

Bedeutung von Gärsubstraten aus der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung für die Humusbilanz

G. Leithold

Professur für Organischen Landbau

Justus-Liebig-Universität Gießen

1 Einleitung

Die Verknappung fossiler Rohstoffe zur Energieerzeugung sowie der sich abzeichnende Klimawandel sind maßgebliche Gründe für eine zunehmende Nutzung alternativer Energieträger. Die Erzeugung von Biogas aus Biomasse landwirtschaftlichen und außerlandwirtschaftlichen Ursprungs spielt hierbei eine wesentliche Rolle. Schließlich bietet die Erzeugung von Biogas für viele Landwirte die Möglichkeit, über die Produktion und den Verkauf pflanzlicher und tierischer Marktprodukte hinaus, eine zusätzliche Einkommensquelle zu erschließen. Diese Gründe, überdies unterstützt durch staatliche Fördermaßnahmen im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), haben in den letzten 10 Jahren zu einer deutlichen Zunahme der Anzahl der Biogasanlagen in Deutschland und der Anlagenleistung insgesamt geführt ^[1]. Es ist abzusehen, dass diese Entwicklung weiter anhält.

Mit der Errichtung und Inbetriebnahme einer Biogasanlage in einem landwirtschaftlichen Unternehmen gehen oft erhebliche Veränderungen des Betriebssystems einher. Im Interesse einer ausreichenden Bereitstellung von Biomasse für die Versorgung der Biogasanlagen werden Fruchtfolgen und Düngeregimes verändert, mitunter müssen erhebliche Mengen an Biomasse zugekauft werden.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob und wenn ja, in welchem Ausmaß durch die Vergärung von Biomasse Einfluss auf die Nachhaltigkeit der Pflanzenproduktion insbesondere auf dem Ackerland genommen wird und mit welchen Instrumenten eine solche Beeinflussung analysiert und bewertet werden kann.

Die Fragestellung zielt deshalb auf das Ackerland der landwirtschaftlichen Betriebe ab, weil durch den Anbau insbesondere vor einjährigen Kulturen in oft engen Fruchtfolgen in Verbindung mit Maßnahmen der Bodenbearbeitung und notwendigen Teilbrachezeiten – anders als auf dem Grünland – ein ständiger Prozess des Abbaus an organischer Bodensubstanz (Humus) erfolgt. Der dadurch eintretende Humusverlust muss über die Rückführung an organischer Primärsubstanz (Ernte- und Wurzelrückstände, organische Dünger aus Pflanzenbau und Nutztierhaltung sowie auch aus außerbetrieblichen Quellen) kompensiert werden. Dass der Humus im Rahmen der Nachhaltigkeitsproblematik des Ackerlandes eine zentrale Rolle spielt, wurde vielfach bewiesen und begründet ^[2, 3]. Zu nennen sind seine ackerbaulichen und ökologischen Funktionen, z.B. als Speicher und Transformator von Nährstoffen, als Filter und Puffer für die Entgiftung und Immobilisierung toxischer Substanzen, als CO₂-Senke, die Förderung der bodenbiologischen Aktivität und die damit verbundenen phytosanitären Wirkungen sowie seine Beteiligung am Aufbau eines günstigen Bodengefüges mit positiven Einflüs-

sen auf den Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt des Bodens ^[4]. Mittlerweile gibt es kaum noch Meinungsverschiedenheiten darüber, dass die Funktionen des Humus durch kein anderes Betriebsmittel ersetzt werden können. Offen sind hingegen Fragen zum optimalen Humusvorrat der Böden, zur Quantifizierung des Humushaushaltes – z.B. mit Hilfe der Humusbilanzierung – und zur Bewertung des Einflusses von Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Düngung auf den Humushaushalt.

Insbesondere die Humusbilanzierung hat sich in den letzten Jahrzehnten als geeignetes Instrument zur Analyse und Bewertung des Humushaushaltes der Ackerböden bewährt. Die verfügbaren Methoden wurden und werden ständig vervollkommen. Seitdem die Biogastechnologie verstärkt Einzug in landwirtschaftliche Betriebe gehalten hat, gilt es nun auch, die Biogasgülle in den Humusbilanzen zu berücksichtigen, was erstmals im Rahmen der VDLUFA-Bilanzmethodik 2004 ^[5] erfolgte. Gegenstand zukünftiger Forschung muss es u.a. sein, die unterschiedliche Qualität von Biogasgülle je nach Ausgangssubstrat, Fermentationsverfahren und/oder Aufbereitungsverfahren differenziert auch hinsichtlich ihrer Humuseratzleistung zu bewerten und mit diesem Wissen die Humusbilanzkoeffizienten zu erweitern.

