

Humusmanagement und Humusbilanz hessischer Öko-Betriebe



IMPRESSUM

Herausgeber

Landesbetrieb Landwirtschaft (LLH) in Zusammenarbeit mit der Justus-Liebig-Universität Giessen, dem Forschungsring e. V. und der FiBL Deutschland e. V.
Forschungsinstitut für biologischen Landbau

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH)
Kölnische Straße 48 - 50, 34117 Kassel
Telefon: 0561 7299-0, Fax: 0561 7299-220
E-Mail: zentrale@llh.hessen.de
Internet: www.llh.hessen.de

Redaktion und Autoren

Dr. Christopher Brock (Justus-Liebig-Universität Giessen), Meike Oltmanns
(Forschungsring e. V.), Ann-Kathrin Spiegel (FiBL e. V.)

Layout	Jennifer Kolling, LLH Kassel
Foto Titelbild	Thomas Alfoeldi
Vertrieb	LLH, Telefon: 0561 7299-252 (vormittags) E-Mail: zentrale@llh.hessen.de
Druck	Hessisches Statistisches Landesamt Wiesbaden
Stand	1. Auflage, März 2013

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
1.1. Zielsetzung des Projektes	3
2. Durchführung des Projektes	5
2.1. Projektbetriebe	7
2.2. Humusbilanzierung.....	9
3. Ergebnisse und Diskussion	17
3.1. Humusbilanzen der Betriebe im Projekt huhu-öko hessen.....	17
3.2. Angestrebte Fruchtfolge vs. Schlagbilanzen	18
3.3. Interpretation der Bilanzierungsergebnisse	19
3.4. Humusbilanzen und Humusmanagement nach Produktionsrichtung - Bewertung und Managementempfehlungen	24
4. Zusammenfassung - Fazit - Ausblick	34
4.1. Humusbilanz: Die Situation auf hessischen Öko-Betrieben	34
4.2. Aussagekraft der Bilanzen.....	34
4.3. Allgemeine Empfehlungen.....	35
4.4. Empfehlungen für Betriebe der unterschiedlichen Produktionsrichtungen.....	36
4.5. Forschungsbedarf.....	37
5. Literatur	39
6. Anhang: Humusbilanzrechner	40
6.1. Humusbilanzmethode für den Ökologischen Landbau.....	40
7. Glossar	45
8. Autorenverzeichnis	47

Danksagung

Wir bedanken uns ganz herzlich bei allen Betriebsleiterinnen und Betriebsleitern, die ihre Zeit investiert haben und uns ihre Daten zur Verfügung gestellt haben. Wir erhoffen uns, dass dieses Projekt eine Grundlage für die Etablierung einer intensiven Zusammenarbeit zwischen Praxis und Forschung in Hessen sein wird.

1. Einleitung

Humusgehalt und Humusumsatz spielen in ackerbaulich genutzten Böden grundsätzlich eine zentrale Rolle für die Ertragsbildung. Unter Bedingungen der Nichtanwendung chemischer Betriebsmittel wie im ökologischen Landbau hat die organische Bodensubstanz (Humus) darüber hinaus einen noch höheren Stellenwert, insbesondere als Speicher und Transformator für solche Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor und Schwefel. Eine deutlich engere Beziehung zwischen dem Humusgehalt des Bodens und dem Ertrag von Nichtleguminosen unter Bedingungen des ökologischen Landbaus gegenüber konventioneller Bewirtschaftung mit Mineraldüngerstickstoffgaben beweist diesen höheren Stellenwert. Daher sind für Ackerböden bei ökologischer Bodennutzung höhere Humusgehalte anzustreben als bei konventioneller/integrierter Bodennutzung. Höhere Humusgehalte und eine höhere Dynamik der mikrobiellen Umsetzungsprozesse im Boden konnten, unter ansonsten gleichen Standardbedingungen, im Zuge paarweiser Betriebsvergleiche auch nachgewiesen werden.

