

Humusversorgung im ökologischen Landbau: Analyse und Bewertung des Humushaushaltes mit Hilfe von Humusbilanzen

Günter Leithold

1. Die Bedeutung der Humusvorräte für die Ertragsbildung

Ein maßgebliches Ziel ökologischer Wirtschaftsweise ist die Realisierung einer hohen naturveranlagten Bodenfruchtbarkeit, die wesentlich vom Humusvorrat im Boden sowie den mikrobiell bedingten Umsetzungsprozesse getragen wird. Der Humusvorrat unterliegt in Abhängigkeit von der Bodennutzung bewirtschaftungsbedingten Veränderungen. Im Interesse einer nachhaltigen Produktion auf dem Ackerland wird ein Gleichgewicht zwischen den humusauf- und humusabbauenden Prozessen (Mineralisation, Humifizierung) im Bereich des standortspezifisch optimalen Humusgehaltes angestrebt. Ob ein solches Gleichgewicht besteht, kann mit Hilfe von Humusbilanzen näherungsweise überprüft werden. Das Überwiegen humuszehrender Bewirtschaftungsmaßnahmen (intensiver Getreide- und Hackfruchtbau, alleinige Mineraldüngung) verursacht eine Abnahme des Humusspiegels, bis sich ein neues Fließgleichgewicht zwischen Humusabbau und Humusersatz einstellt; überwiegen humusmehrende Maßnahmen (mehrjähriger Feldfutterbau, organische Düngung, geringere Intensität der Bodenbearbeitung), so kommt es zu einem Anstieg des Humusspiegels, bis sich ein neues Fließgleichgewicht auf höherem Niveau einreguliert hat. Die Mächtigkeit der Humusgehaltsveränderungen ist abhängig vom Ausgangsgehalt des Bodens an Humus und der Stärke der Veränderungen der Bodennutzung gegenüber der Vorbewirtschaftung. Dauerfeldversuche zeigen, dass derartige Veränderungsprozesse zwei bis drei Jahrzehnte andauern und dass unter sonst gleichen natürlichen Standortbedingungen erhebliche bewirtschaftungsbedingte Differenzen im Humusvorrat auftreten können (Abb. 1).

Die Langfristigkeit der Veränderungsprozesse birgt die Gefahr in sich, dass Humusgehaltsveränderungen nicht rechtzeitig bemerkt werden. Humusbilanzen erlauben es, diese Veränderungen zu prognostizieren.

Erhebliche bewirtschaftungsbedingte Unterschiede im Humusvorrat ein- und desselben Standortes haben zugleich auch maßgeblichen Einfluss auf andere, für die Ertragsbildung wichtigen Bodeneigenschaften. So bilden der Nährhumus und die organischen Primärsubstanzen (Ernte- und Wurzelrückstände, organische Dünger) die Lebensgrundlage der Bodenorganismen. Unverzichtbar ist die Rolle des Humus als Speicher und Transformator für Nährstoffe, insbesondere für Stickstoff. Zudem sind nahezu alle veränderlichen physikalischen, chemischen und biologischen Bodenfruchtbarkeitseigenschaften vom Humusvorrat abhängig, was dessen Rolle als zentrale Komponente der Bodenfruchtbarkeit unterstreicht. Folgerichtig besteht eine enge Beziehung zwischen dem Humusgehalt des Bodens und dem Ertrag von Nichtleguminosen, wie sich in Dauerfeldversuchen mehrfach nachweisen ließ (Abb. 2).

