

Humusbilanzierung im ökologischen Landbau

GÜNTER LEITHOLD UND CHRISTOPHER BROCK
 PROFESSUR FÜR ORGANISCHEN LANDBAU DER JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN,
 KARL-GLÖCKNER-STR. 21 C, 35394 GIESSEN

1 Einleitung

Methoden zur Analyse und Bewertung landwirtschaftlicher Betriebssysteme wurden oft nur für die Bedingungen des konventionellen Landbaus entwickelt und (noch) nicht an die spezifischen Bewirtschaftungsbedingungen des ökologischen Landbaus adaptiert. Darin liegt die Gefahr, dass Öko-Betriebe falsch bewertet und falsche Folgeentscheidungen getroffen werden. Dies gilt auch für die Analyse und Bewertung des Humushaushaltes ackerbaulich genutzter Böden, worauf bereits mehrfach verwiesen wurde (u.a. LEITHOLD 1994 sowie 1996a und b). Mit diesem Beitrag wird das Ziel verfolgt, anhand der Besonderheiten der ackerbaulichen Bodennutzung im ökologischen Landbau die Notwendigkeit einer Anpassung der Humusbilanzierung an die spezifischen Bedingungen des ökologischen Landbaus zu begründen. Es sollen die bisher auf diesem Wege erzielten Erkenntnisse vorgestellt und weitere notwendige Schritte genannt werden.

2 Grundsätzliches zur Humusbilanzierung

Mit Hilfe der Humusbilanz wird überprüft, ob zwischen den humusaufbauenden und humusabbauenden Prozessen in Ackerböden ein Fließgleichgewicht besteht. Eine ausgeglichene Humusbilanz [Saldo ca. ± 0 ; Versorgungsgrad des Bodens mit organischer Primärsubstanz (OPS) ca. 100 %] lässt auf eine Erhaltung des Humusvorrates im Sinne einer nachhaltigen Produktion schließen¹. Angestrebt wird ein Fließgleichgewicht von Mineralisation und Humifizierung im Bereich des standort- und bewirtschaftungsspezifischen Optimalgehaltes des Bodens an Humus. Darüber hinaus informiert die Humusbilanz über einen ggf. bestehenden ungedeckten Bedarf an organischer Substanz bzw. über eine bestehende Überversorgung. Überdies besteht die Möglichkeit, Managemententscheidungen zur Verbesserung der Humusersatzwirtschaft im Betrieb abzuleiten.

Verlässliche Aussagen zu optimalen Humusgehalten liegen gegenwärtig weder für verschiedene Standorte noch differenziert für spezifische Intensitätsstufen der landwirtschaftlichen Produktion, z.B. konventioneller Landbau und ökologischen Landbau, vor. Daher ist die Messung des Humusgehaltes (C_T -Bestimmung $\cdot 1,724$) gegenwärtig kein erfolgversprechender Weg, den Humushaushalt der Ackerböden zu beurteilen. Ein hoffnungsvoller Ansatz zur Bestimmung optimaler Humusvorräte ist die Messung des heißwasserextrahierbaren Kohlenstoffs (C_{HWI}), mit dessen Hilfe auf den angestrebten Gehalt an umsetzbarer organischer Bodensubstanz (OBS_u) geschlossen wird (SCHULZ 1990 u. 1997).

Allgemeingültige Bestimmungsgründe für optimale Humusgehalte des Bodens können jedoch hilfreich sein, die speziellen Effekte konventioneller und ökologischer Bodennutzung besser zu erkennen und diese bei der Adaption von Humusbilanzmethoden zu berücksichtigen. Als optimal mit organischer Substanz versorgt könnte ein Ackerboden dann gelten, wenn die im engeren Zusammenhang mit dem Humusvorrat stehenden Bodenfunktionen so ausgeprägt sind, dass eine hohe Flächenproduktivität, Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit der Produktion gewährleistet ist.

¹ Detaillierte Angaben zur Methodik der Humusbilanz sowie zur Bewertung von Bilanzergebnissen können bei LEITHOLD (2004), <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1515/> nachgelesen werden.

Insbesondere das Aufdecken von Substitutionsbeziehungen zwischen Mineraldüngerstickstoff und Humusstickstoff bei der Ertragsbildung (LEITHOLD 1984) führte zu dem Schluss, dass auch die spezielle Intensität der Produktion bei einer Bewertung des Humusvorrates Berücksichtigung finden sollte (LEITHOLD 1994, 1996b). Da im ökologischen Landbau eine negative Wechselbeziehung zwischen Mineraldüngerstickstoff und Humusstickstoff ausgeschlossen ist, dürften dort also höhere Humusvorräte als bei konventioneller Bewirtschaftung vorteilhaft und erstrebenswert sein. Jüngere Studien zeigen, dass eine Umstellung auf ökologischen Landbau in der Tat eine Stärkung der organischen Bodenkomponente bewirkt (vgl. Pkt. 3.2).

Gegenwärtig sind in Deutschland drei Humusbilanzmethoden gebräuchlich (HÜLSBERGEN et al. 2005, S. 62 u. 63):

Methode	Maßeinheit	Literatur
ROS	Reproduktionswirksame organische Substanz (ROS) = organische Trockenmasse (TM) von Stallung 1 t ROS = 1 t org. TM von Stallung	ASMUS & HERMANN (1977)
HE	Humuseinheiten (HE) = 1 t Humus mit 55 kg N und 580 kg C 1 t ROS = 0,35 HE	LEITHOLD & HÜLSBERGEN (1998)
VDLUFA	Humusäquivalent = 1 kg Humus-C 1 t ROS = 200 kg Humus-C 1 HE = 580 kg Humus-C	VDLUFA (2004)

HÜLSBERGEN et al. (2005) charakterisieren diese drei Methoden wie folgt:

