
Standpunkt

Humusbilanzierung

Eine Methode zur Analyse und Bewertung
der Humusversorgung von Ackerland

Zuständige Fachgruppe:

I Pflanzenernährung, Produktqualität und Ressourcenschutz

Bearbeiter:

Prof. Dr. T. Ebertseder, Freising;
Prof. Dr. C. Engels, Berlin;
Dr. J. Heyn, Kassel;
Prof. Dr. K.-J. Hülsbergen, Freising;
Dr. K. Isermann, Hanhofen;
Dr. H. Kolbe, Nossen;
Prof. Dr. G. Leithold, Giessen;
Dr. J. Reinhold, Kleinmachnow;
H. Schmid, Freising;
Dr. K. Schweitzer, Berlin;
Dr. M. Willms, Müncheberg;
J. Zimmer, Güterfelde

Speyer, den 07. März 2014

Impressum

Standpunkt des VDLUFA, 07. März 2014

Herausgeber: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und
Forschungsanstalten (VDLUFA)
Obere Langgasse 40, 67346 Speyer
Tel.: 06232-136 121; Fax: 06232-136 122
E-Mail: info@vdlufa.de
Internet: <http://www.VDLUFA.de>

Präsident: Prof. Dr. F. Wiesler

Stellungnahmen (zustimmend):

Dr. J. Heyn, Kassel; Dr. H. Kolbe, Nossen;
Prof. Dr. W. Merbach, Halle/S.; Dr. L. Nätscher, Freising;
Prof. Dr. H.-W. Olf, Osnabrück; Prof. Dr. G. Schilling, Halle/S.;
H. Schmid, Freising; Dr. K. Schweitzer, Berlin;
Dr. K. Severin, Hannover; Dr. M. Willms, Müncheberg;
J. Zimmer, Güterfelde; Dr. W. Zorn, Jena

Stellungnahmen (ablehnend):

Dr. K. Isermann, Hanhofen;
Prof. Dr. M. Körschens, Bad Lauchstädt

Gesamtherstellung: VDLUFA, Selbstverlag

Endredaktion: VDLUFA Geschäftsstelle

Die Standpunkte des VDLUFA sind urheberrechtlich geschützt

Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland

Präambel

Der vorliegende Standpunkt ist eine Überarbeitung des gleichnamigen Standpunktes aus dem Jahr 2004 (Körschens et al., 2004). Die dort fixierte methodische Basis wurde nicht wesentlich verändert, sondern lediglich anhand des aktuellen Wissensstandes überprüft und ergänzt. Dies erfolgte streng nach dem Grundprinzip, dass Änderungen und Ergänzungen nur dann vorgenommen wurden, wenn diese durch wissenschaftliche Arbeiten belegt werden konnten. Zur Überprüfung hat wesentlich auch ein BLE-gefördertes Forschungsprojekt „Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen“ (Engels et al., 2010) beigetragen.

Die textliche Überarbeitung des Standpunktes hatte vor allem das Ziel, die methodischen Grundlagen und die Aussagemöglichkeiten klarer zu formulieren und so die bei der Anwendung der im Standpunkt aus dem Jahr 2004 zum Teil aufgetretenen Missverständnisse und Fehlinterpretationen zu minimieren.

Wesentliche Teile des vorliegenden Standpunktes entsprechen der Standpunkt-Version von 2004. Diese wurde erarbeitet von einer Projektgruppe unter der Leitung von Prof. Dr. Dr. h.c. M. Körschens (Bad Lauchstädt, Vorsitzender), Dr. J. Rogasik (Brandenburg) und Dr. E. Schulz (Halle/S.).

Mitglieder der Projektgruppe waren: Dr. H. Böning (Bad Lauchstädt), Prof. Dr. D. Eich (Bad Lauchstädt), Prof. Dr. R. Ellerbrock (Müncheberg), Dr. U. Franko (Halle/S.), Prof. Dr. K.-J. Hülsbergen (Freising), Prof. Dr. D. Köppen (Rostock), Dr. H. Kolbe (Leipzig), Prof. Dr. G. Leithold (Giessen), Prof. Dr. I. Merbach (Halle/S.), Prof. Dr. Dr. h. c. H. Peschke (Berlin), W. Prystav (Potsdam), Dr. J. Reinhold (Kleinmachnow) und J. Zimmer (Güterfelde).

An der Abstimmung der Endfassung haben mitgewirkt: Prof. Dr. T. Ebertseder (Freising), Dr. R. Gutser (Freising), Dr. J. Heyn (Kassel) und Prof. Dr. D. Sauerbeck (Braunschweig).

1 Einführung

Nachfolgend wird unter „Humus“ die in den Boden integrierte organische Bodensubstanz (OBS) verstanden, die durch Bodenprobenahme und Untersuchung des Gehaltes an organischem Kohlenstoff im Boden (C_{org}) nach VDLUFA-Methodenbuch nachweisbar ist.

Humus verbessert die physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften und damit den Wirkungsanteil des Bodens an der Ertragsbildung. Zu diesen Bodeneigenschaften gehören insbesondere

- die Speicherung von Nährstoffen und Wasser,
- das Filter- und Puffervermögen,
- die biologische Aktivität,
- das Bodengefüge (Aggregatstabilität, Luft- und Wasserhaushalt, Schutz vor Schädverdichtung und Erosion).

Eine ausreichende Humusversorgung dient daher der nachhaltigen Sicherung der Produktivität ackerbaulich genutzter Böden wie auch der Sicherung und Förderung der im Bundesbodenschutzgesetz genannten natürlichen Bodenfunktionen (§ 2 (2) BBodSchG). Sie ist ein wesentlicher Grundsatz der guten fachlichen Praxis und wird in § 17 BBodSchG direkt gefordert. Eine unnötig hohe Humusversorgung bzw. Zufuhr an organischer Substanz kann allerdings in Folge einer hohen Nährstofffreisetzung Ursache für vermeidbare Mineralstoff-, insbesondere Stickstoffausträge in die Hydrosphäre und Atmosphäre sein. Folgen bzw. Risiken einer Nutzungsänderung, wie z. B. der Humusabbau nach Grünlandumbruch, stellen eine besondere Problematik dar und sind nicht Thema dieses Standpunktes.

