

Aus dem Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde

Martin Körschens
Jutta Rogasik
Elke Schulz

Bilanzierung und Richtwerte organischer Bodensubstanz

Veröffentlicht in: Landbauforschung Völkenrode 55(2005)1: 1-10

Braunschweig
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
2005

Bilanzierung und Richtwerte organischer Bodensubstanz

Martin Körschens¹, Jutta Rogasik² und Elke Schulz³

Zusammenfassung

Eine standortangepasste Humusreproduktion in landwirtschaftlichen Betrieben ist ein wesentlicher Grundsatz der guten landwirtschaftlichen Praxis. Ziel der Humusbilanzierung ist es, die Zufuhr organischer Substanzen so zu dosieren, dass damit hohe und stabile Erträge in einer effizienten, nachhaltigen und umweltverträglichen Pflanzenproduktion erzielt werden. Der erforderliche Humusbedarf einer Fruchtfolge errechnet sich auf Grundlage der Humusbedarfsfaktoren unterschiedlicher Fruchtarten und der Humusersatzleistung organischer Dünger. Die Bedarfs- und Reproduktionsfaktoren werden in Humusäquivalenten ausgedrückt. Der Humussaldo wird anhand von Humusbilanzklassen bewertet. Die Eingruppierung der berechneten Humussalden in Humusbilanzklassen dient der Interpretation der Werte und der Ableitung von Managementmaßnahmen. Anzustreben ist die Bilanzklasse C, die langfristig standortangepasste Humusgehalte sowie geringe Umweltrisiken garantiert.

Richtwerte für die anbauspezifische Veränderung der Humusvorräte von Böden sowie für die Humusreproduktionsleistung verschiedener organischer Materialien wurden auf der Grundlage der Ergebnisse von mehr als 50 Dauerversuchen abgeleitet.

Durch mineralische und organische Düngung werden langfristig Erhöhungen des Humusgehaltes von maximal 0,5 % (absolut) gegenüber der ungedüngten Kontrolle erreicht. Optimale Düngungskombinationen sowie die Beziehungen zwischen der Masse an Ernte- und Wurzelrückständen ausgewählter Fruchtarten und dem Gehalt des Bodens an umsetzbarem Kohlenstoff werden aufgezeigt.

Schlüsselwörter: Organische Bodensubstanz, Humusbilanz, Richtwerte, Humusreproduktion, Düngung

Abstract

Balance and standard values of soil organic matter

The site-specific reproduction of humus in agricultural farms is a major principle of good agricultural practice. The aim of balancing soil organic matter is to apply organic substances in a way that guarantees high and stable yields in a sustainable plant production.

The required humus supply of a crop rotation is calculated on the base of coefficients accounting for the demand of different crops and the compensation of humus by organic fertilizers.

The demand and reproduction coefficients are expressed as humus equivalents. The balance is assessed on the basis of humus balance classes. The classification of the estimated balances into humus balance classes is used to interpret the values and to deduce management measures. The goal is to achieve the balance class "C", which stands for site-specific soil organic matter contents and a low environmental risk through nutrient losses.

The standard values for crop-specific changes in the soil carbon pool and for the compensation of humus by organic fertilizers were derived from results of more than 50 long term experiments.

Mineral and organic fertilization increased the organic C content of soils up to 0.5 % (absolutely) in the long run. The optimum combination of fertilizer treatments and the relationships between harvest and root residues on the one hand and the decomposable soil organic matter content on the other hand are demonstrated.

Keywords: soil organic matter, humus balance, standard values, reproduction of humus, fertilization

¹ Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

² Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig/Germany;

E-mail: pb@fal.de (Korrespondenzadresse)

³ Umweltforschungszentrum Leipzig GmbH (UFZ), Abteilung für Bodenkunde, Leipzig-Halle

1 Einleitung

Organische Substanz ist einer der Schlüsselfaktoren der Bodenbildung. Sie macht den Unterschied zwischen dem Ausgangsgestein und dem Boden aus und wird von Müller (1980) wie folgt definiert:

„Unter organischer Bodensubstanz wird die im Boden integrierte lebende und abgestorbene organische Substanz verstanden, wobei erstere die bodenbürtigen (autochthonen) Kleinlebewesen, das Edaphon, und letztere den Humus darstellt.“

Die Begriffe „Organische Bodensubstanz (OBS)“ und „Humus“ werden vielfach, so auch nachfolgend, synonym verwendet. Dies ist wissenschaftlich nicht ganz korrekt, entspricht jedoch dem allgemeinen Sprachgebrauch.

Die Bedeutung des Humus liegt in der komplexen Verbesserung nahezu aller Bodeneigenschaften. Eine ausreichende Humusversorgung ackerbaulich genutzter Böden dient daher der langfristigen Sicherung ihrer Gesundheit und Produktivität. Humus beeinflusst wichtige ökologische Bodenfunktionen wie:

- Speicherung von Nährstoffen und Wasser,
- Filter- und Puffervermögen,
- bodenbiologische Aktivität sowie
- Stabilität des Bodengefüges (Aggregatstabilität, Luft- und Wasserhaushalt).

Die Erhaltung standort- und bewirtschaftungstypischer Humusgehalte ist deshalb ein wesentlicher Grundsatz der guten landwirtschaftlichen Praxis. Optimale Humusgehalte leisten direkt, aber auch über die positive Wirkung auf die Pflanzenentwicklung und Bodenbedeckung, einen Beitrag zum Schutz des Bodens vor Schadverdichtungen und Erosion und damit zur Erhaltung der Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand. Zu hohe Humusgehalte können sich jedoch negativ auf die Bodenfunktionen auswirken durch unkontrollierte Mineralisation und dadurch bedingte Freisetzung von Nährstoffen. Überhöhte Humusgehalte steigern somit das potenzielle Risiko von Nährstoffverlusten. Außerdem wird Kohlenstoff, der zur Energiegewinnung genutzt werden könnte (z. B. Stroh) ohne positive Effekte „kalt verbrannt“. Daraus ergibt sich die dringende Notwendigkeit, Kriterien für eine aus der Sicht der Bodenfruchtbarkeit und des Umweltschutzes anzustrebende Versorgung der Ackerböden mit organischer Substanz zu erarbeiten. Diese optimale Humusversorgung sollte mit geeigneten Methoden quantifiziert und kontrolliert werden können. Aufgrund der vielfältigen Wirkungen ist eine standortangepasste Humusreproduktion in landwirtschaftlichen Betrieben eine wesentliche Grundlage zur Sicherung einer nachhaltigen Landbewirtschaftung.

