

Biogas im Öko-Landbau: Ist die Vergärung von Biomasse und Reststoffen nachhaltig?

Die Diskussion über die Nachhaltigkeit der Biogas-erzeugung wird innerhalb der Landwirtschaft z.T. sehr kontrovers geführt. Gerade im Öko-Landbau stehen dabei v.a. mögliche Folgen auf die Bodenfruchtbarkeit im Mittelpunkt.

Mit der Errichtung von Biogasanlagen in Öko-Betrieben werden vielfältige positive und negative Begleitwirkungen verbunden. Zu den genannten positiven Begleitwirkungen zählen niedrigere N-Verluste während der Lagerung und nach der Ausbringung (geringere Nitratauswaschungsgefahr, geringere Ammoniakemissionen) sowie eine höhere direkte N-Düngewirkung. Darüber hinaus wird eine geringere Emission von Klimagasen, eine zusätzliche Energieerzeugung und damit eine Substitution fossiler Energieträger erwartet. Zugleich wird in der Biogasgärung eine alternative Nutzung für Kleeergras aufwüchse, Grünland und so weiter und bei Zukauf betriebsfremder Substrate die Möglichkeit eines Ausgleichs von Nährstoffverlusten gesehen. Andererseits bestehen in der Praxis große Unsicherheiten, inwiefern sich die Biogasgärung negativ auf die Nachhaltigkeit ökologischer Anbausysteme auswirken kann. Der Abbau von Kohlenstoffverbindungen im Fermenter hat womöglich negative Wirkungen auf die Humusversorgung der Böden und auf das Bodenleben, so die häufig geäußerte Vermutung.

Was passiert während der Vergärung?

Während des Vergärungsprozesses wird ein erheblicher Anteil der Hemicellulosen, der Cellulose und des Eiweißes unter Bildung von Methan und Kohlendioxid abgebaut. Lignin kann durch die im Biogasfermenter aktiven Mikroorganismen nicht abgebaut werden. Der Abbau von organischer Substanz senkt den Anteil an Trockensubstanz und erhöht die Fließfähigkeit des Gärrestes. Das aus dem Fermenter entweichende Gas besteht im Wesentlichen aus Methan, Kohlendioxid und Spuren anderer Gase. Daher bleiben alle Pflanzennährstoffe im System, dies führt unter anderem zu einem engeren C/N-Verhältnis in den Gärresten. Aus einem offenen Güllelager oder einer Stallmistmiete entweichen dagegen erhebliche N-Mengen, und es entstehen zugleich klimawirksame Gase wie Methan und Lachgas, die bei einer Gesamtbetrachtung des Betriebes die Klimagasbilanz erheblich belasten können. Die Biogasgärung mit einem geschlossenen Nachgärbehälter kann daher einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung sowohl der Nährstoffverluste als auch der Klimagasemissionen darstellen. Allerdings wird durch die Vergärung die Bindungsform der Nährstoffe teilweise verändert: das Eiweiß im Rohprotein wird beispielsweise nahezu vollständig abgebaut. Ein Teil des darin enthaltenen Stickstoffs und Schwefels wird in Bakterieneiweiß eingebaut, ein erheblicher Anteil geht als Ammonium bzw. Schwefel-

wasserstoff in Lösung freigesetzt. Mineralisierte Ortho-Phosphat- und Kalzium-Ionen reagieren miteinander und bilden schwer lösliche Calcium-Phosphate. Zugleich steigt während der Vergärung der pH-Wert. Aus dem engeren C/N-Verhältnis und den höheren Ammonium-N-Anteilen im Gärrest resultiert kann u.a. eine schnellere und höhere N-Düngewirkung resultieren, die höhere Fließfähigkeit kann die gasförmigen N-Verluste während und nach der Ausbringung reduzieren.



Anlage zur Fest-Flüssig-Trennung von Gärresten

Foto: Dr. Kurt Möller

Wirkungen der Vergärung auf die Nährstoffverfügbarkeit nicht überschätzen!

