

# Feld & Stall

## Humusbilanzen und Humusversorgung

### Untersuchungen in einem Netzwerk der Pilotbetriebe

Kurt-Jürgen Hülsbergen,  
Harald Schmid,  
Lehrstuhl für Ökologischen  
Landbau und Pflanzen-  
bausysteme, Technische  
Universität München,  
Liesel-Beckmann-Straße 2,  
85350 Freising



\*Biologisch-Dynamische  
Landwirtschaft von  
H. H. Koepf, B. D. Petterson  
und W. Schaumann,  
Ulmer, Stuttgart 1974

Im ökologischen Landbau gibt es eine große Wertschätzung für den Humus als Grundlage der Bodenfruchtbarkeit und der Ertragsbildung. So schreiben Koepf, Petterson und Schaumann im Lehrbuch zur Biologisch-dynamischen Landwirtschaft (1980): „Der fortgesetzte Umsatz der organischen Substanz ist die Quelle der Bodenfruchtbarkeit. Es ist das Ziel, den Humusgehalt über einen bestimmten Sollwert anzuheben. Oberhalb desselben kommen unharmonische Pflanzenernährung, Mangelerscheinungen, mangelnde Struktur- bildung kaum vor, die Pflanze bleibt gesund.“\* Die vielfältigen Funktionen des Humus sind in der Übersicht unten dargestellt, wobei

nur auf die wichtigsten Aspekte eingegangen wird.

Die Entwicklung des ökologischen Landbaus der letzten Jahre war mit Veränderungen der Betriebsstrukturen (stärkere Spezialisierung, Umstellung auf viehlosen Marktfruchtbau, getreidebetonte Fruchtfolgen mit geringem Kleegehalt) und der Düngung (Einsatz von Biogasgülle) verbunden. Ist unter diesen Bedingungen eine ausreichende Humusversorgung gewährleistet? Auch die energetische Nutzung von Biomasse muss unter dem Aspekt der Humusversorgung bewertet werden. Aus der landwirtschaftlichen Praxis gibt es viele Fragen zur Humusbilanzierung. Es existieren unterschiedliche Humusbilanzmethoden. Aber sind sie auch für den ökologischen Landbau geeignet?

Das Netzwerk der Pilotbetriebe, das 40 ökologische und 40 benachbarte konventionelle Betriebe in Deutschland umfasst, bietet die Möglichkeit, die Humusversorgung von Ackerböden auf unterschiedlichen Standorten in Betrieben mit und ohne Milchviehhaltung zu untersuchen. In Bezug auf den Kohlenstoffkreislauf und Humusbilanz bearbeiten wir u.a. folgende Fragen:

- Wie ist die derzeitige Humusversorgung unserer Ackerböden? Unter welchen Bedingungen kann es in ökologischen Betrieben zur Humusunterversorgung und zum Humusabbau kommen?

- Welchen Einfluss haben die Betriebsstrukturen (Fruchtfolge, Tierbesatz, Biogasanlagen) auf die Humusbilanz?
- Ist die Kohlenstoffbildung durch Humusaufbau eine relevante Größe in der Treibhausgasbilanz?
- Durch welche Maßnahmen kann die Humusversorgung optimiert werden?

Um die Ergebnisse schnell in die Praxis zu überführen, arbeiten wir eng mit Betriebsberatern zusammen. Im Projekt wurde ein einfach anzuwendender, praxistauglicher Humusbilanzrechner erarbeitet, der kostenfrei bereitgestellt wird.

### Dynamische Humusbilanz und Kohlenstoffflüsse

Auf der Grundlage von Bewirtschaftungs- und Standortdaten wurden die Humusbilanzen jedes Pilotbetriebes detailliert untersucht. Wir verwenden die Methode der „dynamischen“ Humusbilanz, bei der die Bilanzparameter in Abhängigkeit von Standortbedingungen, Fruchtart, Nutzungsdauer, Ertrag, Düngung und weiteren Einflussfaktoren berechnet wird. Darüber hinaus berechnen wir betriebliche Kohlenstoffflüsse, also nicht nur den C-Umsatz im Boden, sondern alle wichtigen C-Flüsse und C-Pools im System Boden-Pflanze – Tier – Umwelt (z.B. die klimarelevanten Methan- ( $\text{CH}_4$ )-Emissionen, Küstermann et al. 2008, Hülsbergen & Rahmann

#### Ackerbauliche und ökologische Funktionen des Humus

**Speicher und Transformator von Nährstoffen:** Im Humus sind Stickstoff, Schwefel und Phosphor gebunden, der Humus-Pool enthält 95 bis 98 % des Stickstoffs des Bodens. Humus verbessert die Nährstoffnachlieferung und Nährstoffausnutzung.