Mit Umstellung auf den ökologischen Landbau vollzieht sich, sofern der Viehbesatz gleich bleibt, eine deutliche Erhöhung des Humusreproduktionsniveaus, bedingt durch den notwendigen Anbau humusmehrender Leguminosen, insbesondere zur Luftstickstoffbindung, auf Kosten des Anbaus humuszehrender Nichtleguminosen, z. B. Silomais. Folgerichtig kommt es zu einem höheren Humusgehalt und/oder Umsatz an organischer Bodensubstanz.

Bewirtschaftungsbedingte Unterschiede im Humushaushalt der Ackerböden zwischen konventioneller/integrierter Wirtschaftsweise auf der einen Seite und ökologischem Anbau auf der anderen



(Prof. Dr. Günter Leithold)

Seite müssen daher auch in Methoden zur Bewertung des Humushaushaltes Berücksichtigung finden. Da Kennziffern zu optimalen Humusgehalten für verschiedene Standorte nicht verfügbar sind und in absehbarer Zeit auch nicht erstellt werden können, bleibt nur die Humusbilanz zur Analyse, Bewertung und Steuerung des Humushaushaltes im landwirtschaftlichen Betrieb.

1.1. Zielsetzung des Projektes

Mit dem Projekt „Humusmanagement und Humusbilanz hessischer Öko-Betriebe“ soll das Verständnis von Möglichkeiten und Grenzen des Humusmanagements unter Bedingungen des ökologischen Landbaus gefördert werden. Gleichzeitig bietet das Projekt Einblicke in die Humusbilanzierung und die daraus zu ziehenden Analysen und Bewertungen. Zielgruppen sind dabei gleichermaßen Praktiker, Berater und Wissenschaftler

Selbst in wissenschaftlichen Fachgruppen herrscht derzeit keine Einigung über die geeignete Methodik zur Humusbilanzierung und deren letztendliche Aussagekraft. Diese Broschüre bietet Praktikern und Beratern deshalb einen Überblick über die Methodik und damit eine Hand-

rechnung für die wichtigsten Fragen zur Humusbilanz und -versorgung:

- Wie berechne und interpretiere ich eine Humusbilanz richtig?
- Wie ist die reale Situation der Humusversorgung im Ökolandbau?
- Wie kann ich meine Humusbilanz verbessern?

Für die Wissenschaftler stehen die folgenden Fragen im Vordergrund:

- Wie managen Praxisbetriebe die Humusversorgung ihrer Ackerböden?
- Wie steht es um die Anwendbarkeit von Humusbilanzmethoden in der Praxis des ökologischen Acker-, Gemüse- und Gartenbaus und wo besteht welcher Forschungs- und/oder Entwicklungsbedarf?



2. Durchführung des Projektes

Im Dezember 2012 wurden auf insgesamt 15 hessischen Öko-Betrieben per Fragebogen die für die Humusbilanzierung notwendigen Daten, soweit verfügbar, erhoben. Dies sind:

- Angaben zu Fruchtfolgen inklusive Zwischenfruchtbau, Untersaaten usw. und zum Ertragsniveau der einzelnen Kulturen.
- Angaben zu Art und Menge der Düngung zu den einzelnen Kulturen inklusive Stroh- und Gründüngung.

Erhoben wurden jeweils Daten zur „angestrebten Fruchtfolge“, also dem betrieblichen Leitbild. Bei sechs Betrieben wurden zusätzlich tatsächliche Humusbilanzen für einzelne Schläge berechnet.

Die Ansprache der Betriebe erfolgte über das Ökoteam des LLH und Berater der Anbauverbände.

Alle Humusbilanzierungen wurden an der Professur für Organischen Landbau an der Justus-Liebig-Universität Gießen durchgeführt. Für die Bilanzierungen wurden zwei verschiedene Methoden verwendet:

- die Statische Humusbilanzmethode für den Ökologischen Landbau (Leithold et al. 1997 bzw. Leithold und Hülsbergen 1998), die eine einfache Praxisanwendung erlaubt,
- das dynamische Humusbilanzmodell HU-MOD (Brock et al. 2008 und 2012), das eine nach den tatsächlichen Rahmenbedingungen am Standort

differenzierte und reproduzierbare Berechnung von Humusbilanzen ermöglicht.