Die vorliegenden Versuche belegen, dass sich die direkte Nährstoffwirkung von vergorener Gülle bei einer Kopfdüngung kaum von der einer unvergorenen Vergleichsgülle unterscheidet. Dies liegt wahrscheinlich darin begründet, dass bei einer Kopfdüngung die gasförmigen N-Verluste bei der Ausbringung einer Biogasgülle in der Regel höher sind als bei einer unvergorenen Gülle. Der höhere pH-Wert und der höhere Ammonium-N-Anteil im Gärrest bewirken einen Anstieg der gasförmigen N-Verluste. Eine signifikante Verbesserung der direkten N-Düngewirkung lässt sich in der Regel nur bei einer sofortigen Einarbeitung der Biogasgülle nach bodennaher Ausbringung (innerhalb weniger Minuten) nachweisen. Auswirkungen der Vergärung von Gülle auf die Nitratauswaschungsgefahr sind ebenfalls nicht feststellbar.

Starke Nährstoffwirkungen bei Einbeziehung von Kleeergras und anderen Reststoffen

Das Betreiben einer Biogasanlage ermöglicht es, nicht nur die Reste aus der Tierhaltung zu vergären, sondern auch Reststoffe, die bislang als Erntereste oder Gründüngung auf den Ackerflächen eingearbeitet werden. Hierzu gehören unter anderem Zwischenfrüchte oder auch das Kleeergras in viehlosen bzw. vieharmen Betrieben, die sonst als Mulch auf der Fläche belassen werden. Die Vergärung solcher Substrate ermöglicht eine Erhöhung der mobilen N-Düngermengen, ein höherer Anteil des Stickstoffs

kann nach pflanzenbaulichen Gesichtspunkten (Ausbringungszeitpunkt, gedüngte Kultur) optimal innerhalb des Fruchtfolgesystems (um)verteilt werden (Tabelle 1). Einer ortsfesten Gründüngung meist im Spätsommer oder Herbst steht eine Gärrestdüngung gegenüber, die überwiegend zu optimalen Ausbringungszeitpunkten im Frühjahr erfolgen kann. Dies kommt den Kulturpflanzen mit dem höchsten Nährstoffbedarf zugute. In viehlosen Öko-Anbausystemen ermöglicht die Vergärung überhaupt erst die Erzeugung mobiler Düngemittel.

	Übliche viehlose Bewirtschaftung	Viehlose Bewirtschaftung mit Biogasgärung von Reststoffen
Inputs an organischer Substanz in den Boden (dt/ha)	64,7	25,3
„C-Düngung“ (dt/ha)	32,2	13,6
Gesamt-N-Düngung (kg N/ha)	128	126
Mobile N-Düngungsmenge (kg N/ha)	0	104
N-Düngung zu Nicht-Leguminosen (kg N/ha)	150	180
N-Düngung zu Leguminosen (kg N/ha)	83	10
Gesamt-C/N der organischen Düngung	25,2	11,0
Biologische N ₂ -Fixierung (kg N/ha)	120	137
Humusbilanz (kg Humus-C/ha)	433	300
Versorgungsgrad mit organischer Substanz (%)	262	212

Tabelle 1: Einfluss von Biogasgärung auf die gesamt-organische Düngung und die Humusbilanz eines viehlosen Öko-Systems

Untersuchungen an der Universität Gießen in einem viehlosen Öko-Anbausystem kommen zu folgenden Ergebnissen:

- Die veränderte Bewirtschaftung bewirkte eine signifikante Erhöhung der Erträge der Nicht-Leguminosen (+16 %) und ihrer N-Aufnahmen (+19 %) verbunden mit einer signifikanten Erhöhung der Rohprotein-Gehalte des Getreides (+0,6 % absolut) sowie
- eine Verminderung des Nitratauswaschungspotenzials (ca. 20 %) und bodenbürtiger Lachgasemissionen (ca. 40 %) im Vergleich zu einem System, bei dem Erntereste, Zwischenfrüchte und Klee gras als Gründünger auf der Fläche belassen wurden.