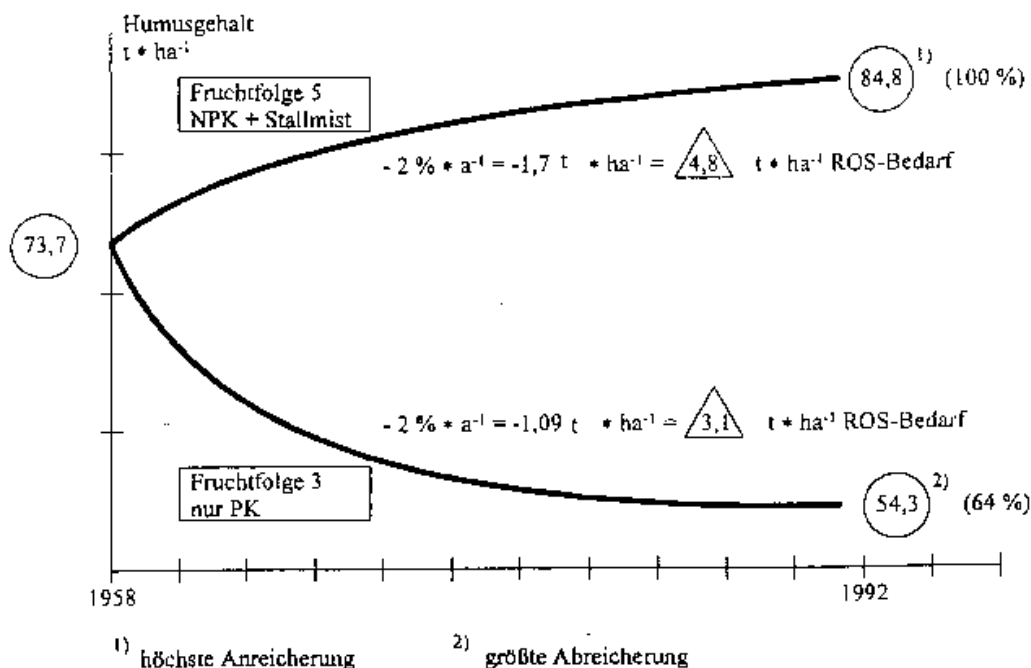


Abb. 1: Skizze der Entwicklung des Humusvorrates seit Versuchsanlage im Fruchtfolgedüngungsversuch Seehausen

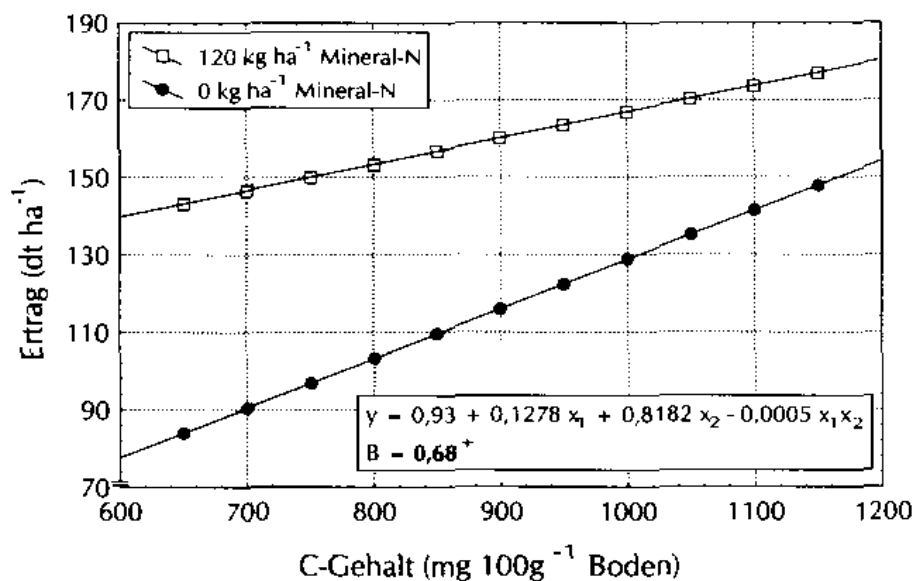


Abb. 2: Silomaisertrag in Abhängigkeit vom C_t-Gehalt der Ackerkrume als Maßstab des Humusfonds (x₁) und der mineralischen Stickstoffdüngung (x₂)

Verschiedene Versuchsansteller beobachteten, dass die Beziehung zwischen Humusgehalt und Ertrag um so enger ist, je weniger Mineraldüngerstickstoff zum Einsatz kam (EMMERLING 1998, LEITHOLD 2000). Aus den genannten Zusammenhängen ist zu schließen, dass unter Bedingungen des ökologischen Landbaus ein höherer Humusvorrat gegenüber