Die statische Methode hat den Vorteil, dass sie fixe Koeffizienten verwendet und deshalb mit Angabe der notwendigen Betriebsdaten direkt genutzt werden kann. Alle hierzu notwendigen Koeffizienten sowie ein Beispiel zur Berechnung sind im Anhang dieser Broschüre zu finden. Die in der Methode verwendeten statischen Koeffizienten ermöglichen eine einfache Humusbilanzierung unter Praxisbedingungen. Sie haben aber den Nachteil, dass keinerlei Differenzierung nach unterschiedlichen Ertragsniveaus und nach unterschiedlichen Stickstoff-Inputs erfolgt. Damit werden weder die unterschiedliche Abschöpfung von Boden-Stickstoff, noch die Variation in der Stickstoffnachlieferung infolge unterschiedlicher Anteile von Leguminosen und Nicht-Leguminosen in Gemengen oder nach unterschiedlichen Standortbedingungen abgebildet.

Die Möglichkeit einer differenzierten Bewertung bietet nur eine dynamische Modellierung bzw. Bilanzierung, die im vorliegenden Projekt mit dem Humusbilanzmodell HU-MOD erfolgte. Das Humusbilanzmodell ist aber nur als PC-gestütztes Instrument anwendbar und liegt zurzeit noch nicht in einer öffentlich verfügbaren Programmierung vor. Da mit diesem Modell aber einfach „ausprobiert“ werden kann, welchen Einfluss verschiedene Anpassungen, wie zum Beispiel die Erhöhung des Kleeanteils im Klee gras, auf die Humusbilanz haben, ist es für die Praxis besonders interessant.



Abb. 1: Regionale Verteilung der Projektbetriebe in Hessen.

Beide Humusbilanzmethoden können dabei helfen, betriebsindividuell Stell-schrauben zur Verbesserung des Humusmanagements zu identifizieren und Maßnahmen abzuleiten.

Auf die methodischen Ansätze zur Humusbilanzierung wird in Kapitel 2.2 näher eingegangen.

Zusätzlich zu den Humusbilanzen wurden Stickstoffbilanzen berechnet, da diese ein wichtiges Merkmal für die Prüfung und Bewertung der Humusbilanzen darstellen. Die hier gerechneten N-Bilanzen berücksichtigen sämtliche N-Inputs, also auch die symbiotische Fixierung von Luft-N durch Leguminosen und N-Immisionen aus der Atmosphäre.

2.1. Projektbetriebe

Von den 15 ökologisch wirtschaftenden landwirtschaftlichen Betrieben, die an der Humusbilanzierung in Hessen teilgenommen haben, liegen sechs Betriebe im Landkreis Marburg-Biedenkopf und je zwei in den Landkreisen Waldeck-Frankenberg und Giessen. Aus den Landkreisen Main-Kinzig, Hersfeld-Rotenburg, Limburg-Weilburg, Vogelsberg und der Wetterau nahm jeweils ein Betrieb teil (Abb. 1).

Die durchschnittliche Gesamtfläche der Betriebe beträgt 124,2 ha, mit einer Bandbreite von 56 bis 290 ha je Betrieb. Hinsichtlich der Betriebsgröße bilden die

ausgewählten Betriebe den Durchschnitt der hessischen Öko-Betriebe gut ab, von diesen haben über die Hälfte eine Betriebsgröße zwischen 50 und 200 ha.

Neben vier Betrieben, die schwerpunktmäßig Tierproduktion betreiben, waren auch zwei viehlose und ein viehschwacher Ackerbaubetrieb sowie zwei Feldgemüsebaubetriebe vertreten. Die sechs weiteren Betriebe waren Gemischtbetriebe mit Tierproduktion und Ackerbau.