„Das älteste der aufgeführten Verfahren ist die ROS-Methode nach ASMUS & HERMANN (1977). Sie basiert auf alten Dauerversuchen und reflektiert daher auch die Bewirtschaftungs- und Ertragssituation der 60er und 70er Jahre. Aus pragmatischen Gründen wurde Stallung als Bezugsbasis gewählt, weil zu diesem organischen Dünger die meisten Langzeituntersuchungen vorlagen. Problematisch ist, dass Stallung kein einheitliches Substrat darstellt, sondern je nach den Ausgangsstoffen und der Aufbereitung stark in der Zusammensetzung variiert. Ein weiterer Nachteil ist, dass viele aktuelle Bewirtschaftungsmaßnahmen nicht berücksichtigt werden.“

Die Humuseinheiten-(HE)-Methode nach LEITHOLD et al. (1997) wurde im Wesentlichen auf der Grundlage des Stickstoffhaushaltes abgeleitet, um einen Ertragsbezug herstellen zu können. Neben der statistischen HE-Methode gibt es eine computergestützte dynamische HE-Methode, bei der die Standortbedingungen, die Höhe der N-Düngung und der Ertrag als Einflussfaktoren berücksichtigt werden (HÜLSBERGEN 2003). Die HE-Methode unterscheidet als Einzige der hier aufgeführten Methoden nach konventionellem und ökologischem Landbau. Für den ökologischen Landbau wird ein höheres Humusreproduktionsniveau als Ziel definiert (LEITHOLD & HÜLSBERGEN 1998).

Die VDLUFA-Methode wurde erst im vergangenen Jahr verabschiedet; sie stellt einen Kompromiss der beteiligten Wissenschaftler dar. Aufgrund der verwendeten Datenbasis ist die VDLUFA-Methode für integriert wirtschaftende Betriebe konzipiert, für den ökologischen Landbau ist u.a. aus Gründen der Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff eine höhere Zufuhr organischer Substanzen erforderlich. Auf diesen Zusammenhang wird von den Autoren des VDLUFA-Standpunktes „Humusbilanzierung“ ausdrücklich hingewiesen.“

3 Gründe für eine notwendige Adaption konventioneller Humusbilanzmethoden an die Bedingungen des ökologischen Landbaus

Wie oben beschrieben, wurde bisher nur im Rahmen der Neugestaltung der Humuseinheitenmethode 1997 der Versuch unternommen, eine Adaption der Humusbilanzierung an die Bedingungen des ökologischen Landbaus vorzunehmen². Für eine solche Adaption sprechen auch gegenwärtig die nachfolgend aufgeführten Gründe.

3.1 Resultate konventioneller Humusbilanzmethoden bei Anwendung in Öko-Betrieben

Ursprünglich lediglich für den konventionellen Landbau erarbeitete Humusbilanzmethoden führen bei Anwendung in Öko-Betrieben nicht zu plausiblen Ergebnissen. Anwendung fanden die o.g. ROS-Bilanzmethodik nach ASMUS u. HERMANN (1977) sowie eine modifizierte Version dieser Methodik, wie von KUNDLER et al. (1981) veröffentlicht und begründet. Die in Tab. 1 mitgeteilten Resultate verweisen auf eine Spanne der Versorgungsgrade der Böden mit organischer Substanz zwischen 152 und 276 % (ROS-Methodik 1977) bzw. zwischen 131 und 279 % (ROS-Methodik 1981).

Beide Methoden verweisen auf das Bestehen einer erheblichen Überversorgung der Böden mit organischer Substanz, was jedoch mit Blick auf weitere Fakten zum Humushaushalt längerfristig ökologisch bewirtschafteter Böden in Zweifel gezogen werden muss.

Ähnliche Resultate wurden bei Anwendung der ROS-Methodik von ASMUS u. HERMANN (1977) im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung des Lehr- und Versuchsbetriebes für ökologischen Landbau der Universität Gießen, Gladbacherhof, erzielt (Tab. 2). Der errechnete Versorgungsgrad des Bodens mit organischer Substanz bringt eine angebliche Überversorgung des Bodens um mehr als das Doppelte zum „wirklichen“ Bedarf zum Ausdruck. Vor dem Hintergrund der Bedeutung einer hohen Humusreproduktion für das Gelingen des ökologischen Landbaus verweist auch dieses Beispiel auf nicht plausible, ja falsche Aussagen, die mit Anwendung nicht adaptierter Humusbilanzmethoden in Öko-Betrieben erzielt werden.

² Eine erste Humuseinheitenmethode wurde bereits von RAUHE u. SCHÖNMEIER (1966) publiziert und in Agrarbetrieben angewandt.

Tab. 1: Vergleich von drei Methoden zur Humusbilanzierung in Öko-Betrieben (Versorgungsgrad des Bodens mit organischer Substanz in %)

	ROS-Bilanzmethoden		Humuseinheitenmethode
	1977 ¹⁾ -konventionell-	1981 ²⁾ -konventionell-	1997 ³⁾ -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
Boschheidhof	176	176	103

1) ASMUS und HERRMANN (1977)

2) KUNDLER et al. (1981)

3) LEITHOLD et al. (1997)

Tab. 2: Humusbilanz Gladbacherhof (1999) nach zwei unterschiedlichen Methoden

Parameter	ROS-Bilanzmethode nach ASMUS und HERMANN (1977)		Humuseinheitenmethode nach LEITHOLD et al. (1997)
	t/ha ROS ¹⁾	t/ha Humus	t/ha HE ²⁾
	Berechnung mit Hilfe von KUL ECKERT und BREITSCHUH (1997)		Berechnung mit Hilfe von REPRO; HÜLSBERGEN und DIEPENBROCK (1997)
Humusverlust durch			
• Humuszehrer	- 1,3	-0,45	-0,69
Humuszufuhr durch			
• Humusmehrer	+ 1,3	+ 0,45	+ 0,52
• Stroh- und Gründüngung	+ 0,3	+ 0,10	+ 0,03
• organische Dünger der Tierproduktion	+ 1,5	+ 0,52	+ 0,24
Saldo	+ 1,8	+ 0,62	+ 0,1
Versorgungsgrad (100 % einfache Reproduktion)	233 %		136 %

1) ROS = reproduktionswirksame organische Substanz \triangleq organische Trockenmasse von Stallmist (1 t ROS \cdot 0,35 = 1 t Humus; Humifizierungskoeffizient für organische TM von Stallmist 0,35).