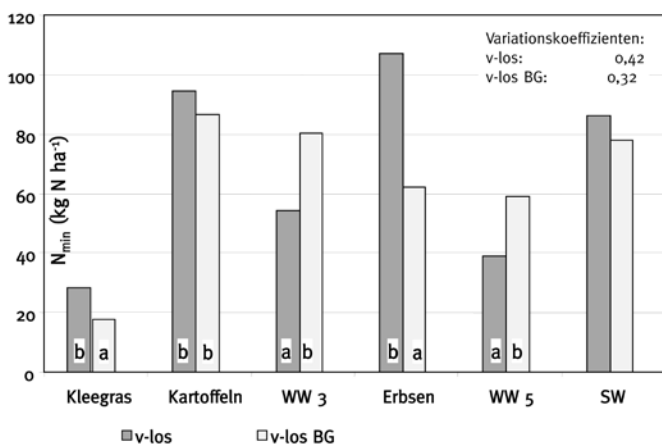


Abbildung 1: N_{min}-Gehalte zu Vegetationsbeginn in einer viehlosen Öko-Fruchtfolge mit (=v-los BG) und ohne (=v-los) Vergärung von Kleegras und Ernteresten (Möller und Stinner 2009)

- Die Ursachen hierfür lagen in höheren N-Inputs via biologischer N₂-Fixierung (Klee gras mulch düngt das Klee gras), in einer gleichmäßigeren N- Bereitstellung innerhalb der Fruchtfolge (Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses mit steigender Düngung zu einer Einzelkultur, siehe Abbildung 1), in einer höheren N-Versorgung der Nicht-Leguminosen zu Lasten der Leguminosen (durch Umverteilung des Stickstoffs innerhalb der Fruchtfolge) sowie in einer höheren N-Wirksamkeit der vergorenen Gärreste im Vergleich zum Ausgangssubstrat (pflanzliche Biomasse).
- Die Vergärung von Ernteresten aus viehlosen Fruchtfolgen ermöglichte somit eine „sichere“ N-Zwischenlagerung während des Winters und eine günstigere Verteilung des Stickstoffs innerhalb des Anbausystems.
- Zugleich wurden die Klimagas- und Energiebilanz des Anbausystems entsprechend positiv beeinflusst.

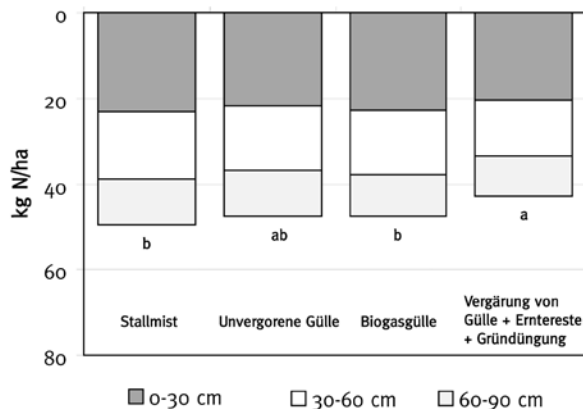


Abbildung 2: Einfluss verschiedener viehhaltender Düngungssysteme mit und ohne Vergärung auf die N_{min}-Gehalte im Boden im Herbst (Möller und Stinner 2009).

Ähnliche Effekte auf einem niedrigeren Niveau können in viehhaltenden Systemen erzielt werden, wenn zum Beispiel Zwischenfrüchte vergoren werden, statt sie als Gründünger auf der Fläche zu belassen. Auch hier zeigen sich z.B. signifikante Wirkungen auf die Nitratauswaschungsgefahr (siehe Abbildung 2).

Was ist mit dem Humushaushalt?

Wie bereits oben dargestellt, werden bei der Biogasgärung vor allem die leicht-abbaubaren Stoffe aus den eingesetzten Substraten abgebaut. Lignin, eines der wichtigsten Ausgangsstoffe für die Reproduktion der organischen Bodensubstanz, kann nur von Pilzen aufgeschlossen werden, dafür ist Sauerstoff nötig. Daher wird das Lignin im Fermenter nicht abgebaut und gelangt über die Gärreste wieder auf die landwirtschaftlichen Flächen. Inkubationsversuche aus Thüringen und Hohenheim belegen, dass sich die „Humuswirkung“ einer vergorenen Gülle nicht von der einer unvergorenen Gülle unterscheidet. Bei einer unvergorenen Gülle werden die leicht-abbaubaren Bestandteile nach Ausbringung innerhalb sehr kurzer Zeit von den Mikroorganismen im Boden abgebaut, unter Bildung von Kohlendioxid. Bei vergorener Gülle sind diese kurzfristigen Effekte viel geringer, am Ende

stehen gleiche C-Mengen für die Humusreproduktion zur Verfügung.