Zur Beurteilung und Sicherstellung einer für Produktion und Umweltschutz anforderungsgerechten Versorgung der Böden mit Humus wird eine aussagekräftige, jedoch in der Praxis einfach anwendbare Methode benötigt. Vor dem Hintergrund großer Gesamtmengen an Humus im Boden sind geringe Veränderungen des Bodenhumusgehaltes, wie sie infolge einer veränderten Humusbewirtschaftung nach wenigen Jahren auftreten können, nur schwer analytisch zu erfassen. Obwohl eine regelmäßige Bodenuntersuchung zur Ermittlung des organischen Kohlenstoffgehaltes sinnvoll ist, ist die Ableitung von Bewirtschaftungsempfehlungen auf dieser Grundlage nicht praktikabel. Die nachfolgend vorgestellte rechnerische Humusbilanzierung, die auf den Ergebnissen langjähriger Feldversuche und den Bewirtschaftungsdaten landwirtschaftlicher Betriebe basiert, liefert dagegen auf einfache Weise Informationen für eine aus Sicht der Bodenfruchtbarkeit und des Umweltschutzes anzustrebende Versorgung der Ackerböden mit organischer Substanz. Sie ist jedoch nicht geeignet, exakte Prognosen zur Veränderung von Humusgehalten oder -vorräten zu treffen.

Abhängig von der Vorgeschichte der Bodennutzung und vom Standort können unterschiedliche Veränderungen des Humusvorrates bei gleichen Saldowerten der Humusbilanz auftreten. Für eine Vorhersage dieser Veränderungen unter den gegebenen Standortbedingungen ist der Einsatz komplexerer Methoden erforderlich (Franko et al., 2011).

2 Ziele und Prinzip der Humusbilanz

Die Humusbilanz zielt darauf ab, eine hinsichtlich des Pflanzenwachstums und des Umweltschutzes anforderungsgerechte Versorgung der Böden mit organischer Substanz sicherzustellen und gegebenenfalls mit der Bewirtschaftung (organische Düngung, Fruchtfolgegestaltung) entsprechend zu reagieren. Eine ausreichende Humusversorgung ist gegeben, wenn für das jeweilige Bewirtschaftungssystem (integriert, ökologisch) angemessene, nachhaltig hohe und stabile Erträge bei Minimierung von Nährstoffüberschüssen und -verlusten erreicht werden (vergl. Abschnitt 1). Auf diesem Niveau muss die Humuszufuhr durch organische Düngung (Stroh, Gründüngung, Stallmist, Gülle, Kompost etc.) den anbau- und fruchtartspezifischen Humusbedarf ausgleichen (Humusbilanzierung).

Für die Berechnung der Humusbilanz werden im Rahmen dieser Methode nur leicht zu erhebende Bewirtschaftungsdaten benötigt, die im Allgemeinen in landwirtschaftlichen Betrieben verfügbar sind. Die Methode ist sowohl für integriert als auch für ökologisch wirtschaftende Betriebe konzipiert.

3 Wissenschaftliche Grundlagen

In den letzten Jahrzehnten wurden verschiedene Humusbilanzierungsmethoden erarbeitet, deren Ziel es war, „optimale“ organische Düngermengen zu bestimmen, die für die langfristige Erzielung hoher Erträge bei geringen Nährstoffverlusten und die Einstellung und Aufrechterhaltung eines standort- und bewirtschaftungstypischen Humusgehaltes erforderlich sind. Weitere Kriterien zur Ermittlung der „optimalen“ organischen Düngermengen waren eine hohe Ausnutzungsrate des durch die Düngung zugeführten Stickstoffs (N) zur Ertragsbildung. Die einzelnen Humusbilanzierungsmethoden bauen aufeinander auf, folgen jedoch den jeweils vorgegebenen Zielstellungen ihrer Autoren.

Die Parameter für die hier vorgestellte Humusbilanzierungsmethode basieren im Wesentlichen auf Auswertungen langjähriger Feldversuche mit mineralischer und organischer Düngung auf unterschiedlichen Böden und zu verschiedenen Fruchtfolgen (Autorenkollektiv, 1977; Körschens und Schulz, 1999). Dazu wurde in den Feldversuchen die optimale Höhe der organischen Düngung, die im Allgemeinen in Form von Rottemist erfolgte, ermittelt. Als „optimal“ wurde die Versuchsvariante bezeichnet, bei der in Kombination mit Mineraldüngung (für integriert wirtschaftende Betriebe) durch eine höhere Zufuhr an organischer Substanz keine weitere Ertragssteigerung mehr erzielt sowie eine hohe Effizienz der N-Düngung erreicht wurde.

Der auf diese Weise ermittelte Humusreproduktionsbedarf einzelner Kulturen bzw. Fruchtfolgen war in den zu Grunde gelegten Dauerfeldversuchen weitgehend unabhängig von Ertrag und Standort. In weiteren Untersuchungen wurden unter Feld- und Laborbedingungen (Inkubationsversuche) Menge, Abbaurate und Humuswirkung der Ernte- und Wurzelreste verschiedener Kulturarten gemessen und so unter Berücksichtigung

der fruchtartsspezifischen Anbauintensität (z. B. Bodenbearbeitung) auf deren Humusreproduktionsbedarf geschlossen. Für Fruchtarten, für die keine Messwerte aus Dauerversuchen vorlagen, erfolgte die Quantifizierung auf der Grundlage von kurzzeitigen Feld- und Modellversuchen bzw. auf der Grundlage von Analogieschlüssen.