2) HE = Humuseinheit in Anlehnung an RAUHE u. SCHÖNMEIER (1966), 1 HE = 1 t Humus.

Höhere Humusgehalte bei ökologischer Bodennutzung

Eine der ersten theoretischen Annäherungen an Fragen des Humushaushaltes von Ackerböden in Öko-Betrieben führte zu dem Schluss, dass aufgrund der Nichtanwendung von Mineraldüngerstickstoff im Vergleich zur vorhergehenden konventionellen Bodennutzung ein höherer Humusgehalt möglich und erstrebenswert ist (vgl. Pkt. 2). Die Ergebnisse verschiedener Studien zeigen, dass durch Öko-Landbau in der Tat eine Anreicherung des Bodens mit organischer Substanz erfolgt. So berichten EMMERLING 1998, PIORR und WERNER (1998 und 1999), MUNRO et al. 2002 und MÄDER et al. (2002) im Vergleich zur konventionellen Bodennutzung über höhere Humusgehalte in einer Spanne zwischen 10 und 30 %, ferner über höhere Gehalte an mikrobieller Biomasse zwischen 17 und 36 % sowie über eine höhere Aktivität der mikrobiellen Biomasse zwischen 40 und 100 %.

Die konventionellen Humusbilanzmethoden deuten mit den o.g. hohen Bilanzsalden und Versorgungsgraden zwar auf das hohe Anreicherungspotenzial der ökologischen Bodennutzung hin; sie beschreiben jedoch eine dauerhafte Überschusssituation, die in der Praxis nicht gegeben ist. Mit Umstellung auf ökologischen Landbau und Erzielung eines neuen Fließgleichgewichts der humusauf- und humusabbauenden Prozesse auf einem höheren Level des Humusspiegels (Dies kann zwei Fruchtfolgeumläufe und länger dauern.) ergibt sich die Notwendigkeit einer neuen quantitativen Bewertung. Unter den neuen typischen Gleichgewichtsbedingungen befriedigt eine erhöhte Zufuhr an organischer Substanz einen erhöhten Bedarf (vgl. Pkt. 4.2). Die adaptierte Humusbilanz sollte für diese Bedingung ebenfalls einen Bilanzsaldo von ca. ± 0 und einen Versorgungsgrad von ca. 100 % ausweisen. Ausdruck für die neue quantitative Bewertung gemäß der veränderten Bedingungen ist die Anhebung der Bedarfskoeffizienten für humuszehrende Früchte, wie in der HE-Methode (1997) erstmalig vorgenommen.

Die Annahme eines notwendigerweise höheren Humusreproduktionsniveaus im ökologischen Landbau wirft natürlich die Frage nach der Umweltwirkung dieses Zustandes auf. So wird häufig die Sorge geäußert, dass höhere Humusgehalte in Zusammenarbeit mit erhöhter Mineralisierung zu einer schwer kontrollierbaren Bereitstellung von Stickstoffverbindungen und zu Auswaschungsverlusten v.a. im Vorwinter führen können. Eine im Vergleich mit konventionell bewirtschafteten Flächen generell erhöhte Stickstoffauswaschung unter Flächen des ökologischen Landbaus wurde indes bislang nicht festgestellt (u.a. DE NEVE et al. 2003). Im Gegenteil zeigte ökologische Bewirtschaftung in vielen Studien trotz höherem Humusniveau deutlich geringere Auswaschungsverluste als konventionelle Vergleichsflächen (z.B. KÖPKE 1995; KIRCHMANN u. BERGSTRÖM 2001).

3.3 Dreifacheffekt humusmehrender Kulturen auf den Humusgehalt des Ackerlandes

Maßgebliche Ursache für eine Stärkung der organischen Bodenkomponente (Humus, Bodenleben) ist eine – mit Umstellung auf ökologischen Landbau beginnende – bessere Versorgung der Humuszehrfläche (Hackfrüchte, Feldgemüse, Silomais, Getreide) mit organischer Primärschubstanz (OPS), im Wesentlichen hervorgerufen durch: 1) eine Einschränkung des Humuszehreranteils im Ackerflächenverhältnis, 2) eine Ausweitung des humusmehrenden Leguminosenanbaus in Haupt- und Zwischenfurchtstellung sowie 3) eine bessere Versorgung der Humuszehrfläche 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 den Tabellen 3.1 bis 3.3 hervor.

Tab. 3.1 gibt die Ergebnisse einer vergleichenden Humusbilanz für eine sechsfeldrige Fruchtfolge mit 60 ha Ackerfläche (AF) wieder. In der Modellfruchtfolge auf der linken Seite kommen ausschließlich humuszehrende Fruchtarten zum Anbau (100 % Humuszehrer; Humuszehrerfläche 60 ha). Stattdessen beschränkt sich der Humuszehreranbau in der rechts abgebildeten Fruchtfolge auf ca. 83 % des Ackerlandes (50 ha HZ-Fläche). Dafür werden 17 % des Ackerlandes (ein Fruchtfolgefeld) mit Humusmehrern (Kleegras) bestellt (10 ha). Die Beispielsrechnung zeigt, dass ein Ersatz von Futterroggen/Silomais durch Kleegras zu einer bedeutenden Minderung des auf dem Ackerland entstehenden Bedarfs des Bodens an organischer Substanz führt: Der Gesamtbedarf reduziert sich um 39,5 HE/60 ha, resultierend aus einer Nichtinanspruchnahme des Humusfonds durch Nichtanbau von Futterroggen/Silomais in Höhe von 16,5 HE (1. Effekt) sowie aus der Humusersatzleistung des Kleegrases im Ansaatjahr und im Hauptnutzungsjahr in Höhe von 23 HE (2. Effekt).

