

# Energiepflanzenanbau – Wirkungen auf Humusbilanz und Stickstoffhaushalt

Matthias Willms, Johannes Hufnagel,<sup>1</sup>  
Frank Reinicke<sup>2</sup>, Bernhard Wagner,<sup>2</sup>  
Christine v. Buttlar<sup>3</sup>

## 1 Einleitung

Bei der Bewertung der Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus auf Boden und Umwelt ist zwischen den Effekten zu unterscheiden, die von Änderungen in der Landnutzung allgemein bzw. von speziellen Verfahren des Anbaus von Energiepflanzen hervorgerufen werden. Nur die systemimmanenten Effekte des Energiepflanzenanbaus können durch die Verfahrensgestaltung des Selben beeinflusst oder gesteuert werden. Ein wesentliches Element welches den Energiepflanzenanbau vom Anbau traditioneller Marktfrüchte unterscheidet, ist die Rückführung von Gärresten. In diesem Artikel soll daher die Wirkung des Anbaus von Energiepflanzen und die Rückführung von Gärresten auf die Umweltindikatoren Humusbilanz und Stickstoffhaushalt näher untersucht werden.

Der Humusgehalt des Bodens ist ein wesentlicher Faktor für die Fruchtbarkeit am Standort. Er beeinflusst die Speicherung und Umsetzung der Nährstoffe, die Wasserhaltefähigkeit, trägt zur Bildung und Erhaltung einer günstigen Bodenstruktur bei und kann als CO<sub>2</sub>-Senke oder -Quelle wirken.

Bei der Produktion von Biogas besteht die Möglichkeit, betriebliche Nährstoffkreisläufe stärker zu schließen, da die Nährstoffe des Erntegutes nach der Vergärung als organischer Dünger zur Verfügung stehen. Für die Nährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium entstehen auf dem Nutzungspfad Erntegut–Biogas–Gärrest–Boden keine Ver-

luste, während bei Stickstoff vor allem gasförmige Verluste auftreten.

In diesem Artikel soll untersucht werden: A) die Wirkung von Energiepflanzen auf die Humusbilanz und welcher Anteil an Gärresten zum Ausgleich der Humusbilanz im Rahmen einer Fruchtfolge gedüngt werden muss. B) Welcher Anteil des Stickstoffes im Erntegut, bei Düngung mit Gärresten wieder zur Verfügung steht.

Für die folgenden Berechnungen wird vereinfachend von einer ausschließlichen Vergärung der angebauten Energiepflanzen ausgegangen, die theoretische Biogasausbeute wird auf Basis von FNR (2006) berechnet, der Gärrest wird gasdicht gelagert und im Rahmen der Fruchtfolge ausgebracht. Die Vergärung von Gülle aus der Tierhaltung wird vereinfachend nicht betrachtet.

## 2 Humusbilanz

Das Prinzip der Humusbilanzierung besteht darin, dem *Humusbedarf* von humuszehrenden Fruchtarten wie Silomais und Getreide, die *Humuszufuhr* gegenüber zu stellen. Eine ausgeglichene Humusbilanz bedeutet, dass der Ertrag, abgeleitet aus Feldversuchen, sein Optimum erreicht. Dabei kann, abhängig vom Ausgangsniveau und der jährlichen Zufuhr organischer Dünger, der Humusgehalt im Boden zunächst steigen oder sinken, um sich dann langfristig auf ein Fließgleichgewicht einzustellen.

Die Humusbilanzen wurden nach der dynamischen Humuseinheiten-Methode (HE-Methode) mit dem Programm REPRO berechnet (LEITHOLD et al., 1997, HÜLSBERGEN, 2003). Alternativ wurde die Methode nach VDLUFA (2004) eingesetzt. Die HE-Methode berücksichtigt im Vergleich zur Methode nach VDLUFA (2004) zusätzlich Ackerzahl, Ertrag und Höhe der Stickstoffdüngung als Eingangsgröße. Dabei wurde vereinfachend von einer Stickstoffdüngung in Höhe der N-Abfuhr, abzüglich der Frühjahrs-N<sub>min</sub>-Werte (0-90 cm) und eines anrechenbaren Anteils der atmosphärischen Deposition ausgegangen.

<sup>1</sup> Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Müncheberg, mwillms@zalf.de

<sup>2</sup> Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung, Halle

<sup>3</sup> Ingenieurgemeinschaft für Landwirtschaft und Umwelt, Göttingen

Eine Einschätzung der Humuswirkung von reinen Nawaro-Gärresten, d. h. der Anteil des organischen Kohlenstoffs im Gärrest, der längerfristig im Humus verbleibt (Humusreproduktions-Faktor), ist aktuell noch in der wissenschaftlichen Diskussion. Nach aktuellem Stand des Wissens reicht die Spanne von „wie unvergorene Gülle tierischer Herkunft“ (0,22) bis zu „besser als Stallmist“ (0,40) wie es GUTSER & EBERTS-EDER (2006) vorschlagen. Dieser erweiterte Ansatz zur Bewertung des Gärrestes wird in Kombination mit der dynamischen HE-Methode eingesetzt.