Bereits heute besteht jedoch die Möglichkeit, mit dem verfügbaren Instrumentarium den Einfluss von Biogasanlagen auf den Humushaushalt des Ackerlandes abzuschätzen und Schlussfolgerungen für die zukünftige Entwicklung abzuleiten. Auf damit im Zusammenhang stehende Fragen soll im Weiteren eingegangen werden.

2 Effekte der Vergärung von Biomasse aus Pflanzenbau und Nutztierhaltung

Mit Recht wird heute die Frage gestellt, ob wir mit einseitigen Fruchtfolgen und der kompletten Abfuhr des Aufwuchses, z.B. zur Biogaserzeugung, die Fruchtbarkeit unserer Böden verspielen ^[6]. Wie oben bereits genannt, kann dieser Frage mit Hilfe von Humusbilanzen nachgegangen werden. Das methodische Vorgehen wurde vielfach beschrieben und ist leicht nachvollziehbar ^[5]. Mit Hilfe von Bilanzkoeffizienten werden anbauspezifische Veränderungen fruchtartendifferenziert erfasst. Berücksichtigung findet außerdem die Humusreproduktionsleistung der organischen Materialien, u.a. Biogasgülle, die als organische Dünger auf das Ackerland ausgebracht werden. Schließlich werden die humusabbauenden und humusaufbauenden Effekte saldiert und bewertet. Sofern es um die Bewertung von Effekten der Vergärung innerbetrieblich anfallender Biomasse geht, sollte in folgende Kategorien differenziert werden:

- 1 Vergärung organischer Reststoffe der Nutztierhaltung (Gülle, Stalldung: hier hat bereits ein erster Abbau organischer Substanz im Zuge der Verdauung stattgefunden; die Fermentation in Biogasanlagen wäre ein zweiter Abbauschritt),
- 2 Vergärung organischer Reststoffe des Pflanzenbaus (Koppelprodukte wie Rübenblatt und Stroh, Aufwüchse von Zwischenfrüchten und Flächenstilllegungen, sonstige Reststoffe wie Futterreste, Ausputzgetreide u.Ä.) und Vergärung von speziell für die Biogaserzeugung angebaute Kulturpflanzen (Silomais, Sudangras, Topinambur u.Ä.) sowie
- 3 Vergärung von Grünlandaufwüchsen.