Wird nur Gülle vergoren, so sind kurz- und langfristige Effekte auf die Humusreproduktion im Boden schon deshalb unwahrscheinlich, weil die Gülle nur einen gewissen Anteil des Gesamt-C-Inputs in den Boden ausmacht. Von viel größerer Bedeutung sind die Wurzelreste, die Stoppeln, die Gründüngung und soweit, die bei einer reinen Güllevergärung auf der Fläche bleiben. Zudem wird bei Gülle nur ein relativ geringer Anteil der organischen Substanz abgebaut, weit über die Hälfte des in der Gülle enthaltenen Kohlenstoffs steht weiterhin zur Humusreproduktion zur Verfügung. Relevante Effekte sind vor allem dann denkbar, wenn neben Gülle oder Stallmist auch Erntereste sowie Klee gras oder Zwischenfrüchte, die bislang als Gründüngung in den Boden eingearbeitet wurden, für eine Vergärung geerntet werden. Auch ein Ausbau des Maisanbaues oder ähnlich humuszehrender Kulturpflanzen kann sich massiv auf die Humusbilanz auswirken. Grundsätzlich hilft hier eine gründlich durchgeführte Humusbilanz, um die spezifische Situation am eigenen Betrieb abschätzen zu können. Ergebnisse eines Systemversuchs an der Universität Gießen zeigen zum Beispiel, dass sich die Humusbilanz und die Gesamt-C-Inputs in den Boden bei der Vergärung von Gülle, sämtlicher Erntereste sowie aller Zwischenfrüchte nicht von der eines Stallmistsystems unterscheiden. Der wesentliche Unterschied: im Stallmistsystem treten sehr hohe unproduktive C-Verluste während der Rotte auf, bei der Biogasgärung wird eine entsprechende Menge an Kohlenstoff gezielt zur Energieerzeugung genutzt. Zudem ist die Humusbilanz der großen Mehrheit der Öko-Ackerbaubetriebe in Deutschland im sehr stark positiven Bereich, Versorgungsgrade von 200 bis 300 Prozent sind üblich (es wird dreimal so viel Humus-C zugeführt wie für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit nötig ist). Unter solchen Umständen kann auch eine gewisse relative Verschlechterung problemlos hingenommen werden. Ein möglicherweise langfristig eintretender gewisser Ertragsanstieg als Folge steigender Bodenumumgehalte dürfte viel geringer ausfallen als die bereits kurzfristig erzielbaren Ertragswirkungen einer weitaus gezielteren Düngung, verbunden mit einer höheren Nährstoffausnutzung. Kurzfristige höhere Erträge durch höhere Nährstoffeffizienz wirken sich zudem langfristig positiv auf die Bodenfruchtbarkeit aus, durch Erhöhung der Menge an Ernte- und Wurzelrückständen.

Was ist mit dem Bodenleben?

Die geringere Zufuhr an organischer Substanz (vor allem an leicht abbaubaren Bestandteilen) soll sich negativ auf das Bodenleben auswirken, so ein häufig vorgebrachter Einwand gegen Biogasanlagen. Die vorliegenden Untersuchungen hierzu sind teilweise widersprüchlich. Ergebnisse an den Universitäten Halle und Trier belegen, dass sich die Ausbringung von Biogasgärrückständen wie auch von unvergorener Gülle grundsätzlich positiv auf die mikrobiologische Aktivität im Boden und auf die Abundanz und Biomasse der Regenwürmer auswirkt. Messbare toxische Wirkungen scheinen demnach von Gärresten nicht auszugehen. Allerdings sind den Untersuchungen an der Universität Trier zufolge diese Effekte nach Düngung