### Ergebnisse

Die Humuswirkung ausgewählter Energiepflanzen gliedert sich in (vergl. Tab. 1):

- Pflanzen mit sehr hohem Bedarf an Humus-C wie Mais
- Pflanzen mit mittlerem Bedarf wie Getreide oder Sorghumarten
- Leichte Humusmehrer wie Zwischenfrüchte, dazu zählen: Grünschnittroggen, Weidelgras, Ölrettich, Senf
- Starke Humusmehrer wie Klee- oder Luzernegras.

Tab. 1: Anbaubedingte Änderung der Humusvorräte für ausgewählte Energiepflanzen nach dynamischer HE-Methode und nach VDLUFA

Fruchtart	TM-Ertrag t/ha	anbauspezifische Änderung des Humus-C	
		dyn. HE-Methode kg/ha	VDLUFA kg/ha
GPS-Getreide	8,1	-595	-280 bis -400
Silomais	17,6	-969	-560 bis -800
Sorghum (b. x s.)	12,3	-609	-
Sorghum (b. x b.)	9,0	-592	-
Grünschnittroggen	4,8	87	120 bis 160
Einj. Weidelgras	3,7	81	100 bis 150
Klee-, Luzerne-, Ackergras	10,9	829	600 bis 800
zum Vergleich: Getreide Korn	54,3	-542	-280 bis -400
Getreide Korn, Stroh verbleibt auf dem Acker	54,3	-107	179 oberer Wert, 59 unterer Wert

Fruchtfolgen aus in Tab 1 dargestellten Früchten haben bei rein mineralischer Düngung einen negativen Humussaldo. Eine Ausnahme bilden Fruchtfolgen mit mehr-

jährigem Klee-, Luzerne- oder Ackergras. Dieses Furchtfolgeglied führt zu einer starken Humusmehrung und kann daher als Sanierungsfrucht eingesetzt werden.

Zu fragen ist, in welchem Maß Gärreste zurückgeführt werden müssen, um ausgeglichene Humusbilanz-Salden (Saldengruppe B, niedrig bis D hoch) zu erzielen. Abb. 1 zeigt am Beispiel der Fruchtfolge Sudangras, Grünschnittroggen, Silomais, Triticale (GPS), Einjähriges Weidelgras und Winterweizen (Korn), die Salden der Humusbilanz in Abhängigkeit der Stickstoffversorgung durch den Gärrest. Dabei entspricht eine Stickstoffversorgung von 72 % einer vollständigen Rückführung der Gärreste auf ihre Anbaufläche (s. Stickstoffhaushalt).

In der Variante „ohne Gärrest“ sind die Humussalden dieser Fruchtfolge auf allen Standorten „sehr niedrig“ und damit nicht nachhaltig (Abb. 1). Wie tief die Humussalden im Bereich der Saldengruppe A liegen, ist abhängig von Ackerzahl und TM-Ertrag. Die Varianten mit Gärrestdüngung zeigen, dass bei steigender Ackerzahl und in Folge dessen steigenden Erträgen und Gärrestmengen, mehr organische Substanz zur Humusreproduktion zur Verfügung steht. In der Variante „50 % Stickstoff aus Gärrest“ ( $N_t$  des Gärrestes), werden ab einer Ackerzahl von 47 Humussalden der Gruppe B–E erzielt. In der Variante mit 72 % Stickstoff aus Gärrest (1 : 1 Rückführung auf die Anbaufläche), erreichen schon die Standorte ab einer Ackerzahl von 31 die Saldengruppen B–D. Zu berücksichtigen ist dabei der durch Balken gekennzeichnete Unsicherheitsbereich durch Verwendung unterschiedlicher Humusreproduktions-Faktoren. In der Variante 100 % Stickstoff aus Gärrest findet eine Konzentrierung der Gärreste statt, d. h. die Ausbringungsfläche ist kleiner als die Anbaufläche. Die Ergebnisse zeigen, dass ab Ackerzahl 47, sehr hohe Humussalden in den Saldengruppen D–E erzielt werden. Langfristig führen Humussalden in diesen Klassen zu einem erhöhten Mineralisierungspotenzial des Bodens, in dessen

Folge die Nitratauswaschung steigen kann. Eine Konzentrierung der Gärreste kann weiter zu Überschüssen in der Stickstoff-

bilanz führen, welche ebenfalls das Nitratverlagerungsrisiko steigert.