**Kohlenstoffspeicher:** Humus besteht zu etwa 60 % aus Kohlenstoff (C). Bei einem C-Gehalt von 1 % (= 1,7 % Humusgehalt) sind im Oberboden etwa 45 t C/ha gebunden. Beim Humusaufbau kommt es zur C-Speicherung und  $\text{CO}_2$ -Bindung aus der Atmosphäre.

**Förderung der bodenbiologischen Aktivität:** Erhöhter mikrobieller Umsatz und Besiedlung durch die Bodenfauna bei guter Humusversorgung. Damit sind phytosanitäre Wirkungen verbunden sowie positive Effekte auf den Stoffumsatz und das Bodengefüge.

**Aufbau eines günstigen Bodengefüges:** Humuszufuhr fördert die Aggregatstabilität und Bodendurchlüftung, verbessert die Wasserspeicherung und Durchwurzelbarkeit, vermindert die Bodenerosion durch geringere Verschlammungsneigung, höhere Infiltrationsrate und geringeren Oberflächenabfluss. Die Gefahr der Bodenschadverdichtung kann bei optimaler Humusversorgung reduziert werden.

2013). Wir präsentieren hier die neuesten Untersuchungsergebnisse aus dem Forschungsbericht 2015 (Schmid & Hülsbergen 2015).

### Ergebnisse: Ökobetriebe schneiden bei Humusbilanz besser ab

Die Humusbilanzen (Tab. 1) zeigen eine unterschiedliche Humusversorgung der ökologischen und konventionellen Betriebe sowie der Marktfrucht- und Milchviehbetriebe. Der höchste Humussaldo, 282 kg C/ha, wurde im Mittel der ökologischen Milchviehbetriebe, der geringste (-158 kg C/ha) in den konventionellen Marktfruchtbetrieben festgestellt. Der Humussaldo gibt näherungsweise an, wie sich die Humusvorräte der Böden in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung verändern werden. Der Wertebereich zwischen 0 und 300 kg C/ha gilt unter ökologischen Bedingungen als optimal. Negative Humusbilanzen sollten unbedingt vermieden werden, weil dies langfristig zu abnehmenden Humusgehalten, zur negativen Beeinflussung wichtiger Bodenfunktionen und des Ertragspotenzials führen kann.

Die bilanzierte Humusanreicherung in den ökologischen Milchviehbetrieben ist auf den Düngeranfall (Stalldung, Gülle) der Tierhaltung (Ø 0,9 GV/ha) in Kombination mit den hohen Kleeanteilen der Fruchtfolgen (Ø 40 %) zurückzuführen. Kleeergrasanbau führt – je nach Ertragsniveau – zum Humusaufbau und zur Kohlenstoffbindung von etwa 500 bis 1000 kg C/ha. In den Marktfruchtbetrieben erfolgt die Humuszufuhr vor allem durch Stroh- und Gründüngung. Im Mittel der ökologischen Marktfruchtbetriebe ist von einer ausgeglichenen Humusbilanz auszuge-



W. Grube

hen. Allerdings gibt es ökologische Marktfruchtbetriebe mit negativem Humussaldo (bis -282 kg C/ha), in denen Optimierungsbedarf besteht, z. B. durch eine Anpassung der Fruchtfolge, verstärkten Zwischenfruchtanbau, ggf. auch durch Zukauf organischer Dünger. Für die konventionellen Betriebe wurden negative Humussalden berechnet. Diese Betriebe weisen relativ hohe Getreide- und/oder Hackfruchtanteile auf; Leguminosen werden derzeit kaum angebaut. In den konventionellen Milchviehbetrieben ist die Humusbilanz trotz des hohen Tierbesatzes (Ø 1,4 GV/ha) negativ, vor allem aufgrund des hohen Hack-

frucht- und Maisanteils (Ø 33 % des Ackerlandes).