Tab. 3.1: *Doppeleffekt des Leguminosenanbaus (Humusmehrers) anstelle von Nichtleguminosen, bezogen auf den Humushaushalt von Ackerböden¹⁾*

Humusbilanz für Beispielsfruchtfolge mit 100 % Humuszehreranbau (HZ)= 60 ha				Humusbilanz für Beispielsfruchtfolge mit 83 % Humuszehreranbau (HZ) = 50 ha mit 17 % Humusmehreranbau (HM) = 10 ha				
Fruchtart	Schlaggröße (ha)	Faktoren (HE/ha)	Bedarf (HZ) (HE)	Fruchtart	Schlaggröße (ha)	Faktoren (HE/ha)	Bedarf (HZ) (HE)	Ersatz (HM) (HE)
Zu.Rüben	10	-2,3	-23	ZuRüben	10	-2,3	-23	
W.Weizen	10	-0,7	-7	W.Weizen	10	-0,7	-7	
S.Gerste	10	-0,7	-7	S.Gerste	10	-0,7	-7	
(Fu.Roggen)	(10)	-0,3	-3,0	(Kleegras- untersaat)	(10)	+0,5		+5
S.Mais	10	-1,35	-13,5	Kleegras	10	+1,8		+18
W.Weizen	10	-0,7	-7	W.Weizen	10	-0,7	-7	
W.Gerste	10	-0,7	-7	W.Gerste	10	-0,7	-7	
	60				60		-51	+23
Summe			-67,5					-28
Differenz zwischen den Fruchtfolgen:		39,5 HE, davon 16,5 HE durch Nichtanbau von FuRo./S.Mais (1 Effekt) davon 23 HE Humusersatz durch Kleegrasanbau (2. Effekt)						

¹⁾ Darstellung des Doppeleffektes nach einem Beispiel von RAUHE et al. (1982) unter Nutzung von Bilanzkoeffizienten lt. LEITHOLD u. HÜLSBERGEN (1998)

Tab. 3.2: Verteilung des Stallungs auf kleinerer Humuszehrfäche (3. Effekt)

gegeben: Viehbesatz 1 GV Rind/ha AL (ganzjährige Stallhaltung)

1 GV Rind \triangleq 10 t Rottemist

600 t Rottemist/a bei 60 ha AL

Rottemistverteilung bei 100 % Humuszehranbau (60 ha)	Rottemistverteilung bei 83 % Humuszehranbau (50 ha) u. 17 % Humusmehranbau (10 ha)
1. 600 t Rottemist * 0,07 ¹⁾ = 42 HE	600 t Rottemist * 0,07 = 42 HE
2. 42 HE/60 haHZ = <u>0,7 HE/haHZ</u>	42 HE/50 haHZ = <u>0,84 HE/haHZ</u>

¹⁾ Umrechnungsfaktor von Rottemistfrischmasse in Humuseinheiten

Tabelle 3.3: Vergleich der Humusbilanzen, Angaben in Humuseinheiten

	Fruchtfolge 100% HZ (60ha)		Fruchtfolge 83% HZ (50 ha) 17 % HM (10 ha)	
	insges.	je ha HZ- Fläche	insges.	je ha HZ- Fläche
Bedarf Pflanzenbau insges.	-67,5	-1,125	-51	-1,02
Bedarfsdeckung				
durch Humusmehr	-	-	+23	+0,46
durch Stallung	+42	+0,7	+42	+0,84
Saldo	-25,5	-0,425	+14	+0,84
Versorgungsgrad	62%		127 %	

Der dritte Effekt – Verteilung des Stallungs auf verkleinerter Humuszehrfäche – geht aus Tab. 3.2 hervor. Bezogen auf 60 ha Ackerland stehen 600 t Rottemist je Jahr als weitere Ressource der Humusreproduktion zur Verfügung. Da Humusverluste lediglich auf der Humuszehrfäche entstehen, dient diese Fläche als Bezugsbasis. Bei 100 % HZ-Anbau muss der Stallung zur Bedarfsdeckung auf 60 ha HZ-Fläche beitragen. So stehen nur 0,7 HE/ha HZ-Fläche als Humusersatzleistung durch Stallung zur Verfügung. Unter den Alternativbedingungen (50 ha HZ-Fläche) sind 0,84 HE/ha Humuszehrfäche verfügbar (3. Effekt).

Als Resultat des Dreifacheffektes verbessert sich die defizitäre Humusbilanz von -0,425 HE/ha HZ-Fläche (Versorgungsgrad 62 %) auf +0,84 HE/ha HZ-Fläche (Versorgungsgrad 127 %) (Tab. 3.3). Allein durch den Ersatz von Futterroggen/Silomais durch Kleegrass (ein Fruchtfolgefeld, ca. 17 % der AF) verdoppelt sich im Modellbeispiel das Niveau der Humusversorgung je Hektar Humuszehrfäche infolge des Dreifacheffektes.

Dieser Effekt dürfte der maßgebliche, mit Umstellung auf ökologischen Landbau wirksam werdende Mechanismus sein, der schließlich zu einer Erhöhung der Humusgehalte und/oder zu einer Verstärkung der Dynamik der humusauf- und humusabbauenden Prozesse im Boden führt. Die Unterschiede zwischen der konventionellen Vorbewirtschaftung und den Effekten nach der Umstellung sind umso größer, je stärker sich die Bodennutzungssysteme vor und nach der Umstellung voneinander unterscheiden. Erfolgen mit Umstellung auf ökologischen Landbau nur geringfügige Eingriffe in das Betriebssystem, weil bereits extensiv gewirtschaftet wurde, so wird sich auch das Humusreproduktionsniveau auf dem Ackerland nur wenig ändern.