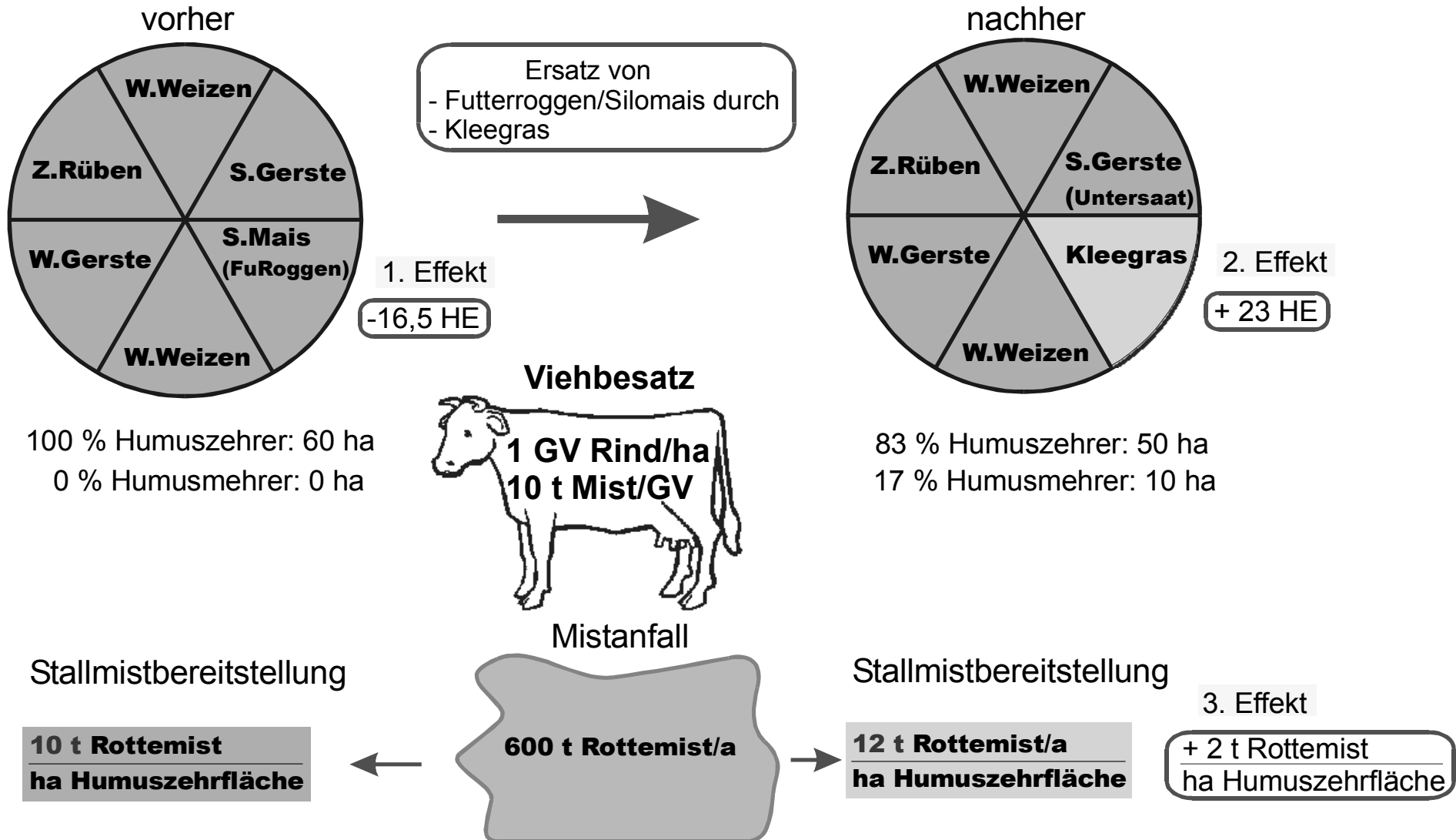
konventionell bewirtschafteten Böden möglich und erstrebenswert ist. Ein höherer Humusgehalt im Vergleich zur konventionellen Bodennutzung erlaubt die Realisierung höherer Grundenerträge (Bodenleistung) und kompensiert so teilweise Ertragsverluste infolge Nichtanwendung von Mineraldüngerstickstoff.