Von einer Projektgruppe des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten wurde ein Standpunkt zur „Humusbilanzierung – Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusver-

sorgung von Ackerland“ erarbeitet (Körshens et al., 2004) und nach eingehender Diskussion als Grundlage für die Anwendung in der Praxis bestätigt. Die nachfolgenden Ausführungen basieren u. a. auf dieser methodischen Dokumentation.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, diesen theoretischen Ansatz anhand realer Daten aus Dauerversuchen zu verifizieren.

2 Bedeutung des Humus für Ertrag und Umwelt

Humus spielt für die Ertragsbildung eine entscheidende Rolle, wobei zwischen der *Nährstoffwirkung* und der *bodenverbessernden Wirkung* zu differenzieren ist. Bis in die zweite Hälfte des letzten Jahrhunderts war die *Nährstoffwirkung* von besonders großer Bedeutung, denn die verabreichten Mineraldüngermengen waren nur gering, bei Stickstoff betragen sie nur etwa $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$, Umweltrisiken waren hiervon nicht zu befürchten.

In den letzten Jahrzehnten hat sich in der Landwirtschaft jedoch ein grundlegender Wandel vollzogen. Mit dem zunehmenden Einsatz von Mineraldüngern und Pflanzenschutzmitteln, der Mechanisierung sowie der Einführung leistungsstärkerer Sorten sind die Erträge drastisch angestiegen und damit auch die auf dem Felde verbleibenden Ernte- und Wurzelrückstände (EWR), die wiederum eine wichtige Quelle für die organische Substanz des Bodens sind. Die Winterweizenertäge haben sich z. B. in den letzten 50 Jahren um 4 bis 5 t ha^{-1} erhöht, was einer Zunahme der EWR um 1 t ha^{-1} entspricht (Autorenkollektiv, 1989). Die Nährstoffversorgung der Pflanzen kann heute weitgehend nach Bedarf art-, mengen- und termingerecht über die Mineraldüngung gedeckt werden.

Eine Quantifizierung der *bodenverbessernden Wirkung* des Humus ist über den Vergleich einer optimalen Mineraldüngung mit der optimalen Kombination organischer/mineralischer Düngung möglich. Dieser Vergleich setzt wiederum Dauerfeldversuche voraus, da entsprechende Differenzierungen des Humus im Boden erst nach sehr langer Zeit eintreten und in der Regel mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen. In umfangreichen Arbeiten (Asmus, 1990, 1995; Gericke, 1948; Körshens, 1980; Klasink & Steffens, 1995; Lang et al., 1995) konnte nachgewiesen werden, dass die bodenverbessernde Wirkung der OBS auf Sandböden bis zu 10 % und auf Lehm Böden bis zu 6 % Ertragsvorteil bringt.

Unter diesem Gesichtspunkt spielt der Humus heute für die Ertragsbildung eine sekundäre Rolle, aber die Bedeutung für den Umweltschutz, auch mit Blick auf den globalen C- und N-Kreislauf, ist zunehmend in den Vordergrund gerückt. Anhand langfristiger Beobachtungsreihen konnte z. B. nachgewiesen werden, dass die Infiltrationsrate ganz entscheidend vom Gehalt des Bodens an organischer Substanz beeinflusst wird (Schnug & Haneklaus,

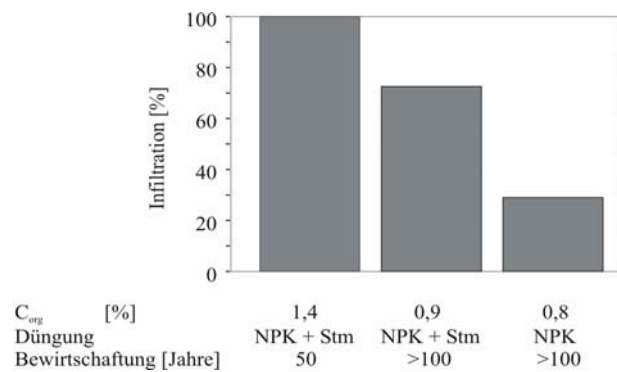


Abb. 1: Einfluss von Management und Bodeneigenschaften auf die Infiltration (Stm = Stallmist, 100 % = 332 mm h⁻¹) (Rogasik et al., 2004b)

2002; Rogasik et al., 2004a; Schnug et al., 2004) (Abb. 1). Nur ein Bodengefüge mit optimalen Regulationsfunktionen wird der Forderung nach Erhaltung der Ackerflächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand gerecht.

Bei den weiteren Betrachtungen ist von folgenden Prämissen auszugehen:

- Wesentliche Grundsätze der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung sind die nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und die Erhaltung der Leistungsfähigkeit des Bodens als natürliche Ressource (BBodSchG, § 17).
- Die Produktion von pflanzlicher Biomasse ist die einzig praktikable Möglichkeit, CO₂ aus der Atmosphäre zu binden. Auch aus diesem Grunde sind hohe Erträge Ziel einer nachhaltigen, landwirtschaftlichen Bodennutzung.
- Der standort- und bewirtschaftungstypische Humusgehalt des Bodens ist durch die ausreichende Zufuhr an organischer Substanz zu gewährleisten.
- Bei der Bilanzierung der Humusmengen, die im Bodennutzungsbedingt durch Abbau verloren gehen und durch organische Materialien ersetzt werden müssen, ist nur der umsetzbare Anteil (durch Humifizierung entstehender Boden-Kohlenstoff) zu kalkulieren.