Die Humusreproduktion wurde für den am häufigsten in Dauerdüngungsversuchen eingesetzten Rottemist abgeleitet. Um die Humusreproduktionsleistung anderer organischer Dünger ableiten zu können, wurde auf Basis von Feld- und Laboruntersuchungen die Humuswirkung dieser Dünger relativ zu der Humuswirkung von Rottemist ermittelt. Die Humusersatzleistung der verschiedenen organischen Dünger wurde z. B. in der Maßeinheit „t Reproduktionswirksame Organische Substanz“ (t ROS) angegeben, wobei 1 t ROS der Humusersatzleistung von 1 t organischer Rottemist-Trockenmasse entsprach, von der nach der Humifizierung im Mittel etwa 200 kg organischer C im Boden verbleiben (Asmus und Herrmann, 1977). In anderen Untersuchungen wurde die Maßeinheit „Humuseinheiten“ (HE) verwendet, wobei eine HE einer t Humustrockenmasse bzw. 580 kg organischem C entsprechen (Leithold et al., 1997). Die beiden Größen können ineinander umgerechnet werden:

$$1 \text{ t ROS} = 0,35 \text{ HE}, 1 \text{ HE} = 2,8 \text{ t ROS}.$$

Die von Asmus und Hermann (1977) abgeleiteten Kennwerte für den fruchtartsspezifischen Bedarf an organischer Düngung (= „fruchtartsspezifischer Humusbedarf“) sind die Grundlage für die „Unteren Werte“. Sie entsprechen weitgehend den experimentellen Ergebnissen zahlreicher Dauerfeldversuche, wenn kombiniert mit organischen und mineralischen Düngern gedüngt wurde.

Als „erweiterte Humusreproduktion“ wurden von Kundler et al. (1981) höhere Bedarfswerte eingeführt. Sie entsprechen den „Mittleren Werten“ in Tabelle 2a. Die Erhöhung der Bedarfswerte wurde mit steigenden Anforderungen an die Produktivität der Ackerböden begründet.

Im Ökologischen Landbau erfolgt die N-Ernährung der Pflanzen überwiegend aus dem Leguminosenanbau und der Mineralisation von organisch gebundenem N des Bodens sowie aus der Zufuhr organischer Dünger. Daher wurden von Leithold et al. (1997) für den Ökologischen Landbau höhere Kennwerte für den fruchtartsspezifischen Humusbedarf von Nicht-Leguminosen entwickelt. Die Werte wurden mit dem Humusbilanzmodell HU-MOD (Brock et al., 2008) auf Plausibilität überprüft und geringfügig modifiziert in Tabelle 2a übernommen.

In dem VDLUFA-Standpunkt „Humusbilanzierung“ von 2004 (Körschens et al., 2004) wurden die Maßeinheiten t ROS und HE zu Humusäquivalenten (Häq) vereinheitlicht. Die Kennwerte für den fruchtartsspezifischen Humusbedarf wurden in der Maßeinheit „kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹“ angegeben, wobei negative Werte einen Verlust (humuszehrende Pflanzenarten) und positive Werte einen Gewinn (humusmehrende Pflanzenarten) widerspiegeln. Die Kennwerte für die Humusreproduktionsleistung organischer Dünger

wurden in Form von kg Humus-C t^{-1} Substrat-Frischmasse angegeben. In der hier vorliegenden Fassung des VDLUFA-Standpunktes „Humusbilanzierung“ erfolgt die Angabe der Kennwerte als dimensionslose Einheit „Humusäquivalente“. Dies soll verdeutlichen, dass die Kennwerte dazu dienen sollen, die optimale Versorgung mit organischer Substanz zu bemessen und nicht dazu geeignet sind, die Veränderung der Bodenhumusvorräte zu errechnen.

4 Anwendung der Methode

Die Aussage zur Humusversorgung ackerbaulich genutzter Flächen ergibt sich aus der Differenz zwischen der Humusreproduktionsleistung organischer Dünger und dem anbau- und fruchtartsspezifischem Humusreproduktionsbedarf der Fruchtfolge. Letzterer errechnet sich aus der Humusreproduktionsleistung der humusmehrenden und dem Humusreproduktionsbedarf der humuszehrenden Fruchtarten (siehe schematische Darstellung).

Humus- bilanz (Saldo)	=	Humusreproduk- tionsleistung aus organischer Düngung	+	Humusreproduk- tionsleistung der humusmehrenden Fruchtarten	-	Humusreproduk- tionsbedarf der humuszehrenden Fruchtarten
-----------------------------	---	---	---	--	---	--

Die Humusreproduktionsleistung ergibt sich aus der Masse der zugeführten organischen Dünger (t Frischmasse) und ihrer Humuswirkung. Richtwerte für die Humuswirkung sind in Tabelle 1 aufgelistet, angegeben als Humusäquivalente (Häq) pro 1 t Substrat. Die Humusreproduktionsleistung organischer Dünger ist abhängig von deren stofflicher Zusammensetzung, die Abbau und Humifizierung im Boden maßgeblich beeinflusst. Entsprechend ist die Humusreproduktionsleistung abhängig von der Tierart (Mist bzw. Gülle von Schwein, Rind, Geflügel usw.), vom Rottegrad des Festmistes (Frischmist, Rottemist, Mistkompost) und vom Trockenmassegehalt. Für Stroh wird auf Basis der Untersuchungen von Joschko und Franko (in Engels et al., 2010) ein einheitlicher Reproduktionswert von $100 \text{ Häq (t FM)}^{-1}$ angegeben.

Für die Humusreproduktionsleistung von Gärresten aus der Biogasproduktion liegen derzeit noch sehr unterschiedliche Daten vor. Daher können nur grobe Orientierungsangaben gemacht werden. Die Humusreproduktionsleistung der Gärreste wird entscheidend durch den TS-Gehalt bestimmt (siehe Tabelle „Grunddaten zur Ableitung der Humusreproduktionsleistung“ im Anhang).