Die C-Bindung durch Humusaufbau bzw. die CO<sub>2</sub>-Abgabe durch Humusabbau (berechnet mit Humusbilanzen) hat nach unseren Untersuchungen starken Einfluss auf die Treibhausgasbilanz des Pflanzenbaus. Mit steigender C-Bindung im Humus gehen die flächenbezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen zurück (Abb. 1). Die C-Bindung liegt in den ökologischen Betrieben im Wertebereich von etwa -250 bis 500 kg C/ha, in den konventionellen Betrieben zwischen -600 bis 300 kg C/ha.

Auf den Humus kommt es an – gerade bei Biobetrieben: Humushorizont einer Schwarzerde.

Kennzahl	Ökologische Betriebe		Konventionelle Betriebe	
	Marktfrucht n = 13	Milchvieh n = 19	Marktfrucht n = 13	Milchvieh n = 19
<b>Betriebsgruppe</b>				
<b>Kennzeichnung der Betriebssysteme</b>				
Tierbesatz (GV/ha)	0	0,9	0	1,5
Kleeergras (% AF)	20	40	3	10
Körnerleguminosen (% AF)	10	4	0	1
Hackfrüchte, Silomais (% AF)	8	8	14	33
<b>Humusbilanz</b>				
Humusbedarf	-518	-428	-646	-677
Humusmehrerleistung <sup>1</sup>	196	371	17	109
Stroh- und Gründüngung	208	91	367	127
Stalldung	61	156	10	155
Gülle	41	89	13	178
Sonstige organische Dünger	46	4	81	1
<b>Saldo</b>	<b>35</b>	<b>282</b>	<b>-158</b>	<b>-108</b>

Tabelle 1: Humusbilanz (kg C/ha) im Mittel der Ackerflächen der Pilotbetriebe

<sup>1</sup> Humusanreicherung durch mehrende Fruchtarten, z.B. Leguminosen (Luzerne-Kleeergras)

# Feld & Stall

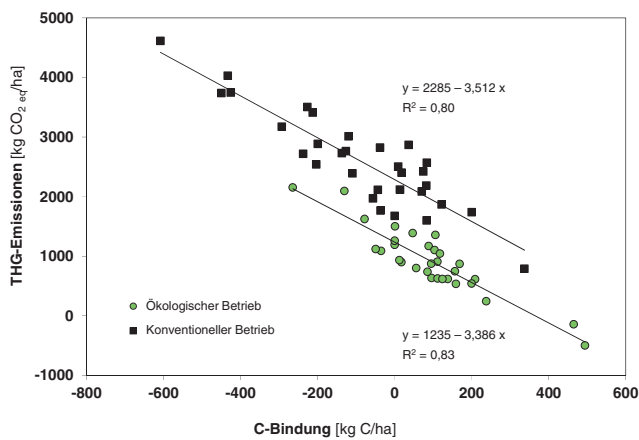


Abbildung 1:  
Beziehung zwischen der C-Bindung im Humus (Humusaufbau bzw. Humusabbau) und den flächenbezogenen Treibhausgas-(THG)-Emissionen des Pflanzenbaus (angegeben in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je Hektar)

In den CO<sub>2</sub>-Emissionen (angegeben als CO<sub>2</sub>-Äquivalente) sind auch die Lachgas- (N<sub>2</sub>O)-Emissionen aus den Böden sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Einsatz fossiler Energie in den Produktionsverfahren berücksichtigt. Bei gleicher C-Bindung im Boden wurden für die konventionellen Betriebe höhere flächenbezogene Treibhausgasemissionen berechnet (siehe Regressionsfunktionen in Abb. 1), dies ist vor allem auf den energieintensiven Mineralstickstoff- und Pflanzenschutzmitteleinsatz und dadurch bedingte zusätzliche Emissionen zurückzuführen.

Einige Ökobetriebe mit positiver Humusbilanz wirtschaften CO<sub>2</sub>-neutral, d. h. die Emissionen durch den Einsatz fossiler Energie sowie durch die N<sub>2</sub>O-Freisetzung der Böden werden durch die CO<sub>2</sub>-Rückbindung im Humus kompensiert. In den Betrieben mit den höchsten Treibhausgaspotenzialen sind die Böden eine CO<sub>2</sub>-Quelle (negative Humusbilanz). Aufgrund des unterschiedlichen

Ertragsniveaus sind bei den produktbezogenen Treibhausgasemissionen (je Getreideeinheit, GE) die Unterschiede zwischen den ökologischen und konventionellen Betrieben geringer. Im Mittel ermitteln wir folgende Emissionen:

- ökologische Marktfruchtbetriebe: 31 kg CO<sub>2</sub>eq/GE;
- ökologische Milchviehbetriebe: 18 kg CO<sub>2</sub>eq/GE;
- konventionelle Marktfruchtbetriebe: 34 kg CO<sub>2</sub>eq/GE;
- konventionelle Milchviehbetriebe: 33 kg CO<sub>2</sub>eq/GE.