3 Ziele und Anwendung der Humusbilanzierung

Ziel der Humusbilanzierung ist es, die Zufuhr organischer Substanzen so zu dosieren, dass damit hohe und stabile Erträge in einer effizienten, nachhaltigen und umweltverträglichen Pflanzenproduktion auf Mineralböden erzielt werden.

Die Humusbilanz informiert über die Veränderungen der Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte im Boden. Sie ist deshalb eine Voraussetzung, um aufgrund schlag- oder betriebsbezogener Stickstoffsalden die aktuelle Gefahr von N-Verlusten zu beurteilen, denn hohe N-Überschüsse erhöhen das potentielle Risiko der Umweltverschmutzung, aber auch Unterversorgung mit Nährstoffen gefährdet die Ressource „Boden“ und zwar durch „nutrient

mining“, Bodendegradation und abnehmende Bodenfruchtbarkeit.

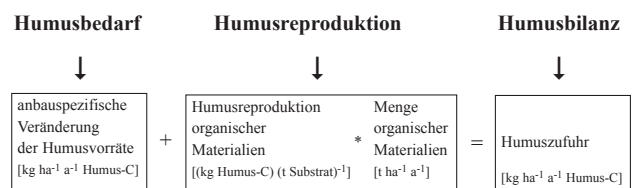
Da im Ökologischen Landbau keine mineralische Stickstoffdüngung erlaubt ist, erfolgt hier die notwendige Stickstoffversorgung durch eine vermehrte Zufuhr an organischer Substanz. Eine obere Begrenzung der Zufuhr an organischer Substanz im Ökologischen Landbau kann noch nicht festgelegt werden und bleibt zunächst offen. Vorstellungen zur Humusbilanzierung im Ökologischen Landbau wurden von Leithold & Hülsbergen (1998) veröffentlicht.

4 Das Prinzip der Humusbilanzierung

Die Humusbilanzierung zielt darauf ab, Veränderungen der Bodenhumusvorräte, die durch den Anbau verschiedener Kulturpflanzen entstehen, zu quantifizieren und Fehlbeträge durch Gaben an organischen Materialien auszugleichen. Der erforderliche Bilanzausgleich, d. h. der Humusbedarf innerhalb einer Fruchtfolge, errechnet sich auf Grundlage der Humusbedarfsfaktoren unterschiedlicher Fruchtarten und der Humusersatzleistung organischer Dünger (Stallmist, Stroh, Gülle, Kompost...). Stimmen Humusbedarf und -zufuhr nicht überein, kann es je nach Ausgangssituation und Vorbewirtschaftung zu einer An- oder Abreicherung an Humus kommen. Je mehr die Zufuhr organischer Substanzen den bewirtschaftungsabhängigen Humusbedarf unter- oder auch überschreitet, um so ungünstiger wird die Situation bewertet.

Für die Berechnung der Humusbilanz werden relativ leicht zu erhebende Bewirtschaftungsdaten benutzt, die bei einer guten fachlichen Düngungspraxis in jedem landwirtschaftlichen Betrieb verfügbar sind.

Die Berechnung der Humusbilanzsalden erfolgt gemäß nachfolgend skizzierten Schema:



5 Wissenschaftliche Grundlagen der Humusbilanzierung

In den letzten Jahrzehnten wurden verschiedene Bilanzierungsmethoden erarbeitet, die den notwendigen Humusersatz durch geeignete organische Substanzen (Stalldung, Gülle, Stroh, Gründüngung etc.) unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Humifizierung kalkulieren (Asmus & Herrmann, 1977; Autorenkollektiv, 1977; Körschens & Schulz, 1999; Leithold et al., 1997).

Grundlage für die Ableitung der Bedarfs- und Reproduktionsfaktoren für die Humusbilanzierung waren

Ergebnisse aus Untersuchungen der Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik im Boden in 30 Dauerfeldversuchen sowie 42 Vergleiche aus 22 langjährigen Fruchtfolge-Düngungsversuchen (Asmus & Herrmann, 1977; Körschens, 1988).

Die durch den Anbau bestimmter Fruchtarten verursachte Humusabnahme oder -zunahme sowie die durch

die Humusersatzleistung verschiedener organischer Dünger bewirkte Humusanreicherung wurden bislang durch die Einheiten „Reproduktionswirksame organische Substanz“ (ROS, ausgedrückt in Äquivalenz zur Vergleichssubstanz organische Stallungstrockenmasse, Asmus and Herrmann, 1977) bzw. „Humuseinheit“ (HE, ausgedrückt in Äquivalenten zur organischen Bodensubstanz (Leithold

Tabelle 1:

Richtwerte für die anbauspezifische Veränderung der Humusvorräte von Böden in Humusäquivalenten (kg Humus-C) ha⁻¹·a⁻¹ (Körschens et al., 2004) (Negative Werte kennzeichnen den erforderlichen Humusbedarf).

<i>Hauptfruchtarten</i>	kg Humus-C ha ⁻¹ ·a ⁻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- und Heilpflanzen	- 280	- 400
Körnerleguminosen	160	240
<i>Bedarfsfaktoren für Zucker- und Futterrüben, Getreide einschließlich Körnermais und Ölfrüchten ohne Koppelprodukte; bei den restlichen Fruchtarten ist die Humusersatzleistung der Koppelprodukte im Humusbedarf berücksichtigt.</i>		
<i>Mehrjähriges Feldfutter</i>		
Ackergras, Leguminosen, Leguminosen-Gras-Gemenge, Vermehrung und 4. Gruppe Gemüse/Gewürz/Heilpflanzen		
• je Hauptnutzungsjahr	600	800
• im Ansaatjahr		
als Frühjahrsblanksaat	400	500
bei Gründeckfrucht	300	400
als Untersaat	200	300
als Sommerblanksaat	100	150
<i>Zwischenfrüchte</i>		
Winterzwischenfrüchte	120	160
Stoppelfrüchte	80	120
Untersaaten	200	300
<i>Brache</i>		
Selbstbegrünung		
• ab Herbst		180
• ab Frühjahr des Brachejahres		80
Gezielte Begrünung		
• ab Sommer der Brachlegung incl. dem folgenden Brachejahr **		700
• ab Frühjahr des Brachejahres		400
** gilt auch für nachfolgende Jahre		
* Umrechnungsfaktoren: 1 t ROS ≈ ca. 200 kg Humus-C 1 HE ≈ ca. 580 kg Humus-C		

et al., 1997) quantifiziert. Beide Größen lassen sich ineinander umrechnen (1 t ROS = 0,35 HE, 1 HE = 2,8 t ROS).