4 Konsequenz für die quantitative Bewertung des Humushaushaltes mit Hilfe von Humusbilanzen

4.1 Bedeutung eines höheren Humusreproduktionsniveaus für das Gelingen des ökologischen Landbaus

Ein höheres Humusreproduktionsniveau bei längerfristiger ökologischer Bodennutzung äußert sich im Vergleich zur konventionellen Vorbewirtschaftung in höheren Gehalten an Humus sowie an mikrobieller Biomasse sowie an einer verstärkten Dynamik mikrobiell bedingter Umsetzungsprozesse. Diese Wirkungen dürften für das Funktionieren des ökologischen Landbaus von essenzieller Bedeutung sein. Bereits KÖRSCHENS u. BUŠ (1982) unterstreichen die grundsätzliche Bedeutung des Humus für die Ertragsbildung und machen auf die enge Beziehung des Humus zu den Standortfaktoren, den Bewirtschaftungsmaßnahmen und den Bodeneigenschaften einschließlich seiner Funktion als Nährstoffspeicher und -transformator aufmerksam. KUNDLER u. REIHER (1983) beobachteten auf Praxisschlägen, dass selbst unter konventionellen Anbaubedingungen die organische Substanz des Bodens im Vergleich zu anderen veränderlichen Bodenfruchtbarkeitseigenschaften den stärksten Ertrags Einfluss ausübte. EMMERLING (1998) stellte überdies fest, dass der Grad der Bodenfruchtbarkeit in enger Beziehung zum Humusgehalt steht, und dies um so stärker, je weniger Mineraldünger angewendet wird. Eine enge funktionale Beziehung zwischen dem Humusgehalt des Bodens und dem Ertrag einjähriger Nichtleguminosen konnte auch anhand von Resultaten des Statischen Düngungsversuches Bad Lauchstädt (Sachsen-Anhalt) sowie eines Fruchtfolgeversuches in Lauterbach (Sachsen) beschrieben werden (LEITHOLD 1984).

Abb. 1 vermittelt Resultate zur Beziehung zwischen dem Silomaisertrag und dem C_T - bzw. Humusgehalt des Bodens, die auf der Grundlage von Daten des von RAUHE 1963 angelegten Bodenfruchtbarkeitsversuches Seehausen gewonnen wurden (THE DANG 1990; LEITHOLD 1994). Analog der Aussagen von EMMERLING (1998) wurde beobachtet, dass die engste Beziehung zwischen dem C_T -Gehalt und dem Silomaisertrag dann bestand, wenn kein Mineraldünger, hier Mineraldüngerstickstoff, verabreicht wurde. Die Bedeutung der abgebildeten Beziehung zwischen dem Humusvorrat des Bodens und dem Ertrag einjähriger Nichtleguminosen für das Funktionieren des ökologischen Landbaus liegt auf der Hand. Über die Realisierung einer höheren Bodenleistung bei der Ertragsbildung infolge größerer Humusvorräte kann ein Teil des entgangenen Ertrags durch Nichtanwendung von Mineraldüngerstickstoff wieder ausgeglichen werden.

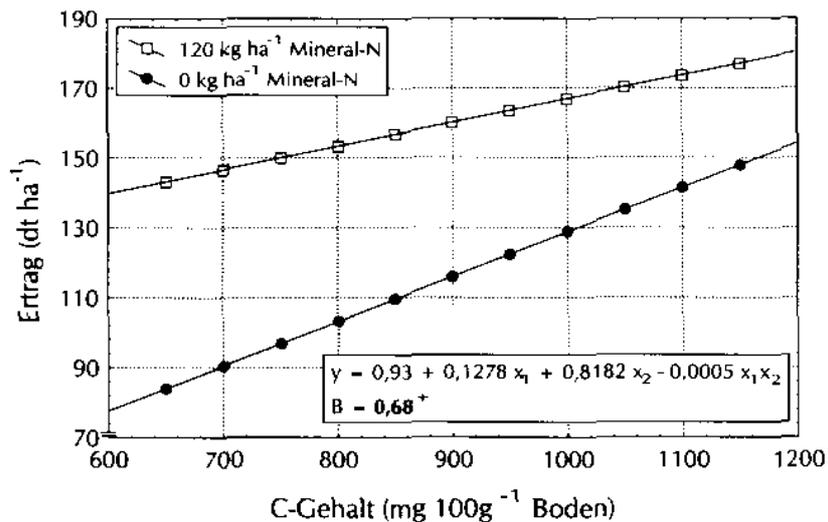


Abb. 1: Ertrag von Silomais (y) in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt im Boden (x_1) und der Mineralstickstoffdüngung (x_2)

4.2 Bedarf des Bodens an organischer Primärschubstanz bei höherem Humusproduktionsniveau

Die zweite Seite eines höheren Humusproduktionsniveaus unter sonst gleichen Standortbedingungen äußert sich in einem höheren Gehalt an mikrobieller Biomasse sowie in einer verstärkten Aktivität der mikrobiellen Biomasse, was anhand der Fermentaktivität beschrieben werden kann. Folglich ist der mikrobiell bedingte Abbau der umsetzbaren organischen Bodensubstanz und der leicht abbaubaren Bestandteile der organischen Dünger sowie der Ernte- und Wurzelrückstände beschleunigt. Somit entstehen je Zeiteinheit höhere Messverluste an organischer Substanz, die es durch eine verstärkte Zufuhr an organischer Primärschubstanz wieder auszugleichen gilt.

Aussagen zur unterschiedlichen Höhe des Bedarfs des Bodens an organischer Primärschubstanz unter sonst gleichen Standortbedingungen, jedoch bei unterschiedlicher Intensität der Produktion, sind aus der Literatur seit langem bekannt. Russische Agrarwissenschaftler definieren Böden mit hohem Humusgehalt als stärker kultiviert, Böden mit geringem Humusgehalt aufgrund unterschiedlicher Vorbewirtschaftung als weniger kultiviert. KAURIČEV u. LYKOV (1979) stellen die prinzipielle These auf, dass „die kultivierten Böden mit höherem Humusgehalt mehr organischen Stoff nicht nur für die Deckung des Bedarfs der Pflanzen an Stickstoff, sondern auch für die Aufrechterhaltung eines hohen biologischen Potenzials verbrauchen. Demzufolge erfordern die gleichen Bedingungen der Humusbilanz in Böden mit unterschiedlichem Humusgehalt eine unterschiedliche Menge an organischem Stoff – mehr in kultivierten Böden und weniger in weniger kultivierten Böden“ (vgl. auch LYKOV et al., 1984 sowie ASMUS et al., 1979).