Der Humusreproduktionsbedarf bzw. die Humusreproduktionsleistung der angebauten Fruchtarten wird einerseits beeinflusst durch die Menge und Qualität des von den Pflanzen in den Boden eingetragenen organischen C (z. B. durch Rhizodeposition, Blattfall, unter- und oberirdische Erntereste) und andererseits durch ihre spezifischen Anforde-

rungen an die Bodenbearbeitung sowie Pflege- und Erntemaßnahmen und den damit verbundenen Humusabbau. Die Richtwerte für den anbau- und fruchtartspezifischen Bedarf an Humusäquivalenten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Der Bedarf an Humusäquivalenten variiert auch innerhalb einer Fruchtart, z. B. je nach Ertragshöhe, Bodenbearbeitung und mineralischer Düngung. Daher werden für die humuszehrenden Hauptfruchtarten drei Richtwerte angegeben (Tabelle 2a). Die unteren Werte geben sowohl für den integrierten als auch für den ökologischen Landbau den Bedarf an, der für den Erhalt der Böden in einem guten Kulturzustand und die Aufrechterhaltung der Bodenfunktionen erforderlich ist. Die mittleren Werte berücksichtigen einen erhöhten Bedarf an organischer Substanz mit dem Ziel einer weiteren Förderung der Bodenfunktionen und eines Aufbaus der Bodenfruchtbarkeit. Das damit verbundene erhöhte Mineralisationspotenzial des Bodens ist bei der Bemessung der mineralischen N-Düngung zu berücksichtigen. Die oberen Werte entsprechen dem Bedarf zur Verbesserung von Böden in schlechtem Kulturzustand (z. B. Rekultivierungsflächen) sowie von Anbausystemen, die bei Verzicht auf mineralische Düngung einen hohen Humusbedarf aufweisen. Letzteres gilt insbesondere für den ökologischen Landbau bei hohem Ertragsniveau, da unter diesen Anbaubedingungen für die erforderliche höhere Nährstoffspeicherung und -freisetzung im Boden ein höherer Umsatz an organischer Bodensubstanz notwendig ist. Bei Nutzung der oberen Werte sollte in besonderem Maße auf die Einhaltung der düngerechtlichen Vorgaben zur N-Bilanzierung geachtet werden.

Beim Anbau mehrjähriger Feldfutterpflanzen kommt es durch die großen Mengen an Ernte- und Wurzelresten sowie die während der Nutzung bestehende Bodenruhe zu einer Humusanreicherung und nachfolgend zu erhöhtem Humusumsatz im Boden. Zwischenfruchtanbau führt über ober- und unterirdische Erntereste zum Eintrag von organischem C in den Boden und wirkt daher ebenfalls humusmehrend. Auch bei begrünter Brache kommt es zu dem Eintrag von organischem C in den Boden. Die positive Humuswirkung ist nicht vom Anbausystem abhängig, sondern von der Höhe des Pflanzenaufwuchses und damit auch von der Art und Dauer der Begrünung (siehe Richtwerte in Tabelle 2b).

Die Frage, wie Getreide, das für die Erstnutzung vor Mais angebaut wird, bei der Humusversorgung anzurechnen ist, kann noch nicht ausreichend sicher beantwortet werden. Es ist von einer schwach negativen Wirkung auf die Humusversorgung auszugehen (Orientierungswert: Bedarfswert Getreide minus positiver Effekt einer Winterzwischenfrucht).

Für „neuere Energiepflanzen“, wie z. B. Sudangras, ist ein fruchtartspezifischer Humusreproduktionsbedarf nicht bekannt (Orientierungswert: Mittelwert von Getreide und Mais).

Die Ermittlung der Humusversorgung sollte stets eine ganze Fruchtfolge umfassen. Sofern keine Fruchtfolgen ausgewiesen sind, empfiehlt sich eine schlagspezifische Ermitt-

lung der Humusversorgung über die letzten 5 bis 10 Jahre. Anwendungsbeispiele für die Ermittlung der Humusversorgung von Fruchtfolgen sind im Anhang gegeben. Zur vergleichenden Bewertung von Bewirtschaftungssystemen auf regionaler Ebene ist auch die Ermittlung der Humusversorgung auf Betriebsebene geeignet.

5 Bewertung der Humusversorgung und daraus abgeleitete Empfehlungen

Die Bewertung der Humusversorgung von Ackerböden anhand der errechneten Salden aus der Humusreproduktionsleistung der zugeführten organischen Dünger und dem Humusreproduktionsbedarf bzw. der Humusreproduktionsleistung der Fruchtarten erfolgt entsprechend der in Tabelle 3 angegebenen Klasseneinteilung. Diese berücksichtigt sowohl die Auswirkung der Humusversorgung auf die Ertragssicherheit als auch auf das Mineralisierungspotenzial von N. Die Abgrenzung der Versorgungsklassen „B“, „C“ und „D“ berücksichtigt einerseits die große Schätzungenauigkeit bei der Ermittlung der Humusversorgung und ist andererseits eng genug, um eine Lenkungsfunktion der Humusbilanz für das Betriebsmanagement zu ermöglichen. Die Abgrenzung der extremen Gruppen „A“ und „E“ wurde so gewählt, dass in diesen Versorgungsklassen mit großer Wahrscheinlichkeit entweder negative Auswirkungen auf die Ertragssicherheit oder eine deutliche Erhöhung des N-Mineralisationspotenzials (niedrigere Düngeeffizienz, Verlustgefährdung) zu befürchten sind. Die besondere Bedeutung der Humusversorgung im Ökologischen Landbau erfordert eine von der des Integrierten Landbaus abweichende Bewertung der Salden (Tabelle 3b bzw. 3a).

Der Zusammenhang zwischen Humusversorgung und N-Verlusten ist davon abhängig, ob die Humusreproduktion im Wesentlichen auf leicht umsetzbarem und N-reichem Material beruht und/oder ob mineralischer N aus der Düngung im Boden vorhanden ist, der den Umsatz der organischen Substanz beschleunigen kann. Hierzu liefert die Humusbilanz keine quantifizierbaren Aussagen. Die Entscheidung darüber, ob bei einer sehr hohen Humusversorgung von einer Umweltbelastung und unproduktiven N-Mineralisierung auszugehen ist, kann daher nur aus den Ergebnissen der Brutto-Stickstoff-Bilanz (Baumgärtel et al., 2007; VDLUFA AK „Nachhaltige Nährstoffhaushalte“, 2012) abgeleitet werden. Alle weiteren rechtlichen Mengenbegrenzungen nach Abfall-, Dünge-, Wasser-, Luft- oder Bodenschutzrecht sind davon unberührt.