2.1 Effekte der Vergärung von Reststoffen aus der Nutztierhaltung

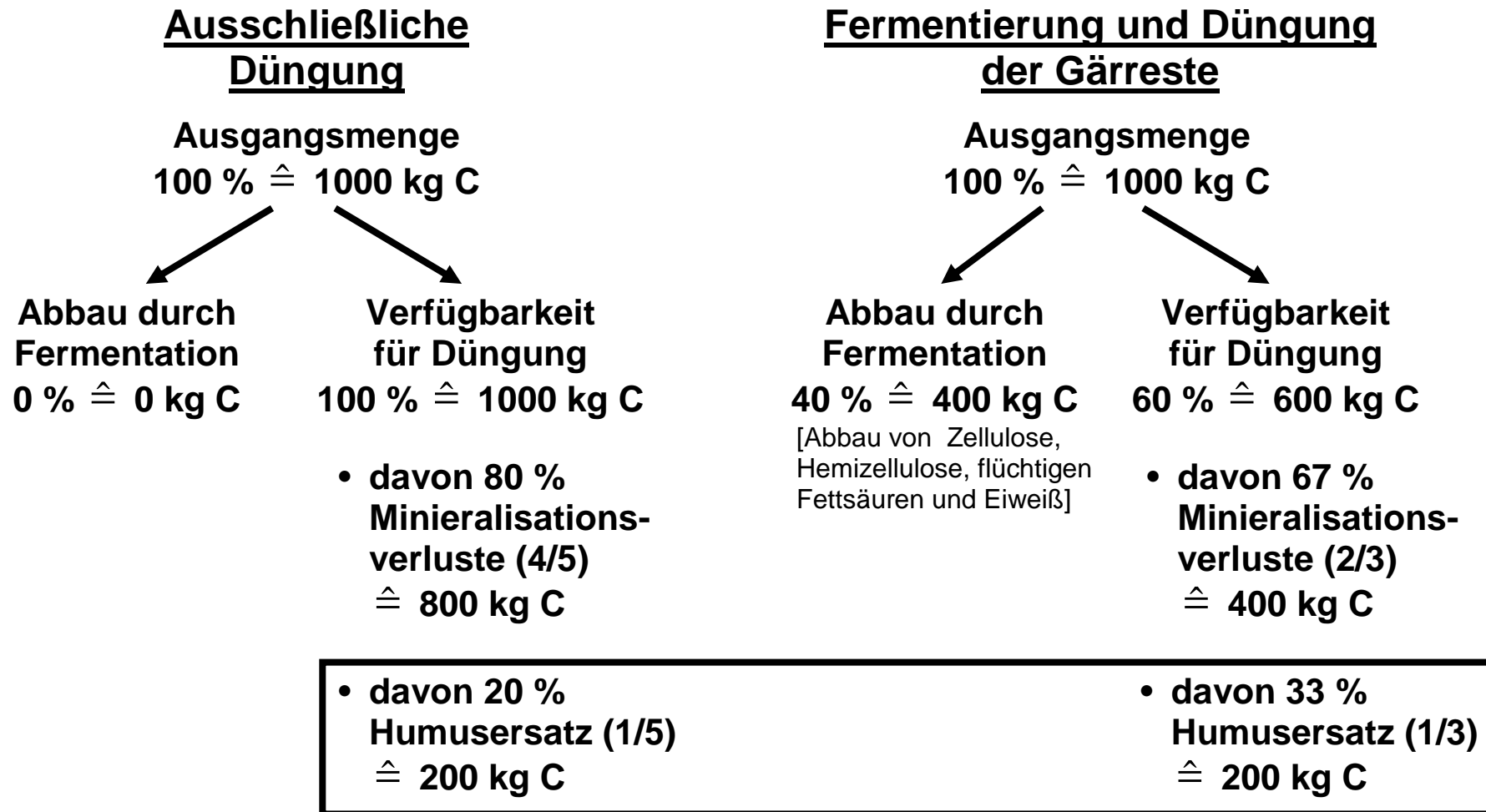
Insbesondere zum Abbauverhalten von Gülle wurden bereits umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. So erfolgt durch den mikrobiellen Abbau im Fermenter eine deutliche Senkung des C-Gehaltes und eine Einengung des C/N-Quotienten des Gärsubstrates, bedingt durch den Abbau von Eiweiß, Zellulose, Hemizellulose und flüchtige Fettsäuren. Lignin bleibt erhalten^[7]. Folglich resultiert daraus eine höhere biologische Abbaustabilität gegenüber Vollgülle^[7, 8]. Im Idealfall wird der C-Verlust infolge Vergärung durch die höhere Humusersatzleistung der Biogasgülle kompensiert (Abb. 1), wie in der Literatur nicht selten nachzulesen ist^[8, 9, 10]. Allerdings wird eingeräumt, dass die Humusersatzleistung von Gärreste-Kohlenstoff zu Humus-Kohlenstoff derzeit noch nicht wissenschaftlich fundiert geklärt ist^[11], so dass die o.g. Übereinstimmung kritisch zu hinterfragen ist. Bereits in den 1980er-Jahren wird über experimentelle Ergebnisse berichtet, demzufolge nach Fermentation und Inkubation von Rinder- und Schweinegülle die C-Verluste durch Vergärung in der Biogasanlage größer waren als die Zunahme der Humussyntheseleistung der Biogasgülle gegenüber der eingesetzten Rohgülle^[12]. Die Autoren bilanzierten für vergorene Rindergülle ein Defizit an reproduktionswirksamer organischer Substanz in Höhe von 10 – 15 % gegenüber Rindervollgülle. Bei vergorener Schweinegülle lag dieses Defizit sogar bei 20 – 25 %.

Nicht ausgeschlossen ist allerdings, dass derartige Defizite über eine höhere Ertragswirksamkeit der Biogasgülle gegenüber Vollgülle teilweise oder ganz ausgeglichen werden. Über eine höhere Ertragswirksamkeit wird in der Literatur häufig berichtet^[7, 13]. Daraus resultierende größere Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen sowie ein größerer Anfall an tierischen Exkrementen – sofern die Mehrerträge als Futter und Einstreu im Betriebssystem verbleiben – könnten hier kompensierend wirken.