In gleicher Weise argumentieren DJAKONOVA et al. (1984). Sie schreiben mit Blick auf die Mineralisationsintensität von Böden mit mittlerem und erhöhtem Humusgehalt unter sonst gleichen Standortbedingungen: „Wird ein Boden laufend gepflügt und stabilisiert sich der Humusgehalt auf niedrigem Niveau, so werden die Abgänge auch niedrig sein; aber die Auffüllung dieses Niveaus wird nicht den Forderungen eines fruchtbaren Bodens genügen.“

4.3 Wege zur Adaption konventioneller Humusbilanzmethoden an die Bedingungen des ökologischen Landbaus

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 Bedarfswerte um zunächst 50 % (Tab. 4). Nachfolgend werden die Methoden genannt, deren Anwendung eine Anhebung der Bedarfswerte in dieser Größenordnung begründet haben.

Tab. 4: Kennziffern zur Humusbilanzierung in Humuseinheiten (HE) je Hektar nach LEITHOLD, HÜLSBERGEN, MICHEL u. SCHÖNMEIER (1997)

	Humuszehrende Fruchtarten	
	ökologisch	konventionell
• Rüben	-3,40	-2,30
• Kartoffeln sowie 1. Gruppe Gemüse ²⁾	-2,75	-1,80
• Silomais sowie 2. Gruppe Gemüse	-2,05	-1,35
• Getreide, Ölfrüchte ¹⁾ , So.-Blumen, Körnermais, Faserpflanzen sowie 3. Gruppe Gemüse	-1,05	-0,70
1. Gruppe Gemüse:	Porree, Spargel, Rhabarber, Gurke, Kürbis, Sellerie, Wirsingkohl, Blumen-, Rot- u. Weißkohl	
2. Gruppe Gemüse:	Chicoree, Kohlrübe, Möhren, Meerrettich, Schwarzwurzel, Tomaten	
3. Gruppe Gemüse:	Feldsalat, Grünkohl, Kohlrabi, Kopfsalat, Radies, Rettich, Rote Rüben, Spinat, Zwiebeln, Schnittlauch, Petersilie	

¹⁾ bei Getreide und Raps Bedarfskoeffizienten nach Ernte von Korn und Stroh, bei restl. Kulturen dieser Gruppe ist Humusersatzleistung der Koppelprodukte in Bedarfskoeffizienten berücksichtigt

²⁾ Zuordnung von Gemüse nach BAUMANN u. SCHMIDT (1979)

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 (Tab. 1). Bereits aus diesen Berechnungen wurde der Schluss gezogen, dass mit den o.g. Methoden der Bedarf des Bodens an organischer Substanz im ÖLB deutlich unterschätzt wird und dies mindestens um 50 %.

Variantenvergleiche in konventionellen Dauerfeldversuchen (DFV)

Von RAUHE in Seehausen bei Leipzig angelegte Dauerfeldversuche 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 wurde nach mehr als 25jähriger Versuchsdurchführung beobachtet, dass bei ständiger Unterlassung der mineralischen Stickstoffdüngung im Fruchtfolgemittel 90 kg Stallmist-N je Hektar und Jahr benötigt wurden, um das ursprüngliche Niveau an Humus bzw. Gesamtstickstoff im Boden (N_t) aufrecht zu erhalten (einfache Reproduktion) (Abb. 2). Bei jährlich 150 kg Mineralstickstoff je Hektar lag der Bedarf an Stallmist-N lediglich bei 55 kg/ha. Durch Unterlassung der Mineralstickstoffdüngung stieg der Bedarf an Stallmist-N um 64 % an, um eine Aufrechterhaltung des Humusspiegels zu gewährleisten. Eine erstrebenswerte Anhebung des Humusspiegels, wie für das Gelingen des ÖLB notwendig, fand bei dieser Betrachtung noch keine Berücksichtigung. Auch nach diesen Beobachtungen erschien eine Anhebung der Bedarfswerte in der Größenordnung von mindestens 50 % gerechtfertigt, ja notwendig.

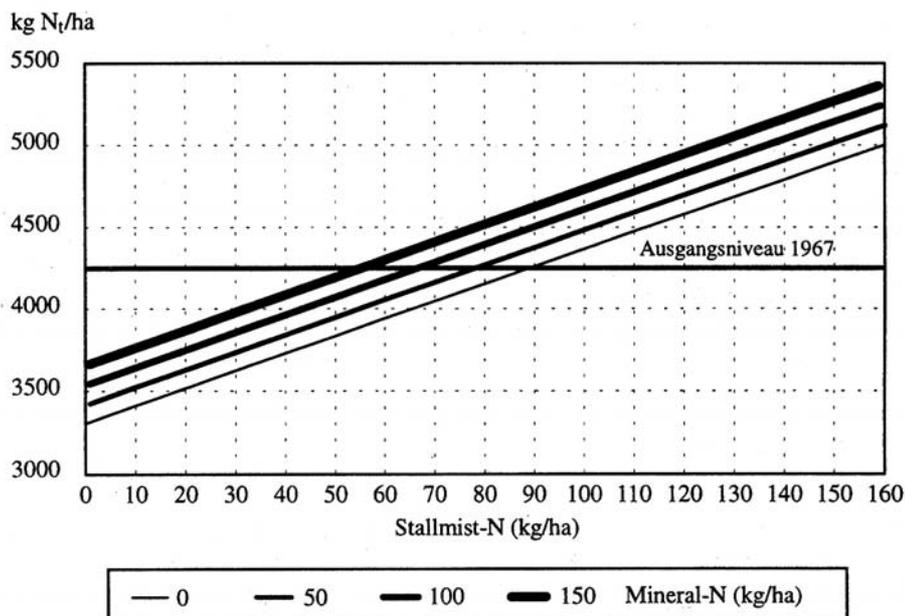


Abbildung 2: Bedarf an Stallmist-N zum Erhalt des N_t -Gehaltes im Boden (Kombinationsversuch Seehausen F1-70, Mittel der Jahre 1993 bis 1995)

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-Bedarfswerte berechnet, als wenn Bedingungen des konventionellen bzw. integrierten Anbaus unterstellt werden (Tab. 5: am Beispiel von Kartoffeln erhöhter Bedarf an Stallmistfrischmasse von 35 %).