Die Quantifizierung des nutzungsabhängigen Humushaushaltes im Boden und der Humusersatzleistung verschiedener organischer Substanzen als Kenngrößen für nationale Regelwerke erforderte eine Vereinheitlichung der Humusbilanzierung. Der Begriff „Humusäquivalent“ (Häq, ausgedrückt als kg C ha⁻¹) wird nun einheitlich als Richtwert für diejenigen Humusmengen verwendet, die im Boden nutzungsbedingt durch Abbau verloren gehen und durch organische Düngung ersetzt werden sollten (anbauspezifischer Humusbedarf). Dem steht bei der Bilanzierung die sehr unterschiedliche Humusreproduktion durch verschiedene organische Substanzen gegenüber, die ebenfalls in Humusäquivalenten, d.h. in kg des daraus durch Humifizierung entstehenden Boden-C je Tonne des betreffenden Substrats ausgedrückt wird.

Zum Vergleich:

- 1 Humusäquivalent (Häq) entspricht 1 kg C in der humifizierten organischen Masse des Bodens.
- 1 t ROS entspricht der Humusersatzleistung von 1 t Rottemist-Trockenmasse, aus der nach der Humifizierung ca. 200 kg C im Boden verbleiben.

- 1 HE entspricht 1 t Humus-Trockenmasse, die etwa 580 kg C enthält.

6 Bedarfs- und Reproduktionsfaktoren für die Humusbilanz

Die Bedarfsfaktoren kennzeichnen die Richtwerte für die anbauspezifischen Veränderungen der Humusvorräte in Böden (Tabelle 1). Es werden untere Werte und obere Werte angegeben.

Die Anwendung der unteren Werte gewährleistet eine Bedarfsbestimmung bei:

- standort- und bedarfsgerechter Anwendung von Mineraldüngerstickstoff und
- einer über einen längeren Zeitraum ausgeglichenen Humusbilanz.

Die Anwendung der oberen Werte ist zu empfehlen bei:

- negativer Humusbilanz der vorangegangenen Jahre,
- Humusmangel, der nach gegenwärtigem Kenntnisstand als ein Gehalt von weniger als 200 mg kg⁻¹ Boden heißwasserlöslichem Kohlenstoff definiert ist (VDLUFA-Methode A.4.3.2; Körschens & Schulz, 1999; Schulz, 2000, 2002; Körschens et al., 2002; Schulz et al. 2002).

Tabelle 2:

Richtwerte für die Humusreproduktionsleistung verschiedener organischer Materialien in Humusäquivalenten (kg Humus-C je t Substrat) (Körschens et al., 2004)

Material		TS %	Humus-Reproduktion kg Humus-C je t Substrat
Stalldung	Frischmist	20	28
		30	40
	Rottemist, Güllefeststoff	25	40
		35	56
Gülle	Schwein	4	4
		8	8
	Rind	4	6
		10	12
	Geflügelkot	15	12
25		22	
Klärschlamm	ausgefäult, unbehandelt kalkstabilisiert	10	8
		20	16
Gärrückstände	flüssig	4	6
	fest	25	36
	Kompost	30	40
Bioabfallkompost	nicht verrottet	20	30
	Friskompost (Feldbaukompost)	30	40
	Fertigkompost	40	46
Pflanzenmaterial	Stroh	86	80 bis 110
	Gründüngung, Rübenblatt	10	8
	Grünschnitt	20	16
Sonstige Materialien	Rindenkompost	30	60
	See- und Teichschlamm	10	10

Tabelle 3:
Bewertung der Humussalden (Körschens et al., 2004)

Humussaldo		Wirkung auf Humusvorrat	Bewertung
kg C ha ⁻¹ a ⁻¹ *	Gruppe		
< -200	A sehr niedrig	starke Abnahme	ungünstige Beeinflussung von Boden- funktionen und Ertragsleistung
-200 bis -76	B niedrig	Abnahme	mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus angereicherten Böden
-75 bis 100	C optimal	Erhaltung	optimal hinsichtlich Ertragssicherheit bei geringem Verlustrisiko langfristig Einstellung standortange- passster Humusgehalte
101 bis 300	D hoch	Zunahme	mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus verarmten Böden
> 300	E sehr hoch	starke Zunahme	erhöhtes Risiko für Stickstoff- Verluste, niedrige N-Effizienz
* Umrechnungsfaktoren: 1 t ROS ≈ 200 kg C		1 HE ≈ 580 kg C	

Die Bedarfsfaktoren der einzelnen Fruchtarten wurden anhand ihres jeweiligen C- und N-Umsatzes aus Dauer- versuchen abgeleitet. Bestimmende Faktoren für die Humusakkumulation beim Anbau mehrjähriger Futter- pflanzen sind die großen Mengen an Ernte- und Wurzel- rückständen sowie die während der Nutzungsdauer beste- hende Bodenruhe. Auf die Humusanreicherung haben auch das Ansaatverfahren, die Nutzungsdauer und der Ertrag Einfluss.

Die organischen, zur Düngung verwendeten Materialien sind in ihrer Effizienz zur Reproduktion der organischen Bodensubstanz sehr differenziert zu beurteilen. Sie sind auszugsweise in Tabelle 2 angegeben. Die Reproduktions- faktoren berücksichtigen die unterschiedliche stoffliche Zusammensetzung, das Umsetzungsverhalten und die dar- aus resultierende Humifizierung. Es erfolgt eine Abstufung der Humusersatzleistung nach dem Rottegrad in Frischmist, Rottemist und Mistkompost sowie eine Diffe- renzierung der Gülle nach Tierarten. Innerhalb der sonsti- gen organischen Materialien wird nach der stark variiere- den Feuchte differenziert.