2.2 Effekte der Vergärung von pflanzlicher Biomasse des Ackerlandes

Pflanzliche Reststoffe, wie o.g., dienen gewöhnlich in Form von Grün- und Strohdüngung der Humusversorgung des Ackerbodens. Dies ist insbesondere in Marktfruchtbetrieben ohne oder mit nur sehr niedrigem Viehbesatz von Bedeutung. Eine Aberntung und Vergärung dieser Stoffe ist einer Nutzung wie in Gemischtbetrieben mit Rinderhaltung ähnlich, da sich die Stoffwechselprozesse im Pansen von Kühen und in Biogasanlagen gleichen^[14]. Die jeweils anfallende Gülle (Vollgülle oder Biogasgülle) dient dann als mobiler, stickstoffhaltiger und gut wirksamer Dünger, u.a. zur gezielten Nährstoffversorgung der Nichtleguminosen. In eigenen Fruchtfolgeversuchen mit Vergärung der in Frage kommenden Biomasse und Wiederausbringung der Biogasgülle kam es jedoch zu einer erheblichen Verschlechterung des Humusbilanzsaldos gegenüber der Kontrolle (-60 %), jedoch auch zu Ertragsteigerungen^[15]. Aus Sicht des Autors besteht Forschungsbedarf, diese Zusammenhänge insbesondere auf Fruchtfolgeebene sowohl für den konventionellen als auch für den ökologischen Landbau weiter wissenschaftlich zu untersuchen.

Die gezielte Anpassung von ursprünglich reinen Marktfrucht-Fruchtfolgen an die Belange der Biogaserzeugung kann hier zur Verbesserung der Humusversorgung beitragen. Kritisch ist eine solche Anpassung jedoch dann, wenn ursprünglich Marktfrüchte zur Nahrungsmittelerzeugung durch Kulturen zur Biomasseproduktion, z.B. für Biogasanlagen, ersetzt werden. Für Länder wie Deutschland mit erheblichen Nahrungsmittelüberschüssen und Überernährung dürften solche Veränderungen eher problemlos sein. Die jüngere Geschichte hat jedoch gezeigt, dass die Erzeugung von Energie aus Agrar-Rohstoffen anstelle von Nahrungsmitteln erheblich zur Verknappung und Verteuerung von Lebensmitteln insbesondere in der Dritten



Im Idealfall wird der C-Verlust infolge Vergärung durch die höhere Humusersatzleistung der Biogasgülle kompensiert!

Abb. 1: Kohlenstoffverwertung bei unterschiedlicher Güllenutzung

Welt beitragen kann. Es muss also nach Lösungen gesucht werden, die nicht zulasten der Nahrungsmittelerzeugung gehen. Hierzu besteht erhöhter Forschungsbedarf.

Fruchtfolgeanpassungen können, abgesehen von dem o.g. Problem, folgende Effekte auf die Humusbilanz haben:

- 1 Die Ausdehnung des Anbaus stark humuszehrender Kulturen, z.B. Silomais, zulasten weniger stark humuszehrender oder humusmehrender Kulturen (Getreide, Ölfrüchte, Körnerleguminosen) wird den Humushaushalt der Ackerböden stärker belasten;
- 2 Die Ausdehnung humusschonender oder humusmehrender Kulturen (z.B. Leguminosengrasgemenge, Getreide, Zweikulturnutzungssystem) zulasten stark humuszehrender Kulturen (Mais, Rüben, Kartoffeln) wird den Humushaushalt der Ackerböden schonen oder sogar verbessern.

Ggf. negative Effekte einer Vergärung von pflanzlicher Biomasse vom Ackerland können so durch ein planmäßiges, nicht nur auf hohe Energieerträge allein ausgerichtetes Fruchtfolge-management, ausgeglichen werden. Die Humusbilanz hilft, derartige Bewertungen vorzunehmen, obwohl auch hier noch erheblicher methodischer Verbesserungsbedarf besteht (vgl. Pkt. 6). Überdies fehlt es an verlässlichen Aussagen zum Einfluss des Anbaus von Energiepflanzen, die bisher in der landwirtschaftlichen Praxis eher selten oder nicht anzutreffen sind, auf den Humushaushalt des Bodens. Beispielhaft zu nennen wären Sudangras, Topinambur, Durchwachsene Silphie, Miscanthus und Sachalinknöterich. Sollten derartige Pflanzen einen nennenswerten Anbauumfang erlangen, wäre die Ableitung fruchtartendifferenzierter Bilanzkoeffizienten notwendig, um sie bei der Humusbilanz gezielt berücksichtigen zu können.