Forschungsbedarf

Die Produktionstechnik für den Kulturpflanzenanbau (z. B. konservierende Bodenbearbeitung, chemische Unkrautbekämpfung), das Kulturartenspektrum (z. B. Energiepflanzen) sowie die eingesetzten organischen Dünger (z. B. Gärreste, Reststoffe aus der stofflichen Verwertung) sind einer stetigen zeitlichen Veränderung unterworfen. Dies führt dazu, dass ein erheblicher Forschungsbedarf hinsichtlich der Humusreproduktion

und der Methodik zur Ermittlung der Humusreproduktion besteht. Dies gilt insbesondere für folgende Themen:

- Standardisierung von Labormethoden zur Ableitung der Humusreproduktionsleistung organischer Primärsubstanzen,
- Humusreproduktion bei Energiepflanzen und vor der Reife geerntetem Getreide (Grünschnitt, Ganzpflanzen-Silage),
- Humusreproduktionsleistung von Winterzwischenfrüchten,
- Humusreproduktionsleistung von Ernteresten (insbesondere Stroh verschiedener Pflanzenarten),
- Humusreproduktionsleistung von Gärresten,
- Humusreproduktionsleistung von Biokohle,
- Einfluss der Ertragshöhe auf Humusreproduktionsbedarf bzw. -leistung der verschiedenen Fruchtarten,
- Einfluss des Standorts, der Bodenbearbeitung und der Bewässerung auf die Humusreproduktion,
- Bewertung der Bilanzsalden,
- Erarbeitung von Richtwerten für standorttypisch optimale Humusgehalte,
- Bedeutung leicht abbaubarer Bestandteile (nicht humusreproduktionswirksamer) organischer Primärsubstanzen für die Humus- und Nährstoffversorgung und die Bodenfruchtbarkeit,
- Übertragbarkeit der Aussagen von Feldversuchen zur Humusreproduktion in die Praxis,
- Weiterführung und Auswertung von Dauerversuchen zur Erfassung der langfristigen Humusdynamik im Boden.

Literatur

Asmus, F., Herrmann, V., 1977: Reproduktion der organischen Substanz des Bodens. Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft, Bd. 15, Heft 11

Autorenkollektiv, 1977: Empfehlungen zur effektiven Versorgung der Böden mit organischer Substanz. Akademie d. Landwirtschaftswissenschaften der DDR (Hrsg.), agrarbuch, Markkleeberg

Baumgärtel, G., Breitschuh, G., Ebertseder, T., Eckert, H., Gutser, R., Hege, U., Herold, L., Wiesler, F., Zorn, W., 2007: VDLUFA-Standpunkt „Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb“. VDLUFA, Selbstverlag. (Download unter: <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/10-Naehrstoffbilanzierung.pdf>)

Brock, C., Hoyer, U., Leithold, G., Hülsbergen, K.-J., 2008: Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode zur Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Abschlussbericht zum Projekt 03OE084 (Bundesprogramm Ökologischer Landbau). Eigenverlag Bundesanstalt f. Landwirtschaft und Ernährung, Bonn. Giessener Schriften zum Ökologischen Landbau 1. Verlag Dr. Köster, Berlin, (Download unter <http://www.orgprints.org/16447/>)

Engels, C., Reinhold, J., Ebertseder, T., Heyn, J., 2010: Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen, VDLUFA Speyer, F&E-Vorhaben, Schlussbericht für die BLE, Az. 514-06.01-2808HS016 (Download unter: <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/SchlussberichtGesamt201010.pdf>)

Franko, U., Kolbe, H., Thiel, E., Ließ, E., 2011: Multi-site validation of a soil organic matter model for arable fields based on generally available input data. *Geoderma* 166, 119-134

Körschens, M., Schulz, E., 1999: Die organische Bodensubstanz: Dynamik – Reproduktion – ökonomisch und ökologisch begründete Richtwerte. UFZ-Bericht 13/1999, ISSN 0948-9452, 1-46

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., Ebertseder, T., Gutser, R., Heyn, J., Sauerbeck, D., 2004: VDLUFA-Standpunkt „Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland“. VDLUFA, Selbstverlag. (Download unter: <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/08-Humusbilanzierung.pdf>)

Kundler, P., Eich, D., Liste, J., Rauhe, 1981: Einlegeblatt zur agra-Broschüre „Regeln und Richtwerte zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit“. Akademie d. Landwirtschaftswissenschaften der DDR, agrarbuch, Markkleeberg

Leithold, G., Hülsbergen, K.-J., Michel, D., Schönmeier, H., 1997: Humusbilanz – Methoden und Anwendung als Agrar-Umwelt-Indikator. In: Initiativen zum Umweltschutz, Bd. 5, 43-54, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, Zeller-Verlag

VDLUFA AK „Nachhaltige Nährstoffhaushalte“, 2012: Vorschlag zur Novellierung der Düngeverordnung. VDLUFA, Selbstverlag. (Download unter: http://www.vdlufa.de/download/AK_Nachhaltige_Naehrstoffhaushalte.pdf)

Tabelle 1: Richtwerte für die Humusreproduktionsleistung organischer Materialien in Humusäquivalenten (Häq) je t Frischmasse

organische Materialien	TM-%	Häq (t FM) ⁻¹
Pflanzenmaterialien		
Stroh	86	100
Gründüngung, Rübenblatt, Marktabfälle, Grünschnitt	10	8
	20	16
Stallmist		
frisch	20	28
	30	40
verrottet (auch Feststoff aus Gülleseparierung)	25	40
	35	56
kompostiert	35	62
	55	96
Gülle		
Schwein	4	4
	8	8
Rind	4	6
	7	9
	10	12
Geflügel (Kot)	15	12
	25	22
	35	30
	45	38
Bioabfall		
nicht verrottet ^{*)}	20	30
	40	62
Frishkompost ^{*)}	30	40
	50	66
Fertigkompost ^{*)}	40	46
	50	58
	60	70
Klärschlamm		
ausgefäult, ohne Zusätze	10	8
	15	12
	25	28
	35	40
	45	52
kalkstabilisiert	20	16
	25	20
	35	36
	45	46
	55	56
Sonstiges		
Rindenkompost	30	60
	50	100
See- und Teichschlamm	10	10
	40	40
Gärprodukte aus Biogasanlagen (vorläufige Expertenschätzungen)		
flüssig	4	6
	7	9
	10	12
fest	25	36
	35	50
kompostiert	30	40
	60	70