Die Einhaltung der für organische Materialien gelte- den Mengenbegrenzungen nach Abfallrecht, Düngerecht und/oder Bodenschutzrecht ist unabhängig von der Humusbilanz zu prüfen und zu gewährleisten.

Die Anwendung der Humusbilanz sollte mehrjährig auf Betriebs-, Fruchtfolge- oder Schlagebene erfolgen.

7 Bewertung der Humusversorgung

Der jeweilige Humussaldo wird anhand der Humusbi- lanzklassen gemäß Tabelle 3 bewertet. Die Eingruppie- rung der berechneten Humussalden in Humusbilanzklas- sen dient der Interpretation der Werte und der Ableitung von Managementmaßnahmen. Anzustreben ist die Bilanz- klasse C, die langfristig standortangepasste Humusgehalte sowie geringe Umweltrisiken garantiert. Hohe negative bzw. positive Bilanzsalden, entsprechend Bilanzklassen A und D, sind zu vermeiden, da die Bodenfunktionen ungünstig beeinflusst werden bzw. das Risiko des N-Aus- trages ansteigt.

8 Richtwerte

Für die Verifizierung der Bilanzmethode ist die Kennt- nis der aus der Sicht der Ertragsbildung und des Umwelt- schutzes optimalen Humusgehalte notwendig. Von ver- schiedenen Autoren wurden auf der Grundlage von Dau- erfeldversuchsergebnissen und der jahrzehntelangen Erfahrungen an den jeweiligen Standorten die optimalen Düngungskombinationen abgeleitet. Als „optimal“ wurde jeweils die Düngungsvariante bezeichnet, bei der in Kom- bination mit Mineraldüngung durch eine vermehrte Zufuhr an organischer Substanz keine weitere Ertragsstei- gerung erzielt und die höchste Effizienz der N-Düngung erreicht wurde. Teilweise wurden C-Bilanz und Energie- gewinn in die Bewertung einbezogen (Rathke et al., 2002).

In Tabelle 4 und in Abb. 2 sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen dargestellt. Es zeigt sich, dass die Diffe- renz zwischen den ungedüngten Prüfgliedern und den

Tabelle 4:

Experimentell ermittelter und bilanzierter Humusbedarf (Stallung-Rottemist) für die Optimalvarianten von Dauerfeldversuchen

Standort	Tongehalt [%]	Anlagejahr	Humusbedarf [t ha ⁻¹ a ⁻¹]	
			experimentell ermittelt	bilanziert
Bad Lauchstädt ¹⁾	21	1902/1978	10	13
Methau ²⁾	16	1966	10	13
Spröda ²⁾	6	1966	10	13
Müncheberg ³⁾	5	1962	8	13
Braunschweig ³⁾	10	1952	10	13
Groß Kreutz ⁴⁾⁵⁾	5	1967	10-15	13
Thyrow ⁶⁾	3	1938	10	10,2
Speyer ⁷⁾	15	1958/1983	15	12,7
Seehausen ⁸⁾	8	1966	12	11,8
Mittel			11,1	12,5

¹⁾ Körschens et al., 1994, Rathke et al., 2002, ²⁾ Albert, 1999, ³⁾ Rogasik et al., 2004a, ⁴⁾ Asmus, 1995, ⁵⁾ Zimmer and Roschke, 2001, Prystav and Zimmer, 2002, ⁶⁾ Lettau and Ellmer, 1997, ⁷⁾ Bischoff and Emmerling, 2003, ⁸⁾ Leithold et al., 1997

Optimalvarianten auf sandigen Böden bis zu einem Tongehalt von 6 % unter 0,3 % C_{org} liegt, in zwei Fällen, Spröda und Müncheberg, unter 0,2 %. Daraus wird auch ersichtlich, dass auf diesen Böden nur ein sehr enger Spielraum besteht und die durch eine Erhöhung des Humusgehaltes erreichbaren Verbesserungen fruchtbarkeitsbestimmender Bodeneigenschaften sehr begrenzt sind.

Auf den „besseren“ Böden liegt dieser Anteil zwischen 0,3 und 0,51 % C_{org}. Die erforderlichen Stallungsmengen zur Erhaltung dieses Niveaus betragen 8 bis 15 t ha⁻¹ a⁻¹ (vgl. Tabelle 4). Der Vergleich zwischen der als optimal ermittelten Düngermenge und dem nach der Bilanzmethode berechneten Bedarf zeigt eine gute Übereinstimmung

(Tabelle 4). Im Durchschnitt wird der experimentell ermittelte Bedarf an organischer Stallungsmasse bei der Bilanzierung um 1,4 t ha⁻¹ a⁻¹ überschätzt. Nur in einem Falle wird der Bedarf mit der Bilanz unterschätzt. Aber auch aus der Sicht des Nährstoffangebotes ergibt sich eine Begrenzung. Mit 10 t Stallung werden etwa 60 kg ha⁻¹ N ausgebracht. Zusammen mit 50 kg ha⁻¹ a⁻¹ N als Eintrag aus der Atmosphäre sind dies bereits 75 % des durchschnittlichen N-Entzuges in Deutschland, und es bleibt wenig Spielraum für eine fruchtarten- und ertragsabhängige Steuerung.