2.3 Effekte der Vergärung von pflanzlicher Biomasse des Grünlandes

Auf Grünlandstandorten gibt es naturgemäß kein Humusproblem (Dauerbegrünung, Bodenruhe, keine Bodenbearbeitung ...). Folglich ist die Vergärung von Grünlandaufwüchsen und die Ausbringung der Biogasgülle auf das Ackerland für das Grünland nicht von Nachteil; für das Ackerland bedeutet diese eine Verbesserung der Humusversorgung. Auch hier hilft die Humusbilanz zur quantitativen Bewertung der Effekte. Auf diesem Wege wäre auch eine sinnvolle Verwertung von Grünlandaufwüchsen möglich, die infolge Aufgabe der landwirtschaftlichen Produktion ungenutzt bleiben (periphere Region, Sozialbrache ...). Überdies besteht ein hoher landeskultureller Effekt, der ggf. die Inanspruchnahme von Fördermitteln erlaubt. Es bedarf einer betriebswirtschaftlichen Bewertung, ob der Nutzen aus der Biogas-erzeugung und der Nutzen für die Nachhaltigkeit des Ackerlandes die Aufwendungen für Ernte, Transport und Lagerung der Biomasse rechtfertigen. Heute fehlt es jedoch an einer zufriedenstellenden finanziellen Bewertung positiver Effekte der Humusreproduktion (Forschungsbedarf).

Gibt es allerdings einen entgegengesetzten Stoffstrom, nämlich von Biogasgülle aus Aufwüchsen des Ackerlandes auf das Grünland, z.B. im Interesse der Nährstoffversorgung, so wäre dies von Nachteil für die Humusersatzwirtschaft des Ackerlandes.

3 Einsatz betriebsfremder Kofermentate

Neben den betriebsinternen Wirtschaftsdüngern (Gülle, Stallmist ...) werden häufig auch betriebsfremde Kofermentate eingesetzt. Dazu können gehören: Flotatfette, organische Abfälle, Bioabfall aus der Landschaftspflege oder auch Biomasse (z.B. Maissilage) aus anderen landwirtschaftlichen Betrieben. Über die Vielzahl der geeigneten industriellen Reststoffe und die damit im Zusammenhang stehenden Fragen ihrer Vergärbarkeit, Gasausbeute und über sonstige Anwendungsprobleme, wie z.B. eventuell ätzende Wirkung auf den Boden von nicht vollständig ausgefaulter Biogasgülle, ist in der Literatur nachzulesen ^[14].

Aus Sicht der Humusdynamik und der Humusreproduktion der ackerbaulich genutzten Böden der Betriebe, die diese Kofermentate einsetzen und die Biogasgülle auf ihrem Ackerland zu Düngezwecken ausbringen, bedeutet das genannte Vorgehen einen Gewinn, ähnlich wie die Ausbringung von Biogasgülle aus Grünlandaufwüchsen (vgl. Pkt. 2.3). Auch hier hilft die Humusbilanz, die den Humushaushalt fördernde Wirkung quantitativ zu bewerten. Ggf. kann damit eine defizitäre Humusbilanz ausreichend aufge bessert werden. Vorsicht ist jedoch bei bereits ausgeglichener oder überschüssiger Humusversorgung der Böden geboten, da dann N-Überhänge mit negativen Umwelteffekten zu erwarten sind. Im Rahmen der VDLUFA-Bilanzmethode wird empfohlen, die dort definierte Versorgungsstufe C nicht wesentlich zu überschreiten ^[5].

4 Verbesserung des Wirkungsgrades von Biogasfermentern

Es liegt im Interesse eines jeden Anlagenbetriebes, aus den zur Fermentation eingesetzten Wirtschaftsdüngern und Kofermentaten eine maximale Gasausbeute zu erzielen. Es gilt daher, die Biomasse für die Methanbakterien bestmöglich verfügbar zu machen. Mit Hilfe einer Verbesserung der Biogastechnologie (Neuanlage oder Nachrüstung) soll es ermöglicht werden, bisher eher nicht vergärbare Stoffgruppen noch besser für die Methanerzeugung aufzuschließen. So wird z.B. über eine neuartige Form der Hydrolyse mit gleichzeitiger Vorversäuerung außerhalb des Fermenters berichtet ^[16]. Eine gesteuerte Hydrolyse in zwei Batchbehältern soll demnach dazu beitragen, dass bisher nur schwer und oft unvollständig abbaubare Stoffgruppen wie Zellulose und Hemizellulose besser zur Biogasgewinnung beitragen.