von Biogasgärresten signifikant schwächer ausgeprägt als bei Düngung mit unvergorener Gülle, was sich auch auf die Population bestimmter Regenwürmer auswirkte. Untersuchungen aus Gießen konnten nach vier Jahren unterschiedlicher Bewirtschaftung in einem ortsfesten Systemversuch keine Unterschiede in den Gehalten an mikrobieller Biomasse zwischen verschiedenen Systemen mit und ohne Biogasgärung nachweisen. Eine Schwierigkeit bei der Übertragung solcher Ergebnisse in die Praxis besteht darin, dass solche Einzelergebnisse innerhalb eines festen Versuchsrahmens erzielt wurden, die Errichtung einer Biogasanlage häufig allerdings gleich mehrere Veränderungen im gesamten Anbausystem auslösen kann (zum Beispiel Veränderungen im Anbauflächenverhältnis der Kulturpflanzen, im Anbau von Zwischenfrüchten, in der Tierhaltung und so weiter), die in ihrer Komplexität nicht durch solche Versuche abgebildet werden können. Nach den vorliegenden Ergebnissen ist davon auszugehen, dass die alleinige Vergärung von Gülle/Stallmist kaum Auswirkungen auf das Bodenleben auslösen dürfte, da ein Großteil der Inputs von organischer Substanz in den Boden ohnehin von den Wurzeln, den Stoppeln und anderen Ernteresten stammt oder auch aus der Gründüngung. Hinzu kommt, dass die Vergärung der Tierausscheidungen kaum die Gesamtmenge der C-Inputs in den Boden vermindert (geringer Anteil am Gesamt-C-Input, relativ geringer Abbau im Fermenter). Allein die Vergärung der Gründüngung und von Reststoffen in einer Biogasanlage ohne weitere grundlegende Veränderungen des Anbausystems (zum Beispiel Fruchtfolge) dürfte kaum langfristige negative oder positive Auswirkungen auf die mikrobiologische Aktivität im Boden haben; Veränderungen dürften von geringer praktischer Relevanz sein. Auswirkungen auf die Regenwurmpopulationen wären hier jedoch wahrscheinlich. Erst bei stärkeren Eingriffen in das gesamte Anbausystem (zum Beispiel Veränderungen in der Fruchtfolge und im Anbauflächenverhältnis der Kulturpflanzen) ist von breiteren signifikanten Wirkungen auszugehen.

Ob aber selbst eine stärkere Reduzierung/Veränderung des Bodenlebens langfristig die Nachhaltigkeit des Systems wirksam beeinflusst, ist zu bezweifeln. In Öko-Systemen stellen sich stets nach einer gewissen Übergangsbeziehungsweise Umstellungszeit neue Gleichgewichte zwischen dem Angebot an Futter und der Zahl darin vorkommender Lebewesen ein (sofern diese Veränderungen nur durch eine Änderung des Nahrungsangebotes und nicht durch die regelmäßige Einwirkung toxischer Substanzen ausgelöst werden). Durch die Biogasgärung wird ein Teil der Abbauprozesse, die sonst im Boden ablaufen, unter kontrollierten Bedingungen im Biogasfermenter vorweggenommen. Ein Teil der Bakterien im Boden wird schlichtweg nicht mehr in dem Maße gebraucht, um einen effektiven Ab- und Umbau der zugeführten organischen Substanz zu gewährleisten. Spätere Umstellungsprobleme sind jedoch denkbar, wenn – zum Beispiel nach Aufgabe der Biogasanlage – wieder vermehrt die Substanzen dem Boden zugeführt werden, die zuvor im Biogasfermenter abgebaut wurden. Ähnliche Effekte sind auch nach Wiedereinführung der Strohdüngung bekannt: eine

effektive Strohrotte im Boden stellt sich erst nach einigen wenigen Jahren nach Einführung der Strohdüngung wieder ein. Aber selbst ein solcher Rückumstellungs-Effekt bei Aufgabe der Biogasgärung ist eher unwahrscheinlich, da trotz Vergärung dem Boden weiterhin leicht abbaubares organisches Material zugeführt wird, zum Beispiel Wurzeln und Wurzelexudate, Stoppeln, nicht verwertbare Erntereste und so weiter.

