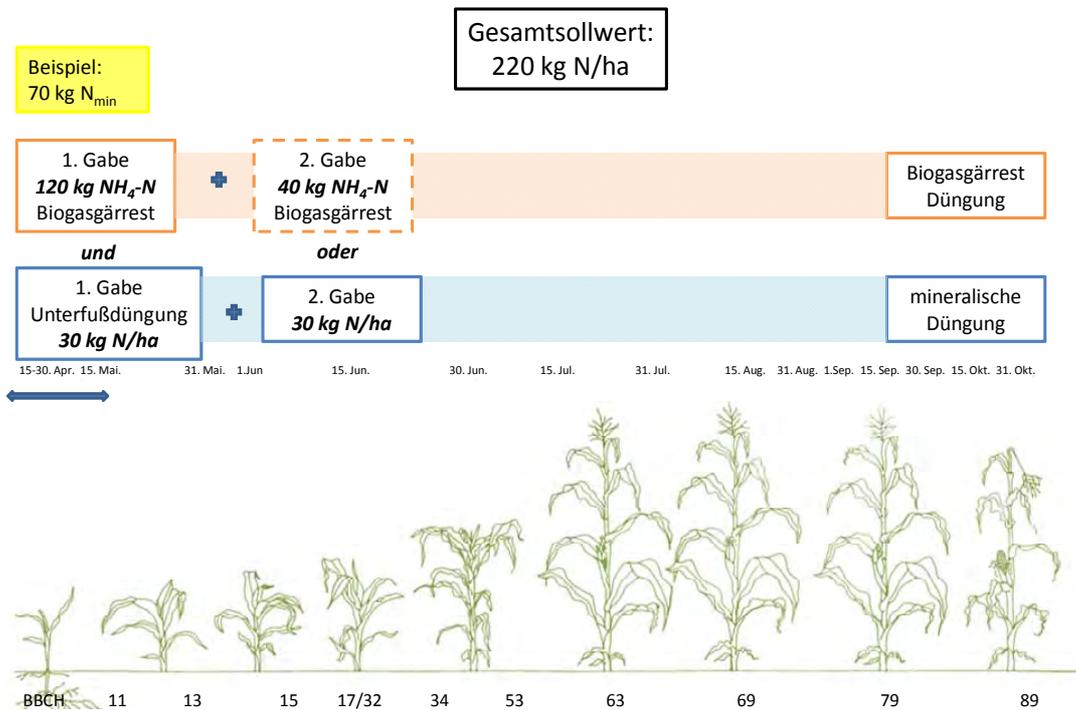


Abb. 3: Beispiel für eine Düngeempfehlung zu Silomais

Im Gegensatz zu Wintertriticale GPS ist Silomais durch eine lange Vegetationsperiode und dadurch hohe Verwertung von mineralisiertem, organischem Stickstoff gekennzeichnet. Bei einer Einmalgabe vor der Maissaat können 120 kg NH₄-N/ha über Gärreste ausgebracht werden (sofort einarbeiten!). Für eine gesicherte Jugendentwicklung sollte eine

Unterfußdüngung zwischen 30-45 kg N/ha nicht ausbleiben. Die zweite Stickstoffgabe kann dann entweder mineralisch oder mit Biogasgärrest erfolgen, wobei bei organischer Düngung die zur Ausbringung nötige Infrastruktur passen muss (Feldein- und -ausfahrten, Wendemöglichkeit, Feldlänge und Ausbringmenge bzw. -breite usw.). Ein Düngungsbeispiel zu Silomais zeigt *Abb. 3*.

5 Fazit

Durch den Einsatz von Schleppschuhen in Wintergetreide kamen über 30 kg N_t/ha aus Biogasgärrest mehr zu Wirkung als bei Schleppschlauchapplikation. Eine sofortige Einarbeitung vor Silomais brachte eine bessere Düngewirkung des Biogasgärrests von 50 kg N_t/ha, gleichbedeutend mit einer Einsparung von 20 kg mineralischem Stickstoff je Hektar. Die Rückführung der Biogasgärreste im Sinne einer Kreislaufwirtschaft ist gut möglich, sollte jedoch, um konstant hohe Erträge und Qualitäten zu gewährleisten, durch eine zielgerichtete mineralische Düngung ergänzt werden.