Auf diese Weise sind, dem Autor zufolge, Wirtschaftsdünger wie Festmist oder Energiepflanzen mit hohem Zelluloseanteil besser nutzbar. Aus Sicht der Humusreproduktion führt eine verbesserte Vergärbarkeit der eingesetzten Biomasse zu weniger unvergärbaren Reststoffen. Diesem Verlust an Masse dürfte jedoch eine Verbesserung der Humusersatzleistung der verbleibenden Rückstände gegenüberstehen. Ob sich Masseverlust und Humusersatzleistung der verbleibenden Biogasgülle gegenseitig ausgleichen, kann nur vermutet werden und sollte Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen sein (vgl. Pkt. 2.1).

5 Aufbereitung von Biogasgülle

Die Aufbereitung von Biogasgülle wird heute in Erwägung gezogen, um u.a. Transportkosten für Gärreste oder Nährstoffüberschüsse in Regionen mit hoher Tierdichte zu reduzieren ^[17]. Die genannten Autoren beschreiben verschiedene Verfahren der Gärresteaufbereitung, so die Separierung, die Membrantechnik und die Eindampftechnologie und informieren über die Endprodukte, die in Form von gereinigtem Abwasser, Prozesswasser, als flüssige Phase

(Konzentrat), als feste Phase und als Gärrest (nur bei Separierung) anfallen. Am Beispiel eines Modellbetriebes wird gezeigt, dass momentan die Aufbereitung von Reststoffen aus innerbetrieblich gewonnenen Gärsubstraten noch keine arbeits- und betriebswirtschaftlichen Vorteile birgt. Von großem Interesse sind Aussagen über die verbleibenden Reststofffraktionen. Je intensiver die Gärreteaufbereitung, umso weniger pflanzenbaulich verwertbare Reststoffe verbleiben zu Düngezwecken bzw. zu Humusversorgung der Böden. Die Aufbereitung von Reststoffen aus außerbetrieblichen Kofermentaten könnte zukünftig neben der Transport- und Nährstoffproblematik auch aus hygienischer Sicht interessant werden. Dem hygienischen Risiko wird heute bereits große Aufmerksamkeit entgegengebracht ^[18].

Grundsätzlich bedeutet Gärreteaufbereitung eine Verminderung an Masse und im Gegenzug eine zunehmende Konzentration abbaustabiler Stoffgruppen. Inwiefern sich beide Prozesse miteinander aufrechnen, d.h. keine nachteiligen Effekte für den Humusvorrat der Ackerböden entstehen, bleibt bislang ungeklärt (vgl. Pkt. 2.1). Sofern außerbetriebliche Kofermentate vergoren und deren Reststoffe aufbereitet werden, sind auch die Aussagen von Pkt. 3 in die Bewertung einzubeziehen.

6 Spezielle methodische Probleme der Humusbilanzierung

Nicht unwesentlich für eine wirklichkeitsnahe Bewertung von Gärückständen (unabhängig von ihrer Herkunft, Menge, Aufbereitung und Stoffgruppenzusammensetzung) im Rahmen der Humusbilanzierung sind noch offene bzw. nicht eindeutig geklärte Fragen zum Humushaushalt des Ackerlandes. Kontrovers diskutiert werden vor allem Aussagen zu optimalen Humusgehalten der Böden unter verschiedenen Standortbedingungen. Da es bis heute keine verlässlichen Grenzwerte über optimale Humusgehalte gibt, bleibt die Humusbilanz die einzige Möglichkeit einer (indirekten) Einschätzung. Keine einheitliche wissenschaftliche Aussage gibt es überdies zum Bedarf der Ackerböden an organischer Primärsubstanz. Annähernd richtige Informationen darüber sind jedoch essenziell, um die Effekte von Bewirtschaftungsmaßnahmen verlässlich bewerten zu können. Unterschiedliche Methoden führen also zu unterschiedlichen Resultaten ^[6, 19]. Markantes Beispiel für die Problematik ist die Angabe von oberen und unteren Werten zum Bedarf an Humus-C in der 2004 veröffentlichten VDLUFA-Humusbilanzmethode (Tab. 1) ^[5] ohne klare Information darüber, unter welchen Standort- und/oder Anbaubedingungen welche Koeffizientengruppe zur Anwendung kommen soll. Bislang entscheidet jeder Nutzer nach eigenem Ermessen, welche Koeffizientengruppe er für die Humusbilanzierung seines Betriebes nutzt. Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft empfiehlt die Anwendung der oberen Bedarfskoeffizienten ^[19]. Die praktische Anwendung der Methodik wird durch die Bereitstellung eines Excel-gestützten Computerprogramms gefördert und erleichtert ^[20].