^{*)} – mit abbaustabilem Strukturmaterialanteil

Tabelle 2: Richtwerte für fruchtartspezifischen Humusreproduktionsbedarf bzw. Humusreproduktionsleistung in Humusäquivalenten (Häq) je ha Ackerfläche und Jahr für verschiedene Bewirtschaftungstypen

Tabelle 2a: Humusreproduktionsbedarf humuszehrender Früchte

Fruchtarten	Humusreproduktionsbedarf (Häq ha ⁻¹ a ⁻¹)		
Hauptfrüchte	Untere Werte	Mittlere Werte	Obere Werte
Zucker- und Futterrübe ²⁾ , einschließlich Samenträger ²⁾	760	1300	1840
Kartoffel ³⁾ und 1. Gruppe Sonderkulturen ¹⁾	760	1000	1240
Silomais, Körnermais ²⁾ und 2. Gruppe Sonderkulturen ¹⁾	560	800	1040
Getreide (Körnernutzung) ²⁾ , Öl- und Faserpflanzen ²⁾ , Sonnenblumen ²⁾ und 3. Gruppe Sonderkulturen ¹⁾	280	400	520
Empfehlung zur Anwendung der Werte:			
Untere Werte:	Anforderung zum Erhalt der Böden in einem guten Kulturzustand und Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, Beratungsempfehlung für ertragsschwache Standorte (z. B. grundwasserferne Diluvialstandorte)		
Mittlere Werte:	Beratungsempfehlung zur Förderung der Bodenfunktionen und Aufbau der Bodenfruchtbarkeit bei Reduktion der mineralischen Düngung		
Obere Werte:	Beratungsempfehlung für Böden in schlechtem Kulturzustand (z. B. Rekultivierungsflächen) und Anbausysteme mit hohem Humusbedarf ohne mineralische N-Düngung (z. B. Ökologischer Landbau bei hohem Ertragsniveau)		
Legende			
¹⁾ – siehe Zusatztabelle			
²⁾ – Koppelprodukte sind nicht enthalten (Koppelprodukte siehe Tabelle 1)			
³⁾ – Koppelprodukte sind mit enthalten			

Zusatztabelle zu Tabelle 2a: Gruppierung von Sonderkulturen

Gruppe 1	Blumenkohl, Brokkoli, Chinakohl, Fingerhut, Gurke, Knollensellerie, Kürbis, Porree, Rhabarber, Rotkohl, Stabtomate, Stangensellerie, Weißkohl, Wirsingkohl, Zucchini, Zuckermelone
Gruppe 2	Aubergine, Chicoree (Wurzel), Goldlack, Kamille, Knoblauch, Kohlrübe, Malve, Möhre, Meerrettich, Paprika, Pastinake, Ringelblume, Schöllkraut, Schwarzwurzel, Sonnenhut, Zuckermais
Gruppe 3	Ackerschachtelhalm, Alant, Arzneifenchel, Baldrian, Bergarnika, Bergbohnenkraut, Bibernelle, Blattpetersilie, Bohnenkraut, Borretsch, Brennessel, Buschbohne, Drachenkopf, Dill, Dost, Eibisch, Eichblattsalat, Eisbergsalat, Endivie, Engelswurz, Erdbeere ¹⁾ , Estragon, Faserpflanzen, Feldsalat, Fenchel (großfrüchtig), Goldrute, Grünerbse, Grünkohl, Hopfen, Johanniskraut, Kohlrabi, Kopfsalat, Kornblume, Kümmel, Lollo, Liebstöckel, Majoran, Mangold, Mutterkraut, Nachtkerze, Ölfrüchte, Pfefferminze, Radicchio, Radies, Rettich, Romana, Rote Rübe, Salbei, Schafgarbe, Schnittlauch, Spinat, Spitzwegerich, Stangenbohne, Tabak, Thymian, Wurzelpetersilie, Zitronenmelisse, Zwiebel
¹⁾ – je Anbaujahr	

Tabelle 2b: Humusreproduktionsleistung humusmehrender Früchte

Fruchtarten	Humusreproduktionsleistung (Häq ha ⁻¹ a ⁻¹)	
Hauptfrüchte		
Körnerleguminosen allgemein ³⁾	160	
Mehrjähriges Feldfutter	Niedriges Ertragsniveau ¹⁾	Hohes Ertragsniveau ²⁾
Ackergras, Leguminosen, Leguminosen-Gras-Gemenge, Vermehrung		
• je Hauptnutzungsjahr ⁴⁾	600	800
• im Ansaatzjahr		
als Frühjahrsblanksaat	400	500
bei Gründeckfrucht	300	400
als Untersaat	200	300
als Sommerblanksaat	100	150
Zwischenfrüchte		
Winterzwischenfrüchte	140	
Stoppelfrüchte	100	
Untersaaten	250	
Brache		
Selbstbegrünung		
• ab Herbst	180	
• ab Frühjahr des Brachejahres	80	
Gezielte Begrünung		
• ab Sommer der Brachelegung, einschl. des folgenden Brachejahres ⁴⁾	700	
• ab Frühjahr des Brachejahres	400	
Legende		
¹⁾ - Ertragsniveau unter 10 t TM (ca. 500 dt FM) pro ha im Hauptnutzungsjahr		
²⁾ - Ertragsniveau über 10 t TM pro ha im Hauptnutzungsjahr		
³⁾ - Koppelprodukte sind mit enthalten		
⁴⁾ - gilt auch für nachfolgende Jahre		

Tabelle 3: Bewertung der Humussalden**Tabelle 3a: Bewertung der Humussalden für integriert wirtschaftende Betriebe**