Biogasgärung von Reststoffen sehr gut für die Klimabilanz, aber kaum ein Beitrag zur Energieversorgung

Untersuchungen und Berechnungen an der Universität Gießen weisen nach, dass die Klimabilanz eines gesamten Anbausystems je Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche in Stallmistsystemen am schlechtesten ist (siehe Abbildung 3). Dies liegt vorrangig an den starken Emissionen (Lachgas, Methan) aus Stallmiststapeln. Für Güllesysteme wiesen die Berechnungen eine deutlich bessere Klimagasbilanz aus. Die Vergärung von Gülle führt zu einer weiteren Verbesserung der Klimagasbilanz durch Vermeidung von Spurengasemissionen während der Güllelagerung (beispielsweise Methan) und als Folge der Einsparung von fossilen Energieträgern. Noch günstiger ist die Klimagasbilanz, wenn weitere Reststoffe wie Zwischenfrüchte und Erntereste in das Vergärungskonzept integriert werden (Halbierung der Klimaemissionen im Vergleich zur Stallmistvariante).

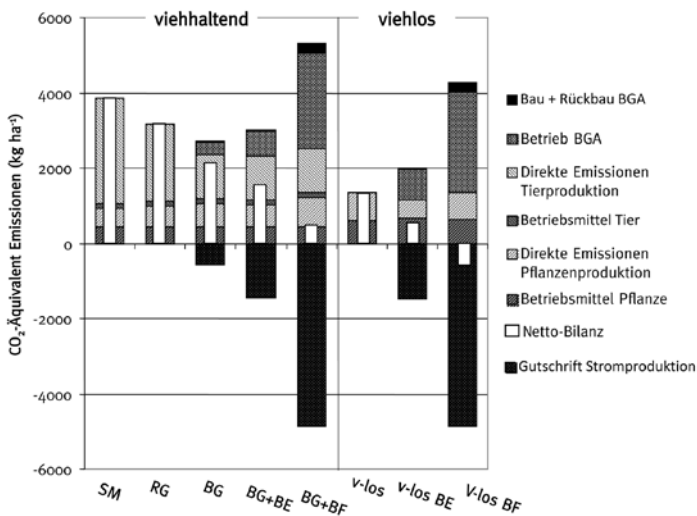


Abbildung 3: Einfluss verschiedener öko-viehhaltender und öko-viehloser Düngungssysteme mit und ohne Biogasgärung auf die flächenbezogene Klimagasbilanz der Bewirtschaftung (SM = Stallmist, RG = Rogülle, BG = Biogasgülle, BG+BE = Vergärung von Gülle + Erntereste, BG+BF = Vergärung von Gülle + Erntereste + betriebsfremde Kosubstrate, v-loS = viehlos, v-loS BG = viehlos mit Vergärung von Kleegras und Erntereste, v-loS BF = viehlos mit Vergärung von Kleegras, Erntereste und betriebsfremde Kosubstrate) (Michel et al. 2010).

Allerdings ist der Beitrag zur Energieversorgung insgesamt bescheiden; Reststoffe (Gülle/Stallmist) von circa einer GV/ ha sind nötig, um den gesamten Energiebedarf der landwirtschaftlichen Produktion (einschließlich der notwendigen Energie zur Erzeugung von Produktionsmitteln wie zum Beispiel Maschinen, Transporte und so

weiter) abzudecken. Auch der Beitrag zur Energieversorgung durch gezielten Anbau von Energiepflanzen zur Vergärung in Biogasanlagen ist unter Effizienzgesichtspunkten im Vergleich zu anderen Verfahren eher bescheiden; Kurzumtriebsplantagen haben etwa den doppelten Netto-Energieertrag. Besonders stark ist der Unterschied zu Freiflächen-Photovoltaikanlagen, die einen 20 bis 30fachen höheren Nettoenergieertrag aufweisen. Weitere positive Effekte der Energieerzeugung durch PV-Anlagen sind eine weiterhin mögliche extensive Grünlandnutzung und durch die ständige Bodenbedeckung eine langfristige Humusanreicherung und die Verhinderung von Erosion.