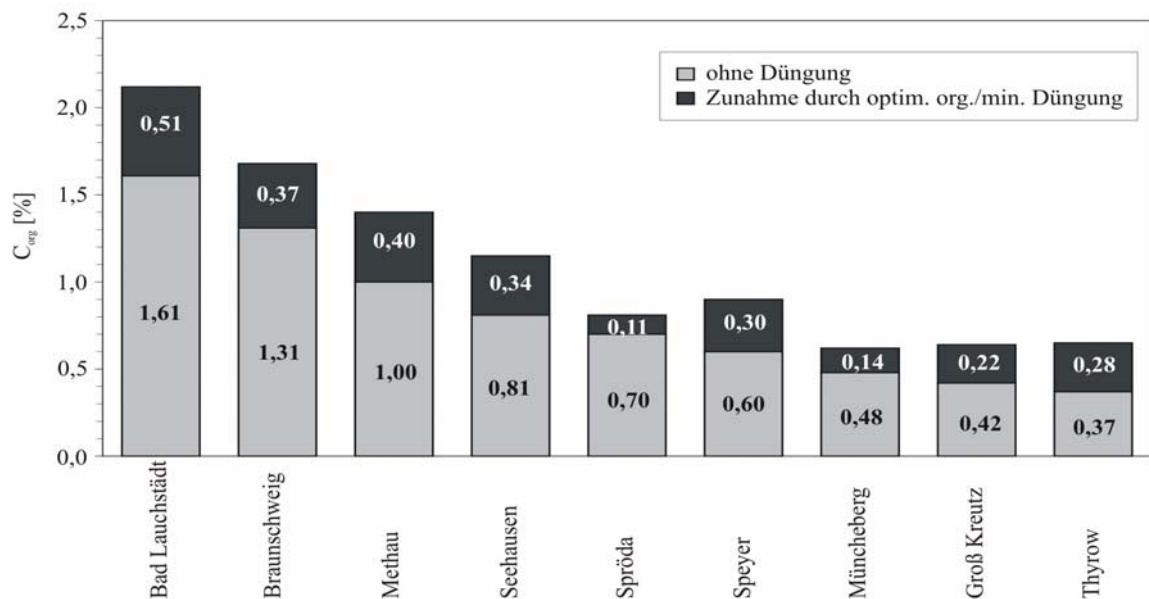


Abb. 2:

Gehalt an organischem Kohlenstoff (0-30 cm) in Abhängigkeit von der Düngung in 9 Dauerdüngungsversuchen Deutschlands (Laufzeit der Versuche 20-100 Jahre)

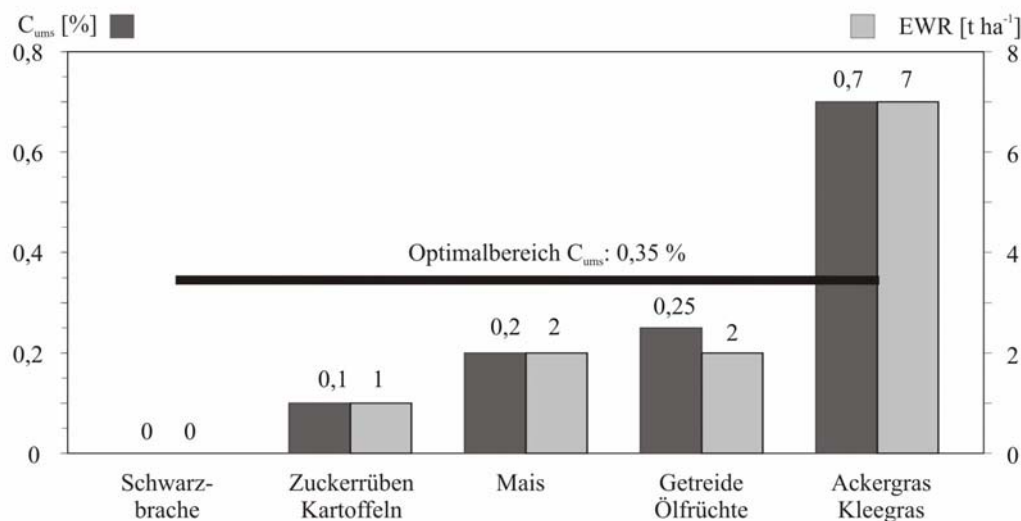


Abb. 3: Beziehungen zwischen der Masse an Ernte- und Wurzelrückständen (EWR) ausgewählter Fruchtarten und dem Gehalt des Bodens an umsetzbarem Kohlenstoff (C_{ums}) im Durchschnitt von 22 Dauerfeldversuchen (Laufzeit der Versuche 20-100 Jahre)

Eine gute Übereinstimmung zeigt auch der Vergleich zwischen der Masse an Ernte- und Wurzelrückständen ausgewählter Fruchtarten und dem Gehalt an umsetzbarem C im Durchschnitt von 22 Dauerfeldversuchen (Abb. 3). Geringe Zufuhr an Ernte- und Wurzelrückständen bedingt auch niedrige Gehalte an umsetzbarem Kohlenstoff. Demzufolge besteht besonders beim Anbau von Hackfrüchten ein hoher Humusbedarf, während mit mehrjährigem Feldfutter ein Humusgewinn erreicht wird (vgl. Tabelle 1).

9 Diskussion

Das Prinzip und die praktische Handhabung der Humusbilanzierung sind in den hier vorgestellten Materialien gegenüber dem bisherigen Kalkulationsverfahren (ROS, HE) unverändert, es ändern sich praktisch nur die Koeffizienten zur Berechnung der anbauspezifischen Veränderung der Humusvorräte sowie der Humusreproduktionsleistung verschiedener organischer Materialien. Die Bedarfswerte bringen im Ergebnis nur geringfügige Änderungen gegenüber den bisherigen Werten, weisen jedoch Bereiche aus. Nach mehr als 25jähriger Erfahrung liegt mit der vereinheitlichten Humusbilanzierung ein praktisch nutzbares Verfahren zur Beurteilung des Humushaushaltes ackerbaulich genutzter Böden vor. Die in Tabelle 1 als untere Werte ausgewiesenen Bedarfswerte sichern einen Humusgehalt, der aus Sicht der Ertragsbildung völlig ausreicht, aber auch für höhere Gehalte ergibt sich hinreichend Spielraum. Damit wird der erfasste Bereich mit sehr großer Wahrscheinlichkeit auch bei zukünftigen Präzisierungen nicht über- oder unterschritten.

Für die Ertragsbildung ist eine obere Begrenzung mit der aus dem Humus mineralisierten N-Menge gegeben, wenn diese ertrags- oder qualitätsmindernd wirkt (Lager bei Getreide, überhöhte N-Gehalte im Erntegut, Nitratgehalte bei Gemüse etc.). Sie wird bei „guter fachlicher Praxis“ kaum erreicht.