Die Beispiele zeigen den bestehenden Bedarf an anwendungsorientierter Grundlagenforschung zur Humusfrage sowie den Bedarf an einer Vereinheitlichung der Bilanzmethode. Spezielle Fragen zur Humusbildung im ökologischen Landbau gilt es mit Ausweitung dieser Wirtschaftsweise ebenfalls zu berücksichtigen, worüber bereits berichtet wurde ^[4, 21, 22].

Tab. 1: Richtwerte für anbauspezifische Veränderungen der Humusvorräte von Böden in Humusäquivalenten (kg Humus-C) ha⁻¹a⁻¹ (Auszug aus ^[5])

(Negative Werte zeigen den erforderlichen Humusbedarf. In Fruchtfolgen können sich positive und negative Veränderungen ganz oder teilweise kompensieren.)

Hauptfruchtarten	kg Humus-C ha ⁻¹ Verlust (-) oder Gewinn (+)	
	untere Werte	obere Werte
Zucker- und Futterrübe, einschließlich Samenträger	- 760	- 1300
Kartoffeln und 1. Gruppe Gemüse/Gewürz- und Heilpflanzen	- 760	- 1000
Silomais, Körnermais und 2. Gruppe Gemüse/Gewürz/Heilpflanzen	- 560	- 800
Getreide einschließlich Öl- und Faserpflanzen, Sonnenblumen sowie 3. Gruppe Gemüse/Gewürz- u. Heilpflanzen	- 280	- 400
Körnerleguminosen	160	240
Bedarfsfaktoren für Zucker- und Futterrüben, Getreide einschließlich Körnermais und Ölfrüchten ohne Koppelprodukte; bei den restlichen Fruchtarten ist die Humusersatzleistung der Koppelprodukte im Humusbedarf berücksichtigt.		

7 Zusammenfassung

Aus Sicht der Humusreproduktion des Ackerlandes wird über Effekte berichtet, die die Er- richtung und der Betrieb von Biogasanlagen in landwirtschaftlichen Betrieben mit sich bringen können. Mit Hilfe von Humusbilanzen können die zu erwartenden Auswirkungen abgeschätzt werden. Dargestellt werden unterschiedliche Szenarien der Bereitstellung von Bio- masse für die Fermentation: Vergärung von organischen Düngern aus der betriebseigenen Nutztierhaltung, von pflanzlicher Biomasse des Ackerlandes und des Grünlandes, der Einsatz betriebsfremder Kofermentate sowie Effekte einer Verbesserung des Wirkungsgrades von Biogasanlagen und einer Biogasgülleaufbereitung. Es werden Aussagen zum bestehenden Forschungsbedarf inkl. Verbesserung der Humusbilanzmethoden vorgenommen.

8 Literatur

- [1] Schüsseler, P. (2008): Zielsetzung des Fachgesprächs „Messen-Steuern-Regeln bei der Biogaserzeugung“. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow (Hrsg.): Gülzower Fachgespräche, Band 27, 8-16
- [2] Sauerbeck, D. (1992): Funktionen und Bedeutung der organischen Substanzen für die Bodenfruchtbarkeit – ein Überblick. Ber. Ldw. SH 206: 13-29
- [3] Dick, W.A.; Gregorich, E.G. (2004): Developing and Maintaining Soil Organic Matter Levels. In: Schjøning, P.; Elmholt, S.; Christensen, B.T.: Managing Soil Quality. CAB International 2004: 103-120