2. Nachweisbarkeit höhere Humusgehalte und Ursachen für den Anreicherungsprozess

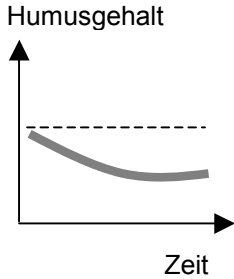
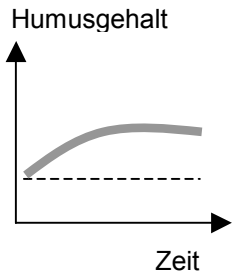
Vielfältige Untersuchungen unter Versuchs- und Praxisbedingungen belegen das Vorhandensein höherer Humusgehalte bei ökologischer Wirtschaftsweise im Vergleich zur konventionellen Bodennutzung (EMMERLING 1998, PIORR und WERNER 1998 und 1999, MUNRO et al. 2002, MÄDER et al. 2002). Beobachtet wurden u.a. höhere Humusgehalte in einer Spanne zwischen 10 und 30 %, ferner höhere Gehalte an mikrobieller Biomasse zwischen 17 und 36 % und eine höhere Aktivität der mikrobiellen Biomasse zwischen 40 und 100 %.

Maßgebliche Ursache für eine Stärkung der organischen Bodenkomponente (Humus, Bodenleben) ist eine – mit Umstellung auf ökologischen Landbau beginnende – bessere Versorgung der Humuszehrerfläche (Hackfrüchte, Feldgemüse, Silomais, Getreide) mit organischer Primärsubstanz (OPS), im Wesentlichen hervorgerufen durch: 1) eine Einschränkung des Humuszehreranteils an Ackerflächenverhältnis, 2) eine Ausweitung des humusmehrenden Leguminosenanbaus in Haupt- und Zwischenfurchtstellung sowie 3) eine bessere Versorgung der Humuszehrerfläche mit organischen Düngern der Tierproduktion (sofern der Viehbesatz konstant bleibt und das Grünland nicht zusätzlich mit organischen Düngern aus der Tierhaltung versorgt werden muss). Das Grundprinzip dieses Dreifacheffektes des Leguminosenanbaus zugunsten des Humushaushaltes geht aus Abb. 3 und Tab. 1 hervor.

**Abb 3: Dreifacheffekt des Leguminosenanbaus auf den Humushaushalt
(Bewertung am Beispiel einer 6-feldrigen Fruchtfolge von 60 ha)**



Tab. 1: Humusbilanz zum Dreifacheffekt des Leguminosenanbaus auf den Humushaushalt

	Fruchtfolge 100 % Humuszehrer 0 % Humusmehrer	Fruchtfolge 83 % Humuszehrer 17 % Humusmehrer	
	Humuseinheiten (HE) je Hektar Humuszehrfläche		
Bedarf Pflanzenbau (Humusnettoverlust)	-1,125	-1,02	1. Effekt
Bedarfsdeckung – durch Humusmehrer – durch Stalldung	± 0 ± 0,7	+0,46 +0,84	2. Effekt 3. Effekt
Bilanz	-0,425	+0,28	Summe aller Effekte
	62 %	➔	127 %
Ausblick:	mittelfristig geringere Humusgehalte, da OPS-Mangel 	mittelfristig höhere Humusgehalte, da OPS-Überschuss 	

3. Konsequenzen für die Analyse des Humushaushaltes in Öko-Betrieben

Die geschilderten Besonderheiten des Humushaushaltes ackerbaulich genutzter Böden bei längerfristiger ökologischer Wirtschaftsweise waren Anlass, nach Lösungen zu suchen, wie diese Besonderheiten im Rahmen der Humusbilanzierung berücksichtigt werden können. Ein höheres Humusreproduktionsniveau, wie in ökologisch wirtschaftenden Gemischtbetrieben allgemein üblich und wichtige Grundlage für das Gelingen des ökologischen Landbaus, beruht auf einer besseren Versorgung der Humuszehrerfläche mit Ernte- und Wurzelrückständen und organischen Düngern. Dies ist sowohl Ursache als auch Bedingung der besseren Humusversorgung und muss im Rahmen der Humusbilanzierung in Gestalt erhöhter Kennziffern zum Bedarf des Bodens an organischer Primärsubstanz Berücksichtigung finden. Mit der Humuseinheitenmethode wurde dem Rechnung getragen (Tab. 2).