Humussaldo		Bewertung	Empfehlung
Humusäquivalente (Häq) ha ⁻¹ a ⁻¹	Klasse		
< - 200	A Sehr niedrig	Ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertragsleistung möglich	Änderung der Fruchtartenwahl und/oder Erhöhung der Zufuhr organischer Dünger
- 200 bis -76	B Niedrig	Mittelfristig tolerierbar	Ausgeglichene Bilanz anstreben
- 75 bis 100	C Ausgeglichen	Humusabbau wird durch die Humuszufuhr in der Fruchtfolge ausgeglichen	keine
101 bis 300	D Hoch	Mittelfristig tolerierbar	Ausgeglichene Bilanz anstreben
> 300	E Sehr hoch	Erhöhung des Mineralisationspotenzials des Bodens (Möglichkeit erhöhter Verluste und verminderter Düngeeffizienz)	Auf Einhaltung des zulässigen N-Überschusses achten

Tabelle 3b: Bewertung der Humussalden für ökologisch wirtschaftende Betriebe

Humussaldo		Bewertung	Empfehlung
Humusäquivalente (Häq) $\text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$	Klasse		
< - 200	A Sehr niedrig	Ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertrags- leistung	Änderung der Fruchtartenwahl und/oder Erhöhung der Zufuhr organischer Dünger
- 200 bis - 1	B Niedrig	Mittelfristig nicht tolerierbar	Ausgeglichene Bilanz anstreben
0 bis 300	C Ausgeglichen	Humusabbau wird durch die Humuszufuhr in der Fruchtfolge ausgeglichen	keine
301 bis 500	D Hoch	Mittelfristig tolerierbar	Ausgeglichene Bilanz anstreben
> 500	E Sehr hoch	Erhöhung des Mineralisati- onspotenzials des Bodens (Mög- lichkeit erhöhter Verluste und verminderter Düngeneffizienz)	Auf Einhaltung des zulässigen N-Überschusses achten

Anhang

Die nachfolgenden Beispiele sollen das Vorgehen bei der Humusbilanzierung verdeutlichen. Bereits geringe Änderungen in den unterstellten Beispielsituationen können zu mehr oder weniger deutlich abweichenden Humussalden führen.

Beispiel 1: Integrierter Ackerbau, viehlos**a) Humusreproduktionsbedarf humuszehrender Fruchtarten in der Fruchtfolge**

Fruchtarten	Humusreproduktionsbedarf in Häq ha ⁻¹ a ⁻¹	
	Untere Werte	Mittlere Werte
1. Jahr: Kö-Raps	280	400
2. Jahr: Winterweizen	280	400
3. Jahr: Wintergerste	280	400
Summe der Fruchtfolge	840	1200

b) Humusreproduktionsleistung humusmehrender Fruchtarten in der Fruchtfolge

Fruchtarten	Humusreproduktionsleistung in Häq ha ⁻¹ a ⁻¹
1. Jahr: keine	0
2. Jahr: keine	0
3. Jahr: keine	0
Summe der Fruchtfolge	0

c) Humusreproduktionsleistung durch zugeführte organische Materialien

Material	TM %	Menge t ha ⁻¹	Humusreproduktionsleistung	
			Häq (t Material) ⁻¹	Häq ha ⁻¹ a ⁻¹
1. Jahr: Rapsstroh	86	7,7	100	770
2. Jahr: Weizenstroh	86	6,4	100	640
3. Jahr: ohne (verkauft)		0		0
Summe der Fruchtfolge				1410

d) Humussaldo der Fruchtfolge und Bewertung der Humusversorgung

Bei Verwendung der unteren Werte für den Humusreproduktionsbedarf, Angabe in Häq ha⁻¹

Humusreproduktionsbedarf (a)	Humusreproduktions- leistung (b+c)	Humussaldo und Bewertung		
		Fruchtfolge	je Jahr	Klasse
840	1410	+ 570	+ 190	D

Bei Verwendung der mittleren Werte für den Humusreproduktionsbedarf, Angabe in Häq ha⁻¹

Humusreproduktionsbedarf (a)	Humusreproduktions- leistung (b+c)	Humussaldo und Bewertung		
		Fruchtfolge	je Jahr	Klasse
1200	1410	+ 210	+ 70	C

Fazit: Bei viehloser Bewirtschaftung ist die Humusversorgung in der Regel unkritisch, wenn in der Mehrzahl der Jahre das Stroh auf dem Feld verbleibt.

Beispiel 2: Integrierter Vieh haltender Betrieb**a) Humusreproduktionsbedarf humuszehrender Fruchtarten in der Fruchtfolge**

Fruchtarten	Humusreproduktionsbedarf in Häq ha ⁻¹ a ⁻¹	
	Untere Werte	Mittlere Werte
1. Jahr: Si-Mais	560	800
2. Jahr: Wi-Weizen	280	400
3. Jahr: Wi-Gerste mit Winterzwischenfrucht	280	400
Summe der Fruchtfolge	1120	1600

b) Humusreproduktionsleistung humusmehrender Fruchtarten in der Fruchtfolge

Fruchtarten	Humusreproduktionsleistung in Häq ha ⁻¹ a ⁻¹
1. Jahr: keine	0
2. Jahr: keine	0
3. Jahr: Wi-Zwischenfrucht	140
Summe der Fruchtfolge	140

c) Humusreproduktionsleistung durch zugeführte organische Materialien

Material	TM %	Menge t ha ⁻¹	Humusreproduktionsleistung	
			Häq (t Material) ⁻¹	Häq ha ⁻¹ a ⁻¹
1. Jahr: Gülle	7	20	9	180
2. Jahr: Weizenstroh	86	6,4	100	640
3. Jahr: Gerstenstroh	86	5,6	100	560
Summe der Fruchtfolge				1380

d) Humussaldo der Fruchtfolge und Bewertung der Humusversorgung

Bei Verwendung der unteren Werte für den Humusreproduktionsbedarf, Angabe in Häq ha⁻¹

Humusreproduktionsbedarf (a)	Humusreproduktions- leistung (b+c)	Humussaldo und Bewertung		
		Fruchtfolge	je Jahr	Klasse
1120	1520	+ 400	+ 133	D

Bei Verwendung der mittleren Werte für den Humusreproduktionsbedarf, Angabe in Häq ha⁻¹

Humusreproduktionsbedarf (a)	Humusreproduktions- leistung (b+c)	Humussaldo und Bewertung		
		Fruchtfolge	je Jahr	Klasse
1600	1520	- 80	- 27	C

Fazit: Bei Rindvieh haltender Bewirtschaftung ist die Humusversorgung dann noch positiv oder ausgeglichen, wenn die Gülle in entsprechender Menge zurückgeführt wird. Zusätzlich sollten Zwischenfrüchte angebaut werden, wenn es die Fruchtfolge erlaubt.