Biogasgärung ermöglicht den Einsatz von anspruchsvolleren Ausbringungstechniken

Durch die geringeren Trockensubstanzgehalte und die insgesamt geringere Menge an verkleinerten Faser- und Schwebstoffen ist die Fließfähigkeit der Gärreste deutlich höher. Dadurch können eher anspruchsvollere Ausbringungstechniken wie Gülleinjektion eingesetzt werden. Eine Fest-Flüssig-Trennung der Gärreste kann ebenfalls eine sinnvolle Ergänzung zur Biogasgärung darstellen. Dabei entstehen zwei Fraktionen sehr unterschiedlicher Zusammensetzung: ein Fugat mit hohen K- und N-Gehalten (auch hohen Ammonium-N-Anteilen) und ein stallmistähnlicher separierter Feststoff, der besonders zur Ausbringung auf Ackerland geeignet ist, wegen seiner hohen Gehalte an Phosphor (Körnerfrüchte zeichnen sich durch hohe P-Gehalte aus!) und organischer Substanz zur Humusreproduktion. Allerdings können separierte Feststoffe auch sehr hohe Ammonium-N-Anteile enthalten, die bei längerer Lagerzeit oder gar einer gezielten Kompostierung als Ammoniak und Lachgas entweichen können – und damit die Klimabilanz des Betriebes „verhageln“ können. Die „Nachkompostierung“ von Gärresten sollte stets im Boden nach Ausbringung erfolgen – eine Kompostierung in Mieten sollte unbedingt verhindert werden. Zudem wissen wir aus Versuchen mit Stallmist, dass – bezogen auf gleiche Ausgangsmengen – die Humuswirkung von Frischmist höher ist als die von Rottemist. Deshalb bedeutet Nachkompostierung von Gärresten: hohe Emissionen und Nährstoffverluste, geringere Nährstoffausnutzung und damit geringere Erträge sowie eine geringere Humusreproduktion.

Schlussfolgerungen

Die Biogasgärung ist eine sinnvolle Ergänzung in der landwirtschaftlichen Nutzung und passt sehr gut zum Öko-Landbau. Durch Biogasgärung können Klimagasemissionen reduziert werden und ein bescheidener Beitrag zur Energieversorgung geleistet werden. Zudem wird dadurch eine verbesserte Nutzung der im Anbausystem erzeugten Fruchtbarkeit durch eine höhere Nährstoffausnutzung erreicht. Sie ist in gewissem Sinne eine Weiterentwicklung des Kreislaufgedankens, denn durch geschickte Zwischenschaltung einer Biogasanlage können Nährstoffverluste aus organischen Düngern vermieden und die zirkulierenden Nährstoffe durch eine gezieltere N-Düngung (zeitlich wie räumlich) effizienter genutzt werden. Durch die Möglichkeit zur Vergärung von Gründüngungspflanzen besteht ein höherer Anreiz, höhere Anteile an Kleegras

oder Zwischenfrüchte in das Anbausystem zu integrieren. Werden bei Einbeziehung einer Biogasanlage auf den Ackerflächen keine grundlegenden Veränderungen von Fruchtfolge und Bewirtschaftung vorgenommen, dürfen – nach allem was bislang wissenschaftlich gesichert ist – die langfristigen Auswirkungen auf Humushaushalt und Bodenleben eher gering sein. Allerdings sollten die positiven Effekte auf die Erträge, einschließlich der Energieerträge, auch nicht überschätzt werden.

Weiterführende Literatur:

- Eine deutschsprachige Zusammenfassung der Feldversuche in Gießen ist enthalten in: Möller, K., G. Leithold, J. Michel, S. Schnell, W. Stinner und A. Weiske (2006): Auswirkung der Fermentation biogener Rückstände in Biogasanlagen auf Flächenproduktivität und Umweltverträglichkeit im Ökologischen Landbau – Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Gesamtbewertung im Rahmen typischer Fruchtfolgen viehhaltender und viehloser ökologisch

wirtschaftender Betriebe. Abschlussbericht eines durch die DBU geförderten Forschungsvorhabens. Dieser Bericht ist öffentlich zugänglich und abrufbar unter: <http://orgprints.org/10970/>

- Eine deutschsprachige Broschüre zur Optimierung der Gärrestdüngung „Mit Gärresten richtig düngen - Aktuelle Informationen für Berater“ ist zugänglich unter: www.plantnutrition.uni-hohenheim.de

Wissenschaftliche Artikel zu dem Thema in englischer Sprache können beim Autor via Email angefordert werden.

Dr. Kurt Möller, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fachgebiet Düngung mit Bodenchemie, Universität Hohenheim, E-Mail: kurt.moeller@alumni.tum.de

Dr. Kurt Möller, Universität Hohenheim