Tabelle 2: Vergleich von Humusbilanzkoeffizienten (Auszüge) nach HÜLSBERGEN et al. (1997), verändert

Fruchtart	ROS ^{*)} -Methode ASMUS u. HERRMANN 1977 KÖRSCHENS et al. 1998		HE-Methode LEITHOLD et al. 1997 LEITHOLD u. HÜLSBERGEN 1998	
	t ROS/ha	t Humus/ha	HE/ha = t Humus/ha konventionell	ökologisch
Zuckerrüben	- 4,0	- 1,40	- 2,30	- 3,40
Kartoffeln	- 4,0	- 1,40	- 1,80	- 2,75
Silomais	- 3,0	- 1,05	- 1,35	- 2,05
Winterraps	- 1,5	- 0,50	- 0,70	- 1,05
Getreide	- 1,5	- 0,50	- 0,70	- 1,05
Luzerne/-gras				
1. Nutzungsjahr	3,0	1,05	1,80	
2. Nutzungsjahr	3,0	1,05	1,40	
3. Nutzungsjahr	3,0	1,05	0,80	
Rotationsbrache				
• Selbstbegrünung	–	–	0,20	
• Begrünung mit Legum.- Gemenge	–	–	1,50	
Organische Dünger	t ROS/ t FM	relativ zu Stallmist	HE/ t FM	relativ zu Stallmist
Stallmist	0,20	100		
Frischmist			0,05	70
Rottemist			0,07	100
Mistkompost			0,10	145
Gülle	0,05	60		
Rindergülle			0,022 ^{**)}	80
Scheinegülle			0,018	65
Stroh	0,68	80	0,12	50
Gründüngung	0,04	40	0,013	40

^{*)} ROS = Reproduktionswirksame organische Substanz

1 t ROS = 1 t organische Trockenmasse (TM) von Stalldung mit einem C-Humifizierungskoeffizienten von 0,35

^{**)} bei 5 % TM z.B. nur 0,011

In einer ersten Näherung wurden die ROS-Bedarfskoeffizienten für die erweiterte Reproduktion der organischen Bodensubstanz (Humus) nach KUNDLER et al. (1981) an die Bedingungen des ÖLB angepasst (LEITHOLD et al. 1997). Mit dem HE-Schlüssel wurde außerdem eine andere Bilanzeinheit gewählt. In Abwägung aller o.g. Gründe erfolgte eine Anhebung der

Bedarfwerte um zunächst 50 %. Nachfolgend werden die Methoden genannt, deren Anwendung eine Anhebung der Bedarfwerte in dieser Größenordnung rechtfertigen.

Anwendung der ROS-Bilanzmethode von ASMUS und HERMANN (1977) sowie von KUNDLER et al. (1981) in Öko-Betrieben

Bei Nutzung dieser Methoden in Öko-Betrieben wurden gewöhnlich Humusversorgungsgrade von weit über 150 %, nicht selten von weit über 200 % festgestellt (Ein Versorgungsgrad von 100 % steht für eine ausreichende OPS-Versorgung des Bodens; Saldo der Humusbilanz ± 0). Beispiele beschreiben LEITHOLD und HÜLSBERGEN (1997) sowie Tab. 3. Bereits aus diesen Berechnungen wurde der Schluss gezogen, dass mit den o.g. Methoden der OPS-Bedarf im ÖLB deutlich unterschätzt wird und dies mindestens um 50 %.

Variantenvergleiche in konventionellen Dauerfeldversuchen (DFV)

Von RAUHE in Seehausen bei Leipzig angelegte DFV dienten gewöhnlich auch dem Ziel, über mehrere Fruchtfolgeumläufe hinweg Aussagen zum Bedarf des Bodens an OPS zu liefern. Die ROS-Bilanzmethode nach KUNDLER et al. (1981) wurde wesentlich durch Ergebnisse dieser Versuche geprägt. Am Beispiel des Kombinationsversuches Seehausen, angelegt von RAUHE im Jahr 1967, wurde nach mehr als 25jähriger Versuchsdurchführung beobachtet, dass bei einer ständigen Nichtanwendung von Mineralstickstoff zur Aufrechterhaltung des Humusspiegels nicht 55 kg/ha \cdot a Stallmist-N wie in der Variante mit jährlich 150 kg/ha Mineral-N benötigt wurden, sondern 90 kg/ha (LEITHOLD et al. 1997). Dies bedeutet einen Mehrbedarf an OPS von ca. 64 %, ohne dass der Aspekt einer Erhöhung des Humusvorrates, wie unter Bedingungen des ÖLB erstrebenswert, Berücksichtigung fand. Auch nach diesen Beobachtungen erschien eine Anhebung der Bedarfwerte in der Größenordnung von mindestens 50 % gerechtfertigt, ja notwendig.