## Fazit: Humus betrieblich bilanzieren!

Jeder Landwirt sollte in der Lage sein, die Humusversorgung seiner Böden mit praktikablen Methoden einzuschätzen. Dies ist eine Voraussetzung, um durch geeignete Maßnahmen Einfluss auf die Humusgehalte nehmen zu können. Wir empfehlen die Verwendung des Humusbilanzrechners (siehe Info-Kasten), weil diese Methode für den ökologischen Landbau gut geeignet ist. Unsere Untersuchungen zeigen deutliche Unterschiede der Humusversorgung – nicht nur zwischen ökologischen und konventionellen Betrieben, sondern auch innerhalb der Gruppe der Ökobetriebe. Ursachen sind sehr unterschiedliche Strukturen und Düngungssysteme, die Humusbedarf und Humuszufuhr deutlich beeinflussen. Für einige Betriebe besteht hier Optimierungsbedarf.

Nachdenklich sollte uns stimmen, dass nach statistischen Auswertungen (z. B. in Bayern, Vockinger 2013) immer mehr Ökobetriebe viehlos wirtschaften, mit Kleeerasanteilen

## Humusbilanzrechner

Der Humusbilanzrechner ist ein für ökologische und konventionelle Betriebe gleichermaßen geeignetes Excel-Tool zur schnellen und einfachen, überschlägigen Kalkulation der Humusversorgung von Ackerböden auf Betriebs-, Fruchtfolge- und Schlägebene. Der Bilanzrechner benötigt nur wenige Eingangsdaten zu den angebauten Fruchtarten, zu Erträgen und Düngung. Er kann unter <http://www.pilotbetriebe.de/wissenstransfer.php> heruntergeladen werden.

von nur noch Ø 10 %. Unter diesen Bedingungen ist es außerordentlich schwierig, eine ausgeglichene Humusbilanz zu erreichen, oft nur durch Zufuhr organischer Substanz aus anderen Betrieben. Milchvieh- und Gemischtbetriebe haben im Mittel eine wesentlich bessere Humusversorgung aufgrund des betrieblichen Kohlenstoffkreislaufes – Schlüsselfaktoren sind hohe Kleeerasanteile und die Düngung mit hochwertigem Rindermist mit hoher Humusreproduktionsleistung.

Die C-Bindung von Böden ist nach unserer Auffassung eine wichtige Größe der Treibhausgasbilanz, insbesondere beim Vergleich ökologischer und konventioneller Betriebe. Hierbei ist zu beachten, dass die C-Bindung durch Humusaufbau mengenmäßig und zeitlich begrenzt ist. Die Anreicherung erfolgt bis zur Einstellung neuer bewirtschaftungsabhängiger C-Fließgleichgewichte. Nach Ergebnissen aus Dauerfeldexperimenten werden Fließgleichgewichte nach vorangegangenen Bewirtschaftungsänderungen aber erst nach mehreren Jahrzehnten erreicht. ●

## Literatur

HÜLSBERGEN K.-J., RAHMANN G. (Hrsg.) (2013): Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme - Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 412 Seiten, Thünen Report 8. • KÜSTERMANN B., KAINZ M., HÜLSBERGEN K.-J. (2008): Modeling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23, 38-52. • SCHMID H., HÜLSBERGEN K.-J. (2015): Treibhausgasbilanzen und ökologische Nachhaltigkeit der Pflanzenproduktion – Ergebnisse aus dem Netzwerk der Pilotbetriebe. In: HÜLSBERGEN K.-J., RAHMANN G. (Hrsg.) (2015): Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Abschlussbericht. Technische Universität München, Johann Heinrich von Thünen-Institut. • VOCKINGER F. (2013): Analyse der Flächenentwicklung, Anbaustrukturen und Fruchtfolgen ökologisch bewirtschafteter Ackerflächen Bayerns auf der Basis agrarstruktureller Daten. Bachelorarbeit, TU München