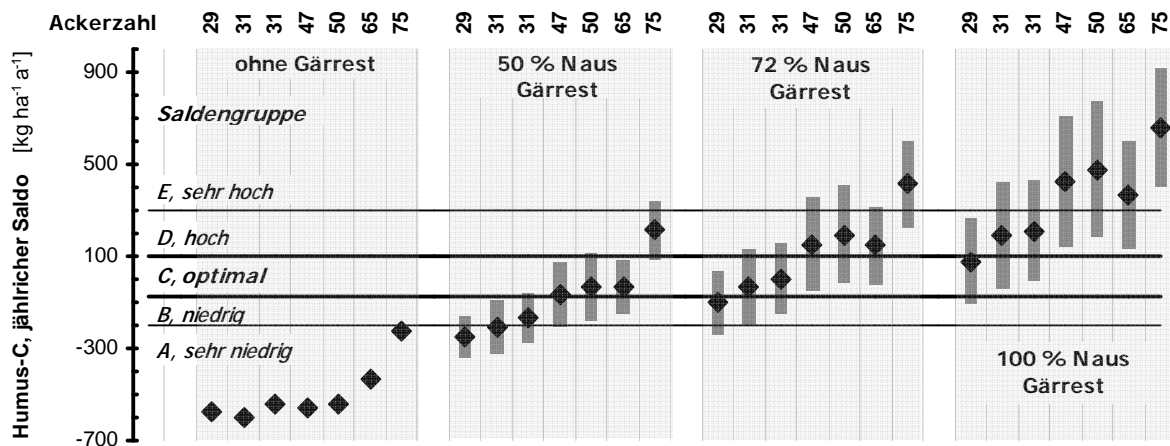


Abb. 1: Humussalden einer an 7 Standorten einheitlich angebauten Fruchtfolge mit Energiepflanzen.

Balken zeigen den unsicheren Bereich des Humussaldos; A, B, C, D, E kennzeichnen die Gruppen der Humussalden, Methode: Fruchtarten nach dyn. HE-Methode, Gärrest n. Gutser u. Ebertseder.

### Fazit

Ohne die Düngung von Gärresten oder anderen organischen Düngern liegen die Humussalden der geprüften Fruchtfolge in Gruppe A und damit nicht nachhaltig. Dies lässt sich auch auf typische Fruchtfolgen mit Energiepflanzen verallgemeinern. Mit Ausbringung von Gärresten können ausgeglichene Humusbilanz-Salden erreicht werden. Welche Mengen an Gärresten dafür ausgebracht werden müssen, hängt von den zugrunde gelegten Humusreproduktions-Faktoren ab. Deren Höhe befindet sich derzeit noch in der wissenschaftlichen Diskussion, die dargestellten Ergebnisse sind daher als vorläufig zu bewerten.

Sicher ist, dass auf Standorten mit leichteren Böden und geringeren Erträgen die Humussalden, bedingt durch niedrigere Erträge und in Folge dessen kleinerer Gärrestmengen, niedriger sind.

Generell sinkt der Humussaldo auf Ackerflächen durch den Export von Gärresten, Gärrestfraktionen oder die Erhöhung der Biogasausbeute. Der Saldo steigt durch Kohlenstoffimport mit Futtermitteln, dem Vergären von Grünlandaufwuchs und von betriebsfremden Ko-Substraten, dem

Ackerfutter- und Zwischenfruchtanbau so wie dem Wechsel von Energiepflanzen mit Druschfrüchten bei denen das Stroh auf dem Feld verbleibt. Generell besteht hier ein Zielkonflikt, da eine Erhöhung des Humussaldos auch zu einer Erhöhung des Stickstoffsaldos führt. Bei steigenden Stickstoffsalden, wächst die Gefahr des Nitrataustrages mit dem Sickerwasser.

### 3 Stickstoffhaushalt

Im Folgenden soll in einer isolierten Betrachtung der Anbauflächen für Biogassubstrate untersucht werden, welcher Anteil des Stickstoffs im Erntegut, mit Gärresten zurückgeführt wird. Abb. 2 zeigt am Beispiel von Silomais den Zusammenhang von Stickstoffabfuhr mit dem Erntegut und der Stickstoff-Düngewirkung der Gärreste bei vollständiger Rückfuhr der Gärreste auf die Anbaufläche. Vom Erntegut werden nacheinander Silierverluste (15 %) und Ausbringungsverluste (15 %) abgezogen. Damit werden 72 % des Stickstoffs im Erntegut bodenwirksam. Stickstoff aus organischem Dünger ist nicht in gleicher Weise ertragswirksam wie Mineraldünger. Unter Praxisbedingungen ist für Gärreste ein Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) von 70 % realis-

tisch. Mit diesen Annahmen sind rund 50 % des Stickstoffs im Erntegut als mineraldüngeräquivalent im Gärrest zu bewerten.