Beispiel 3: Ökologischer Landbau**a) Humusreproduktionsbedarf humuszehrender Fruchtarten in der Fruchtfolge**

Fruchtarten	Humusreproduktionsbedarf in Häq ha ⁻¹ a ⁻¹	
	Untere Werte	Obere Werte
1. Jahr: Klee gras		
2. Jahr: Kartoffel	760	1240
3. Jahr: Winterweizen	280	520
4. Jahr: Ackerbohne		
5. Jahr: Winterroggen mit Untersaat Klee gras	280	520
Summe der Fruchtfolge	1320	2280

b) Humusreproduktionsleistung humusmehrender Fruchtarten in der Fruchtfolge

Fruchtarten	Humusreproduktionsleistung in Häq ha ⁻¹ a ⁻¹	
	Niedriges Ertragsniveau	Hohes Ertragsniveau
1. Jahr: Klee gras	600	800
2. Jahr: keine	0	
3. Jahr: keine	0	
4. Jahr: Ackerbohne	160	160
5. Jahr: Untersaat Klee gras	200	300
Summe der Fruchtfolge	960	1260

c) Humusreproduktionsleistung durch zugeführte organische Materialien

Material	TM %	Menge t ha ⁻¹	Humusreproduktionsleistung	
			Häq (t Material) ⁻¹	Häq ha ⁻¹ a ⁻¹
1. Jahr: ohne		0		0
2. Jahr: Rottemist	25	30	40	1200
3. Jahr: Weizenstroh	86	4	100	400
4. Jahr: ohne		0		0
5. Jahr: ohne (abgefahren)		0		0
Summe der Fruchtfolge				1600

d) Humussaldo der Fruchtfolge und Bewertung der Humusversorgung

Bei Verwendung der unteren Werte für den Humusreproduktionsbedarf und bei niedrigem Ertragsniveau der Humusreproduktionsleistung humusmehrender Fruchtarten, Angabe in Häq ha⁻¹

Humusreproduktionsbedarf (a)	Humusreproduktionsleistung (b+c)	Humussaldo und Bewertung		
		Fruchtfolge	je Jahr	Klasse
1320	2560	+ 1240	+ 248	C

Bei Verwendung der oberen Werte für den Humusreproduktionsbedarf und bei hohem Ertragsniveau der Humusreproduktionsleistung humusmehrender Fruchtarten, Angabe in Häq ha⁻¹

Humusreproduktionsbedarf (a)	Humusreproduktionsleistung (b+c)	Humussaldo und Bewertung		
		Fruchtfolge	je Jahr	Klasse
2280	2860	+ 580	+ 116	C

Fazit: Im ökologischen Landbau lässt sich der hohe Reproduktionsbedarf durch vielgliedrige Fruchtfolgen mit Körner- und Futterleguminosenanteilen und Rückführung von Wirtschaftsdünger ausgleichen.

Tab. Grunddaten zur Ableitung der Humusreproduktionsleistung (Stand 2004)

Material	TS in FM-%	org. S. in TS-%	org. S. in FM-%	Stab.- Faktor	Häq je t FM	Häq je dt C _{org}
Pflanzenmaterial						
Stroh	86	94	81	0,62	100	21
Gründüngung, Rübenblatt, Marktabfälle, Grünschnitt	10	99	10	0,40	8	14
	20	99	20	0,40	16	14
Stallmist						
frisch	20	85	17	0,82	28	28
	30	85	26	0,78	40	27
verrottet (auch Feststoff aus Gülleseparierung)	25	80	20	1,00	40	34
	35	80	28	1,00	56	34
kompostiert	35	70	25	1,27	62	44
	55	70	39	1,25	96	43
Gülle						
Schwein	4	80	3	0,60	4	21
	8	80	6	0,60	8	21
Rind	4	80	3	0,90	6	31
	7	80	6	0,80	9	28
	10	80	8	0,75	12	26
Geflügel (Kot)	15	70	11	0,55	12	19
	25	70	18	0,62	22	21
	35	69	24	0,62	30	21
	45	68	31	0,62	38	21
Bioabfall						
nicht verrottet (mit Holzanteilen)	20	83	17	0,90	30	31
	40	70	28	1,10	62	38
Frischkompost (Rottegrad 2 und 3)	30	53	16	1,25	40	43
	50	53	27	1,25	66	43
Fertigkompost (Rottegrad 4 und 5)	40	40	16	1,45	46	50
	50	40	20	1,45	58	50
	60	40	24	1,45	70	50
Klärschlamm						
ausgefäul, unbehandelt	10	57	6	0,70	8	24
	15	57	9	0,70	12	24
	25	56	14	1,00	28	34
	35	55	19	1,05	40	36
	45	53	24	1,10	52	38
kalkstabilisiert	20	41	8	0,97	16	33
	25	41	10	0,97	20	33
	35	41	14	1,25	36	43
	45	41	18	1,25	46	43
	55	41	23	1,25	56	43
Sonstiges						
Rindenkompost	30	66,5	20	1,50	60	52
	50	66,5	33	1,50	100	52
See- und Teichschlamm	10	25	3	2,00	10	69
	40	25	10	2,00	40	69

vorläufige Expertenschätzungen für Gärprodukte aus Biogasanlagen (Forschungsbedarf)						
flüssig	4	80	3	0,90	6	31
	7	80	6	0,80	9	28
	10	80	8	0,75	12	26
fest	25	72	18	1,00	36	34
	35	72	25	1,00	50	34
kompostiert	30	53	16	1,25	40	43
	60	40	24	1,45	70	50