Berechnungen zum OPS-Bedarf einzelner Fruchtarten mit Hilfe von Stickstoffbilanzen

Bei Anwendung dieses Verfahrens unter Modellbedingungen des ÖLB (geringerer N-Entzug, 0 kg/ha Mineral-N, höhere N-Verwertung infolge Stickstoffmangel) werden gewöhnlich deutlich höhere OPS-Bedarfwerte berechnet, als wenn Bedingungen eines konventionellen Anbaus unterstellt werden (vgl. LEITHOLD 1995: am Beispiel von Kartoffeln erhöhter Bedarf an Stallmistfrischmasse von 35 %).

Die Anwendung der Humuseinheitenmethode in Öko-Betrieben zeigte, dass mit diesen Kennzahlen deutlich plausiblere Ergebnisse zur Einschätzung der Humusversorgung erzielt werden können (Tab. 3).

**Tab. 3: Vergleich von 3 Methoden zur Humusbilanzierung in Öko-Betrieben
(Versorgungsgrad des Bodens mit organischer Substanz in %)**

	ROS-Bilanzmethoden		Humuseinheiten- methode
	1977 –konventionell–	1981 –konventionell–	1997 –ökologisch–
Seeben 1	174	170	92
Seeben 2	174	168	84
Geißelbrecht	165	139	56
Canitz	152	131	80
Podemus	276	259	129
Peetzig	226	247	102
Marienhöhe	268	279	149
Wiesengut	199	187	111
Boschheidehof	176	176	103
Gladbacherhof	237	-	133

Die Methodik der Humusbilanz selbst geht aus dem in Tab. 4 geschilderten Beispiel hervor.

4. Fazit und Ausblick

Humusbilanzen sind ein wichtiges Instrument, um die Nachhaltigkeit der ökologischen Wirtschaftsweise zu überprüfen. Ausschließlich für den konventionellen Landbau erarbeitete Humusbilanzmethoden sind jedoch ungeeignet, die Besonderheiten des Humushaushaltes ackerbaulich genutzter Böden im ökologischen Landbau richtig abzubilden. Daher bestand die Notwendigkeit, spezielle Kennziffern zur Humusbilanz im ökologischen Landbau zu entwickeln. Die Validierung dieser Koeffizienten in Öko-Betrieben zeigte, dass mit den modifizierten Koeffizienten plausible Ergebnisse erzielbar sind. Ungeachtet dessen besteht weiterer Forschungsbedarf zur Begründung und Vervollkommnung der Humusbilanz im Öko-Landbau. Das im Rahmen des Bundesprogramms Öko-Landbau zur Förderung vorgesehene Projekt „Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode zur Humusbilanz im ökologischen Landbau“ bietet bis 2006 die Möglichkeit, gemäß dem bestehenden Forschungs- und Überleitungsbedarf weiter voranzukommen.

Tabelle 4: Anwendungsbeispiel Humusbilanz (HE-ÖL 1997)

Fruchtfolge	Schlaggröße (ha)	Koeffizient (HE/ha)	Bedarf Humuszehrer (HE)	Ersatzleistung Humusmehrer (HE)	Organische Düngung				
					Dünger- form	Menge (t/ha)	Menge je Schlag (t)	Ersatz- faktor	Humus- einheiten
1. Luz.-Klee gras	10	+ 2,10		+ 21,0					
2. Luz.-Klee gras	10	+ 1,80		+ 18,0					
3. Wi.-Weizen (Stoppelsaat)	10	- 1,05 + 0,20	- 10,5	+ 2,0					
4. Kartoffeln	10	- 2,75	- 27,5		Stallmist	25	250	0,07	17,5
5. Hafer (Stoppelsaat)	10	-1,05 + 0,20	- 10,5	+ 2,0					
6. Erbsen	10	+ 0,35		+ 3,5					
7. S.-Mais	10	- 2,05	- 20,5		Stallmist	30	300	0,07	21,0
8. Wi.-Roggen (Untersaat)	10	- 1,05 + 0,70	- 10,5	+ 7,0					
Summe:	80		- 79,5	+ 53,5			550 t		+ 38,5 HE