Tab. 5: Fruchtartenspezifische Stickstoffbilanzen für Kartoffeln bei unterschiedlicher Intensität der Bewirtschaftung (LEITHOLD, 1995)

	Symbol	integriert	ökologisch
<u>Gegeben:</u>			
• Zieldertrag (dt · ha ⁻¹)		350 (100%)	245 (70%)
• N-Entzugsfaktor ⁻¹)		0,5	0,45
• Mineral-N (kg · ha ⁻¹)	MDN	130	0
• Systemverwertung des N in Boden u. Pflanze	a _s ; b _s ; c _s ²⁾	75 ²⁾	85 ²⁾
• N-Nachlieferung aus Humusfonds (kg · ha ⁻¹)	MHN	100 ³⁾	120 ³⁾
• Verluste an Humus-N (%)	d _v	10 ⁴⁾	5 ⁴⁾
• N-Gehalt im Stallmist (kg · t ⁻¹)	α	5	4,5
• N aus sonst. Quellen (kg · ha ⁻¹)	N _z ⁵⁾	30	30

Methodik:

$$\text{Bedarf } N_{\text{biol}} = \frac{(E + \text{MHN} \cdot d_v) - (\text{MDN} \cdot a_s + N_z \cdot c_s)}{b_s} \quad [1]$$

(kg · ha⁻¹)

$$\text{Bedarf Stallmist} = \frac{\text{Bedarf } N_{\text{biol}} \text{ nach [1]}}{\alpha} \quad [2]$$

(t · ha⁻¹)

Lösung:

	integriert	ökologisch
Bedarf N _{biol} nach [1] in kg · ha ⁻¹	87	106
Stallmist – FM nach [2] in t · ha ⁻¹	17,4	23,6

1) Zieldertrag · N-Entzugsfaktor = N-Entzug (E)

2) je Variante gleiches Niveau der Systemverwertung von Mineral-N (a_s), Stallmist-N (b_s) und N aus sonst. Quellen (c_s) in Boden und Pflanze unterstellt; im ÖLB höhere Systemverwertung als im integrierten Landbau (HÜLSBERGEN u. GERSONDE, 1992)

3) differenziert nach unterschiedlichen Humusvorräten

4) Verlustrate an Humus-N durch Auswaschung und Denitrifikation, im ÖLB als niedriger eingestuft, da dort aufgrund von N-Mangel höhere N-Verwertung (vgl. auch Fußnote 2)

5) N_z: Saatgut, Niederschlag, frei lebende N-Sammler

Die spätere Anwendung der Humuseinheitenmethode in Öko-Betrieben unter Nutzung der speziell für den ÖLB nach den o.g. Gesichtspunkten modifizierten Bedarfskoeffizienten für humuszehrende Fruchtarten zeigte, dass mit diesen Kennzahlen im Vergleich zu den „konventionellen“ Koeffizienten deutlich plausiblere Ergebnisse zur Einschätzung der Humusversorgung erzielt werden konnten (vgl. Tab. 1 und 2).

5 Fazit und Ausblick

Die bisherigen Arbeiten lassen erkennen, dass es plausible Gründe dafür gibt, den Humushaushalt ackerbaulich genutzter Böden im ökologischen Landbau anders zu bewerten als bei konventioneller Bewirtschaftung. Es wurde eine erste Lösung für die Berücksichtigung dieser Problematik im Rahmen der Humusbilanzierung vorgestellt und gezeigt, dass mit modifizierten Bilanzkoeffizienten für den ökologischen Landbau plausiblere Bilanzsalden realisiert werden. Ohne Frage besteht ein erhöhter Forschungsbedarf, um diese Problematik weiter aufzuklären.

Im Rahmen eines dreijährigen interdisziplinären Forschungsvorhabens zum Thema „Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode der Humusbilanzierung im ökologischen Landbau“ werden die vorn geschilderten theoretischen Grundlagen zu diesem Themenfeld einer Prüfung unterzogen (Projektförderung im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau im Zeitraum 2005 bis 2007; Projektpartner: TU München, Professur für Ökologischen Landbau; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischer Landbau und Bodenschutz; Justus-Liebig-Universität Gießen, Professur für Organischen Landbau). Vorgesehen sind Systemvergleiche zwischen konventioneller und ökologischer Bodennutzung in Dauerfeldversuchen, eine Überarbeitung der bisher gebräuchlichen Kennziffern zur Humusbilanzierung im ökologischen Landbau sowie eine umfangreiche Validierung der Methodik in Praxisbetrieben.

Literatur

ASMUS, F. et al. (1979): Richtwerte für die Reproduktion der OSB und den Bedarf unter den Bedingungen der industriemäßigen Pflanzen- und Tierproduktion. F/E-Bericht, IDF Leipzig-Potsdam, Bereich Potsdam.

ASMUS, F. und V. HERRMANN (1977): Reproduktion der organischen Substanz des Bodens, Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft, Berlin 15, 11.

BAUMANN, E. und N. SCHMIDT (1979): Zum gegenwärtigen Stand der Bilanzierung des Bedarfs an organischer Substanz für die Reproduktion des Humusgehaltes der Böden bei der Freilandgemüseproduktion. Arch. Gartenbau 27, 349-356.

De Neve, S.; I. DIELTJENS; E. MOREELS und G. HOFMAN (2003): Measured and Simulated Nitrate Leaching on an Organic and a Conventional Mixed Farm. Biological Agriculture and Horticulture, 21, 217-229.

DJAKONOVA, K.W.; L.N. ALEKSANDROWA und I.S. KAURIČEV (1984): Empfehlungen für die Erforschung der Bilanz und Transformation der organischen Substanz bei landwirtschaftlicher Nutzung und intensiver Kultivierung der Böden (russ.). Dokučajev-Institut, Moskau, UDK 6.31.42: 631.417.2, 96 Seiten.

ECKERT, H. und G. BREITSCHUH (1997): Kritische Umweltbelastungen Landwirtschaft (KUL): Ein Verfahren zur Erfassung und Bewertung landwirtschaftlicher Umweltwirkungen. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Initiativen zum Umweltschutz 5, Umweltverträgliche Pflanzenproduktion; Zeller Verlag Osnabrück, S. 185-195.