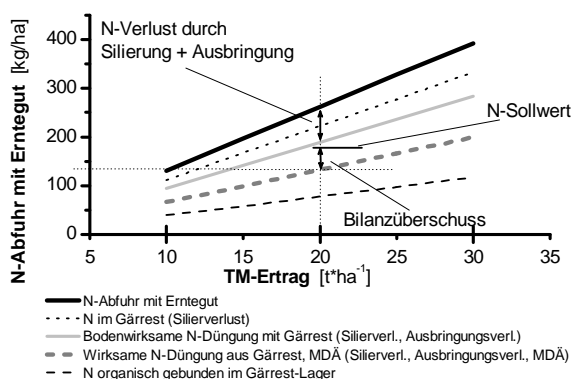


Abb. 2: Stickstoffmengen im Erntegut und im Gärrest in Abhängigkeit vom Silomaisertrag

Unter Berücksichtigung des  $N_{\min}$ -Wertes im Frühjahr, der Ertragserwartung, dem Sollwert zur Stickstoffdüngung und dem zur Verfügung stehenden Gärrest, kann die zusätzliche mineralische Düngung berechnet werden. Zu beachten ist, dass die bei der Düngplanung derzeit nicht berücksichtigten gasförmigen Stickstoffverluste und der als „nicht mineraldüngeräquivalent“ bewertete Stickstoff auf jeden Fall ökologische Relevanz haben.

### Fazit

Wegen des vergleichsweise hohen Mineraldüngeräquivalents von Gärresten ist die Verwertung durch die angebauten Fruchtarten hoch so dass Mineraldünger substituiert werden kann. Für eine effiziente Verwendung der Gärreste unter Berücksichtigung der Zeitspannen des Nährstoffbedarfs der Fruchtarten, sind ausreichende Lagerkapazitäten notwendig. Gesetzlich sind 6 Monate vorgeschrieben, je nach Anteil an Sommerkulturen in der Fruchtfolge können jedoch bis zu 10 Monate Lagerkapazität notwendig sein.

Aus Sicht der Stickstoffbilanz ist insbesondere bei zusätzlichen Nährstoffimporten in den Betrieb, z. B. über Futtermittel, eine Verteilung der Gärreste auf alle zur Verfügung stehenden Früchte (Energiepflanzen, Futterbau, Marktfrüchte) dringend zu empfehlen. Dadurch können die vorhandenen Verteilungsspielräume optimal aus-

genutzt werden. Zu Konflikten kann es dann kommen, wenn schon durch hohe Güllemengen aus der Tierhaltung die Einhaltung der GV Grenzen schwierig ist und durch den Biogasprozess weitere organische Substanz durch Nawaro-Gärreste oder Gülleimport in die Region hinzukommen.

Neben einer Begrenzung der Gärrestmengen je Flächeneinheit führt auch der Export von Gärresten (Separierung/Pelletierung) zu einer Senkung der betrieblichen Stickstoffsalden und damit zu einer Verringerung des Nitrat-Auswaschungsrisikos. Mit dem Export von organischer Substanz können allerdings Zielkonflikte mit der Humusbilanz entstehen.

## 4 Danksagung

Wir danken der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) für die finanzielle Förderung des Verbundprojektes „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen von Energiepflanzen (EVA)“.

## 5 Literatur

- FNR (Hrsg.), 2006: Handreichung Biogasgewinnung und -Nutzung, 3. Aufl., Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 232 S.
- GUTSER, R., & EBERTSEDER, T., 2006: Die Nährstoffe in Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern – ein unterschätztes Potenzial im Stoffkreislauf landwirtschaftlicher Betriebe, S. 7 - 22. In: Bewertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern in der Landwirtschaft – Nutzen und Risiken, KTBL-Schrift 444, 275 S.
- HÜLSBERGEN, K.-J., 2003: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme, Habil., Shaker, 257 S.
- LEITHOLD, G., HÜLSBERGEN, K.-J., MICHEL, D., SCHÖNMEIER, H., 1997: Humusbilanzierung – Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. In: DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT (Hrsg): Umweltverträgliche Pflanzenproduktion – Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Zeller Verlag, Osnabrück, S. 43-55.
- VDLUFA STANDPUNKT HUMUSBILANZIERUNG 2004, Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland, 12 S., Bonn; [www.vdlufa.de/vd\\_00.htm?2](http://www.vdlufa.de/vd_00.htm?2), Zugriff am: 28.10.2005.