$$\text{Versorgungsgrad} = \frac{(53,5 \text{ HE} + 38,5 \text{ HE}) \cdot 100}{79,5 \text{ HE}} = \underline{116 \%}$$

Literatur

- ASMUS, F. und V. HERRMANN (1977): Reproduktion der organischen Substanz des Bodens, Fortschrittsbericht, Berlin 15, 11
- EMMERLING, C. (1998): Bodenbiologische und -ökologische Aspekte nachhaltiger landwirtschaftlicher Bodennutzung. Habilitationsschrift. Univ. Trier.
- HÜLSBERGEN, K.-J., S. HELD, S. BIERMANN, J. GERSONDE, W.-D. KALK und W. DIEPENBROCK (1997): Analyse und Bewertung der Umweltverträglichkeit ausgewählter Betriebe des Saalkreises mit Hilfe des Modells REPRO. In: KNICKEL, K.H. und H. PRIEBE. Praktische Ansätze zur Verwirklichung einer umweltgerechten Landnutzung. Verlag Peer Lang Frankfurt am Main, Berlin, Bern, New York u. Wien, 21-50
- KÖRSCHENS, M., A. WEIGEL und E. SCHULZ (1998): Turnover of soil organic matter (SOM) and long-term balances – tools for evaluating sustainable productivity of soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 161, 409-424
- KUNDLER, P., D. EICH, H.J. LISTE & K. RAUHE (1981): Mehr tun als nur ersetzen. *Neue Deutsche Bauernzeitung*, Berlin, 22, Nr. 36, S. 8-9.
- LEITHOLD, G. (2000): Bodenfruchtbarkeit im ökologischen Landbau. In: HÜLSBERGEN, K.-J. und W. DIEPENBROCK (Hrsg.): Die Entwicklung von Fauna, Flora und Boden nach Umstellung auf ökologischen Landbau. UZU-Schriftenreihe, Neue Folge, Sonderband, ISBN 3-86010-600-7, 56-68.
- LEITHOLD, G. 1995: Zu Besonderheiten des Humus- und Stickstoffhaushaltes im ökologischen Landbau. *Mitteilungen der DBG*, 76, 871-874
- LEITHOLD, G. u. K. J. HÜLSBERGEN 1997: Grundlagen und Methoden der Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. *Beitr. 4. Wiss.-Tagung Ökolog. Landbau*, Bonn, 56-62
- LEITHOLD, G. und K.-J. HÜLSBERGEN (1998): Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. *Ökologie und Landbau*, 105, 32-35
- LEITHOLD, G., K.-J. HÜLSBERGEN, D. MICHEL und H. SCHÖNMEIER (1997): Humusbilanzierung - Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hrsg.). *Initiativen zum Umweltschutz 5, Umweltverträgliche Pflanzenproduktion*, Zeller Verlag Osnabrück, 5, 43-54
- MÄDER, P.; A. FLIEBBACH; D. DUBOIS; L. GUNST; P. FRIED and U. NIGGLI (2002): Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296, 1695-1697.
- MUNRO, T.L.; H.F. COOK and H.C. LEE (2002): Sustainability indicators used to compare properties of organic and conventionally managed topsoils. *Biol. Agric. Hortic.* 20, 201-214.

PIORR, A.; WERNER, W. (1998): Nachhaltige landwirtschaftliche Produktionssysteme im Vergleich: Bewertung anhand von Umweltindikatoren. Agrarspektrum 28, VerlagsUnion Agrar, ISBN 3-7690-5027-4.

PIORR, A.; WERNER, W. (1999): Nachhaltige Landwirtschaftssysteme im Vergleich – Bewertung anhand von Umweltindikatoren. In: Nachhaltige Landwirtschaft – Wege zum neuen Leitbild, Arbeiten der DLG, 195, 121-149.