Für die Umwelt spielen vorrangig der N und der C eine wichtige Rolle. Alle Versuche zeigen, dass Stickstoff aus der organischen Substanz schlechter ausgenutzt wird als Mineraldünger-N.

Baumgärtel et al., (2003) formulieren: „So steigen beispielsweise die unvermeidbaren N-Verluste mit steigenden Ausbringungsmengen organischer Dünger auch bei Beachtung aller Regeln der guten fachlichen Praxis an und können aus der Sicht des Umweltschutzes ein nicht akzeptables Niveau erreichen.“ Hinsichtlich einer möglichen Belastung der Umwelt (Atmosphäre, Grundwasser) durch Stickstoff sind Humusgehalte anzustreben, die diese potenziellen Risiken minimieren. Gleiches gilt auch für den Kohlenstoff wenn man berücksichtigt, dass der notwendige Aufwand an organischer Primärschubstanz die zu speichernde C-Menge durchschnittlich um das Zehnfache übersteigt. Das heißt, dass 90 % des eben aus der Atmosphäre entnommenen C wieder abgegeben werden, ohne davon einen Nutzen zu haben (Körschens, 2004). Dies trifft insbesondere zu, wenn Stroh für die Reproduktion der organischen Substanz eingesetzt wird, das wesentlich umweltfreundlicher verwertet werden kann. Nach Schmidt & Merbach (2004) waren auf dem Lehmboden in Halle mit einem Tongehalt von 12 % nach 48 Versuchsjahren nur noch 6 % des mit Stroh zugeführten C nachzuweisen.

Die Bedeutung des Humus ist in den letzten Jahren, auch im Zusammenhang mit Fragen des Umweltschutzes und mit der Nutzung des Bodens als C-Senke, stark in den Vordergrund gerückt. Die Kenntnis optimaler Versorgung des Bodens mit organischer Substanz als Voraussetzung für eine nachhaltige Bodennutzung ist daher dringend erforderlich.

Die Humusbilanzierung basiert auf dem gegenwärtigen Kenntnisstand und sollte in allen landwirtschaftlichen Betrieben als integraler Indikator für die Gewährleistung von Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit der Agrarproduktion angewendet werden.

Trotz jahrzehntelanger Forschung sind jedoch noch viele Fragen offen. Die Forschungsaktivitäten auf der Basis von langjährigen Feldversuchen sollten vor allem zu folgenden Fragen fortgeführt werden:

- (1) Aufklärung des Einflusses pflugloser Verfahren der Grundbodenbearbeitung, der Bodenwasserregulierung, unterschiedlicher Standortbedingungen sowie unterschiedlicher Intensitätsgrade der Anwendung chemischer Betriebsmittel auf Humusgehalt und -dynamik sowie auf den sich daraus ableitenden Bedarf des Bodens an organischer Substanz;
- (2) Erarbeitung von Kennziffern zum Bedarf des Bodens an organischer Substanz und zur Humusreproduktionsleistung verschiedener Fruchtarten bzw. Fruchtartengruppen in Abhängigkeit von Ertrag sowie von Menge und Zersetzbarkeit der Ernte- und Wurzelrückstände;
- (3) Präzisierung der Kennziffern zur Humusreproduktionsleistung verschiedener organischer Dünger und Düngestoffe, insbesondere für Stroh, Rübenblatt, Gärrückstand, Kompost und Klärschlamm;
- (4) Erarbeitung von entsprechenden Koeffizienten für den ökologischen Landbau;
- (5) Erweiterung der Methodik der landwirtschaftlichen Humusbilanzierung auf die Humusreproduktion in landschaftsbaulichen Anlagen.

Literatur

Albert E (1999) Wirkung einer langjährig differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf Ertragsleistung, Humusgehalte und N-Bilanz. UFZ-Bericht 1999/24:59-62

Asmus F, Herrmann V (1977) Reproduktion der organischen Substanz des Bodens. Berlin : Akad d Landw-Wissensch der DDR / Institut f Landwirtschaftl Information u Dokumentation, Fortschrittsber Landwirtschaftl Nahrungsgüterwirtsch 15(1977)11

Asmus F (1990) Versuch M 4 Groß Kreuz - Wirkung organischer und mineralischer Düngung und ihrer Kombination auf Pflanzenertrag und Bodeneigenschaften. In: Körschens M (1990) Dauerfeldversuche : Übersicht, Entwicklung und Ergebnisse von Feldversuchen mit mehr als 20 Jahren Versuchsdauer. Berlin : Akad d Landw-Wissensch der DDR, pp 245-250

Asmus F (1995) Ergebnisse aus einem langjährigen Dauerversuch zur organisch-mineralischen Düngung auf Tieflehm-Fahlerde. Arch Acker- Pflanzenbau Bodenkd 39:359-367

Autorenkollektiv (1977) Empfehlungen zur effektiven Versorgung der

Böden mit organischer Substanz. Markkleeberg : Landwirtschaftsausst d DDR, Ackerkultur : Empfehlungen für die Praxis, p 23

Autorenkollektiv (1989) Modell und Parameter des Einflusses der Wurzelmasseentwicklung der Hauptfruchtarten auf die C- und N-Dynamik des Bodens. Müncheberg : Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit, 48 p

Baumgärtel G, Ebertseder R, Gutser R, Hege U, Hüther J, Lorenz F, Orlovius K, Pollehn J, Pradt D, Rex M, Wodsak H-P (2003) Nährstoffverluste aus landwirtschaftlichen Betrieben mit einer Bewirtschaftung nach guter fachlicher Praxis. Frankfurt a M : Bundesarbeitskreis Düngung (BAD)

Bischoff R, Emmerling R (2003) Auswirkungen differenzierter organischer und mineralischer Düngung auf die Nährstoffsalzen und Bodengehalte : Ergebnisse langjähriger Dauerversuche: Im Druck

Gericke S (1948) Probleme der Humuswirtschaft. Probleme der Wissenschaft in Vergangenheit und Gegenwart 1948:51-168