- EMMERLING, C. (1998): Bodenbiologische und -ökologische Aspekte nachhaltiger landwirtschaftlicher Bodennutzung. Habilitationsschrift. Univ. Trier.
- HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Berichte aus der Agrarwirtschaft. Shaker Verlag Aachen. ISBN 3-8322-1464-X.
- HÜLSBERGEN, K.-J. und W. DIEPENBROCK (1997): Das Modell REPRO zur Analyse und Bewertung von Stoff- und Energieflüssen in Landwirtschaftsbetrieben. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Initiativen zum Umweltschutz 5, Umweltverträgliche Pflanzenproduktion; Zeller Verlag Osnabrück, S. 159-183.
- HÜLSBERGEN, K.-J. und J. GERSONDE (1992): Studies of matter cycles in ecologically managed farms by use of the computer-aided model REPRO. Proceedings of the 9th International Scientific Conference IFOAM, Nov. 16 to 21, 1992, Palácio das Convenções do Parque Anhembi São Paulo SP/Brazil.
- HÜLSBERGEN, K.-J.; B. KÜSTERMANN und H. SCHMIDT (2005): Humusmanagement im ökologischen Betrieb. In: Schriftenreihe der Bayer. LfL, 6, 55-69.
- KAURIČEV, I. S. und A.M. LYKOV (1979): Probleme des Humus der Ackerböden bei intensiver Bodenbearbeitung (russ.). Počvovedenie, Moskau 12, 5-14.
- KIRCHMANN, H. und L. BERGSTRÖM (2001): Do Organic Farming Practices Reduce Nitrate Leaching? Communications in Soil Science and Plant Analysis, 32, 997-1028.
- KÖPKE, U. (1995): Nutrient Management in Organic Farming Systems: the Case of Nitrogen. Biological Agriculture and Horticulture, 11, Vol. II, 15-29.
- KÖRSCHENS, M. und E. BUŠ (1982): Der Einfluss unterschiedlicher Fruchtarten auf den C_T -Gehalt des Bodens. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., Berlin 26, H. 11, 711-716.
- KUNDLER, P. und W. REIHER (1983): Beitrag zur Aufklärung der Beziehungen zwischen Bodeneigenschaften und Winterweizenerträgen auf Produktionsschlägen durch Versuche ohne Eingriff. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., 27, H. 2, 151-160.
- KUNDLER, P.; D. EICH; H.J. LISTE und K. RAUHE (1981): Mehr tun als nur ersetzen. DBZ 36, 8-9.
- LEITHOLD, G. (1984): Untersuchung der Beziehungen zwischen ackerbaulichen Maßnahmen, Ertrag und Humusreproduktion sowie Erarbeitung einer Methode zur Berechnung des Bedarfs des Bodens an organischer Primärschubstanz. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Sektion Pflanzenprod., Diss. B.
- LEITHOLD, G. (1994): Wie viel Humus für die Böden? Ökologie & Landbau 92, 5-7.
- LEITHOLD, G. (1995): Zu Besonderheiten des Humus- und Stickstoffhaushaltes im ökologischen Landbau. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges. 76, 871-874.
- LEITHOLD, G. (1996a): Wie hoch ist der Bedarf des Bodens an organischer Substanz? Ökologie & Landbau, 98, 42-44.
- LEITHOLD, G. (1996b): The special qualities of humus- and nitrogen budget in organic farming. Proceedings of the 11th International Scientific Conference IFOAM 1996 in Copenhagen 2, 52-55.
- 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. und K.-J. HÜLSBERGEN (1998): Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Ökologie & 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.
- LYKOV, A.M.; B.P. BOINTSCHAN und S.M. VJUGIN (1984): Organische Substanz und Fruchtbarkeit des Bodens im intensiven Ackerbau (russ.). Moskau, Obsornaja informazia.
- MÄDER, P.; A. FLIEßBACH; 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. und W. WERNER (1998): Nachhaltige landwirtschaftliche Produktionssysteme im Vergleich: Bewertung anhand von Umweltindikatoren. *Agrarspektrum* 28, VerlagsUnion Agrar, ISBN 3-7690-5027-4.
- PIORR, A. und W. WERNER (1999): Nachhaltige Landwirtschaftssysteme im Vergleich – Bewertung anhand von Umweltindikatoren. In: Nachhaltige Landwirtschaft – Wege zum neuen Leitbild, Arbeiten der DLG, 195, 121-149.
- RAUHE, K. und H. SCHÖNMEIER (1966): Über die Bedeutung des Humusersatzes beim Übergang zu industriemäßigen Produktionsmethoden. *Wiss. Zeitschr. Karl-Marx-Universität Leipzig, math.-naturwiss. Reihe* 15, H. 1, 1-5.
- RAUHE, K.; D. EICH und P. KUNDLER (1982): Humusmehrer gehören in jede Rotation. *DBZ* 19, 6-7.
- SCHULZ, E. (1990): Die heißwasserextrahierbare C-Fraktion als Kenngröße zur Einschätzung des Versorgungszustandes der Böden mit organischer Substanz (OS). *Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss., Berlin*, 295, 269-275.
- SCHULZ, E. (1997): Charakterisierung der organischen Bodensubstanz (OBS) nach dem Grad ihrer Umsetzbarkeit und ihre Bedeutung für Transformationsprozesse für Nähr- und Schadstoffe. *Arch. Acker-Pfl. Boden.*, 41, 465-483.
- THE DANG, N. (1990): Untersuchungen zum Einfluss langjähriger ackerbaulicher Maßnahme auf die Ausprägung wichtiger Bodenfruchtbarkeitseigenschaften sowie zu Wechselbeziehungen zwischen Boden, Ertrag und Qualität der Produkte auf der Basis von Ergebnissen des Bodenfruchtbarkeitsversuches Seehausen. *Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Diss.*
- VDLUFA (2004): VDLUFA-Standpunkt: Humusbilanzierung – Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. *Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Selbstverlag.*