- [4] Leithold, G.; Brock, C.; Hoyer, U.; Hülsbergen, K.-J. (2007): Anpassung der Humusbilanzierung an die Bedingungen des ökologischen Landbaus. In: Bewertung ökologischer Betriebssysteme – Bodenfruchtbarkeit, Stoffkreisläufe, Biodiversität. KTBL-Schrift 458, Darmstadt; 24 – 50
- [5] VDLUFA (2004): VDLUFA-Standpunkt: Humusbilanzierung – Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Selbstverlag. <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/08-humusbilanzierung.pdf>
- [6] Kolbe, H.; Seibt, P. (2008): Damit die Humusbilanz nicht in den Keller rutscht. top agrar, 11, 54-60
- [7] Gutser, H.; Ebertseder, T. (2006): Die Nährstoffe in Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern – ein unterschätztes Potenzial im Stoffkreislauf landwirtschaftlicher Betriebe. In: Verwertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffen in der Landwirtschaft. KTBL-Schrift 444, Darmstadt, 7-22
- [8] Reinhold, G.; Zorn, W. (2008): Eigenschaften und Humuswirkung von Biogasgülle. VDLUFA-Schriftenreihe 64, 1-6
- [9] Reinhold, G.; Klimanek, E.-M.; Breitschuh, G. (1991): Zum Einfluss der Biogaserzeugung auf Veränderungen in der Kohlenstoffdynamik von Gülle. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd., Berlin **35**, 2, 129-137
- [10] Reinhold, G. (1988): Untersuchungen zur großtechnischen Erzeugung und Verwertung von Biogas bei Berücksichtigung der Substratveränderungen. Dissertation. Technische Hochschule Merseburg, Sektion Verfahrenstechnik
- [11] Willms, M. (2008): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow (Hrsg.): Erste Ergebnisse des Verbundprojektes EVA. 59-64
- [12] Asmus, F.; Linke, B.; Dunkel, H. (1988): Eigenschaften und Düngerwirkung von ausgefauler Gülle aus der Biogasgewinnung. Arch. Acker- Pflanzenbau, Bodenkd., Berlin **32**, 8, 527-532
- [13] Jäkel, K.; Wanka, U.; Albert, E. (2002): Wie aus dem Gärrest „Edelgülle“ wird. In: Biogas – Strom aus Gülle und Biomasse. Landwirtschaftsverlag GmbH Münster, 74-77, ISBN 3-7843-3174-2
- [14] Pesta, G.; Meyer-Pittroff, R. (2002): Kofermentate: So vermeiden Sie Fütterungsfehler. In: Biogas – Strom aus Gülle und Biomasse. Landwirtschaftsverlag GmbH Münster, S. 78-83, ISBN 3-7843-3174-2
- [15] Stinner, P.W.; Möller, K.; Leithold, G. (2006): Biogas im ökologischen Pflanzenbau ohne Viehhaltung. In: Möller, K.; Leithold, G.; Michel, J.; Schnell, S.; Stinner, W.; Weiske, A. (Hrsg.): 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. Endbericht Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück – AZ 15074, 121-167. <http://orgprints.org/10970/>
- [16] Düsterhöft, B. (2008): Auch Zellulose abbauen. Neue Landwirtschaft, Heft 3, 68-70
- [17] Döhler, H.; Schliebner, P. (2006): Verfahren und Wirtschaftlichkeit der Gärrestaubbereitung. In: Verwertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffen in der Landwirtschaft. KTBL-Schrift 444, Darmstadt, 199-212
- [18] Philipp, W.; Böhm, R. (2006): Hygienisches Risiko bei anaerober Verwertung von Reststoffen – Risikoverminderung durch Behandlungs- und Überwachungsstrategien. In: Verwertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffen in der Landwirtschaft. KTBL-Schrift 444, Darmstadt, 213-228
- [19] Böse, S. (2007): Stimmt die Humusbilanz? Praxisnah – Fachinformationen für die Landwirtschaft, CW Niemeyer Buchverlage GmbH, Hameln, Ausgabe 1, 2-3
- [20] Excel-gestützte Humusbilanzierung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. www.lfl.bayern.de/iab/bodenschutz/12458
- [21] Leithold, G.; Hülsbergen, K.-J.; Michel, D.; Schönmeier, H.: Humusbilanzierung - Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. In: Initiativen zum Umweltschutz, Bd.5 (1997)S. 43-54, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, Zeller Verlag
- [22] Brock, C., Hoyer, U.; Leithold, G.; Hülsbergen, K.-J. (2008): Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode der Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Abschlussbericht Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bonn – Projekt 03OE084

Prof. Dr. Günter Leithold
Justus-Liebig-Universität Gießen
Professur für Organischen Landbau
Karl-Glöckner-Str. 21 C
35394 Gießen