Klasink A, Steffens G (1995) Der Internationale Organische Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Oldenburg nach neun Versuchsjahren. Arch Acker- Pflanzenbau Bodenkd 39:449-460

Körschens M (1980) Die Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz von Standortfaktoren und acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen, ihre Beziehungen zu Bodeneigenschaften und Ertrag sowie Ableitung von ersten Bodenfruchtbarkeitskennziffern für den Gehalt des Bodens an organischer Substanz. Berlin : Akad d Landwirtschaftswiss d DDR, 115 p

Körschens M (1988) Beitrag unterschiedlicher Fruchtarten und Fruchtfolgen zur Versorgung der Böden mit organischer Substanz. Tagungsber Akad Landwirtschaftswiss DDR 261:347-352

Körschens M, Stegemann K, Pfefferkorn A, Weise V, Müller A (1994) Der Statische Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 90 Jahren. Stuttgart, Leipzig : Teubner-Verlag, 179 p

Körschens M, Schulz E (1999) Die organische Bodensubstanz - Dynamik - Reproduktion - Ökonomisch und ökologisch begründete Richtwerte: UFZ-Bericht 13:1-4

Körschens M, Schulz E, Titova NA (2002) Humus dynamics in loess chernozem. Eurasian Soil Sci 35(5):533-538

Körschens M (2004) Soil organic matter and environmental protection. Arch Agron Soil Sci 50:3-9

Körschens M, Rogasik J, Schulz E, Böning H, Eich D, Ellerbrock R, Franko U, Hülsbergen K-J, Köppen D, Kolbe H, Leithold G, Merbach I, Peschke H, Prystav W, Reinhold J, Zimmer J (2004) Humusbilanzierung : Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Bonn : VDLUFA, 12 p, Standpunkt / VDLUFA

Lang H, Dressel J, Bleiholder H (1995) Langzeitwirkung der Stickstoffdüngung IOSDV-Standort Limburgerhof (Deutschland) in der Reihe „Internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuche“. Arch Acker- Pflanzenbau Bodenkd 39:429-448

Leithold G, Hülsbergen K-J, Michel D, Schönmeier H (1997) Humusbilanz - Methoden und Anwendung als Agrar-Umwelt-Indikator. In: Diepenbrock W (ed) Umweltverträgliche Pflanzenproduktion : Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen ; Beiträge. Osnabrück : Zeller, Initiativen zum Umweltschutz 5:43-54

Leithold G, Hülsbergen K-J (1998) Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Ökologie und Landbau 105:32-35

Lettau T, Ellmer F (1997) Kohlenstoffgehalte und -bilanzen nach langjährig differenzierter Düngung eines Sandbodens - Ergebnisse aus einem Dauerfeldversuch. In: Stoff- und Energiebilanzen in der Landwirtschaft : 109. VDLUFA-Kongress in Leipzig, 15. bis 19. September 1997 ; Kurzfassungen der Vorträge. Darmstadt : VDLUFA-Verl, p 99

Müller G (1980) Bodenkunde. Berlin : Deutsch Landwirtsch Verl, 392 p

Prystav W, Zimmer J (2002) Humusbilanzierung als Beitrag zur guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung : Vergleich von Bilanzmethoden anhand eines brandenburgischen Dauerfeldversuches. VDLUFA-SchR 58:206-208

- Rathke GW, Körschens M, Diepenbrock W (2002) Substance and energy balances in the „Static Fertilization Experiment Bad Lauchstädt“. Arch Acker- Pflanzenbau Bodenkd 48:423-433
- Rogasik J, Schroetter S, Funder U, Schnug E, Kurtinecz P (2004a) Long-term fertilizer experiments as a data base for calculating the carbon sink potential of arable soils. Arch Agron Soil Sci 50/1 (Spec Iss):11-19
- Rogasik J, Panten K, Schnug E, Rogasik H (2004b) Infiltration management factors [online]. In: Lal R (ed) Encyclopedia of soil science. New York : Dekker, zu finden in <<http://www.dekker.com/servlet/product/productid/E-ESS>> [zitiert am 30.11.2004]
- Schnug E, Haneklaus S (2002) Landwirtschaftliche Produktionstechnik und Infiltration von Böden : Beitrag des ökologischen Landbaus zum vorbeugenden Hochwasserschutz. Landbauforsch Völkenrode 52(4):197-203
- Schnug E, Rogasik J, Panten K, Paulsen H-M, Haneklaus S (2004) Ökologischer Landbau erhöht die Versickerungsleistung von Böden. Ökologie und Landbau 32(132):53-55
- Schmidt L, Merbach W (2004) Reaktion des Boden-C und N-Gehaltes auf Düngung : Ergebnisse von Dauerversuchen in Halle/Saale, Deutschland. Arch Agron Soil Sci 50:49-57
- Schulz E (2000) Einfluß von Bodenart und langjährig differenzierter Düngung auf die Akkumulation und Stabilisierung organischer Bodensubstanz (OBS) in unterschiedlichen Bodenfraktionen. Arch Acker- Pflanzenbau Bodenkd 45:365-380
- Schulz E (2002) Influence of extreme management on decomposable soil organic matter pool. Arch Acker- Pflanzenbau Bodenkd 48:101-105
- Schulz E, Travnikova LS, Titova NA, Kogut BM, Körschens M (2002) Influence of soil type and fertilization on stabilization of organic carbon in different SOM fractions. In: Proceedings 12th International Soil Conservation Organization Conference, May 27-31, Beijing, China : vol. III, pp 304-308
- Zimmer J, Roschke M (2001) Einfache Reproduktion der organischen Bodensubstanz auf Sandstandorten : Erfahrungen aus Dauerversuchen im Land Brandenburg [CD-ROM]. In: Kongressband 2001 Berlin : Generalthema: „Landwirtschaft in mittel- und osteuropäischen Ländern – Potenziale und deren Nutzung ; Teil 2 ; 113. VDLUFA-Kongress vom 17. bis 21. September 2001. Darmstadt : VDLUFA-Verl, pp 481-489