Tab.1: Betriebsflächen der Projektbetriebe

Betrieb-Nr.	Produktionsrichtung	Ackerland ha	Grünland ha	Sonstige Flächen ha	Gesamtfläche ha
1	Viehloser/viehschwacher Ackerbau	105	2,2		107,2
2	Gemischtbetrieb	40	35	2	77
3	Gemischtbetrieb	75	105	4	184
4	Gemischtbetrieb	170	80	7	257
5	Gemischtbetrieb	52	20	1,3	73,3
6	Tierproduktion	21,16	72,66	0,2	94,02
7	Tierproduktion	44,81	34		78,81
8	Tierproduktion	19,8	86,95		106,75
9	Viehloser/viehschwacher Ackerbau	51	5		56
10	Gemischtbetrieb	160	130		290
11	Viehloser/viehschwacher Ackerbau	48	12	0,5	60,5
12	Gemischtbetrieb	125	43	23	191
13	Gemischtbetrieb	101	58	5	164
14	Feldgemüsebaubetrieb	105	2,2		107,2
15	Feldgemüsebaubetrieb	40	35	2	77

Tab. 2: Viehbesatz der Projektbetriebe; GV-Schlüssel nach KTBL
(GV = Großvieheinheit, AL = Ackerland)

Betrieb-Nr.	Produktionsrichtung	Tierarten	GV	GV/ha	GV/ha AL
1	Viehloser/viehschwacher Ackerbau	keine	0	0	0
2	Gemischtbetrieb	Mutterkühe und Mastschweine	33	0,43	0,83
3	Gemischtbetrieb	Mutterkühe und Pferde	75	0,41	1
4	Gemischtbetrieb	Milchkühe, Mastrinder und Milchziegen	100	0,39	0,59
5	Gemischtbetrieb	Milchkühe, Schweine und Hühner	45	0,61	0,87
6	Tierproduktion	Milchkühe	90	0,96	4,25
7	Tierproduktion	Milchkühe	71	0,9	1,58
8	Tierproduktion	Jungrinder und Pferde	92	0,86	4,65
9	Viehloser/viehschwacher Ackerbau	keine	0	0	0
10	Gemischtbetrieb	Mutterkühe	137,6	0,47	0,86
11	Viehloser/viehschwacher Ackerbau	Pferde und Hühner	6,00	0,10	0,13
12	Gemischtbetrieb	Milchkühe, Hühner und Schweine	117	0,61	0,94
13	Gemischtbetrieb	Milchkühe	160	0,98	1,58
14	Feldgemüsebaubetrieb	keine	0	0	0
15	Feldgemüsebaubetrieb	Mutterkühe und Mastschweine	33	0,43	0,83

Von den Projektbetrieben halten 80 % Vieh, dies reicht von der Mutterkuh- über die Milchviehhaltung über Hühner und Schweine bis hin zu Jungrindern, Pferden und Milchziegen. Der Großteil der Betriebe hält mehrere verschiedene Tierarten, meist sowohl Groß- als auch Kleinvieh. In der Viehhaltung liegen die Projektbetriebe damit insgesamt nur leicht unter dem hessischen Öko-Betriebsdurchschnitt von 87 % Viehhaltung.

Während hessenweit 50 % der Ackerfläche auf Öko-Betrieben für den Getreideanbau genutzt werden, sind es auf den beteiligten Projektbetrieben zwischen 20 und 67 %.

Tab. 3: Ackerflächenverhältnisse der Projektbetriebe
(LN = Landwirtschaftliche Nutzfläche)

Betrieb-Nr.	Getreide % LN	Körnerleguminosen und Gemenge % LN	Hackfrüchte % LN	Futterleguminosen % LN	Zwischenfrüchte % LN
1	57	15	0	28	15
2	67	0	16,5	16,5	33 - 50
3	57	15	0	28	42
4	50	8,5	8,5	33	17
5	62,5	12,5	0	25	0 - 25
6	50	8,5	8,5	33	16,6 - 33
7	57	15	0	28	28
8	50	8,5	8,5	33	0 - 16
9	50 - 62,5	12,5 - 25	0	12,5 - 25	37,5 - 50
10	57 - 72	0 - 28	0	0 - 28	0 - 28
11	62,5 - 75	12,5	0	12,5 - 25	37,5
12	50	0	17	33	33
13	50	12,5	12,5	25	62,5
14	20 - 44	0 - 12,5	22 - 80	0 - 22	22 - 60
15	43	0	43	14	43

2.2. Humusbilanzierung

Humusbilanzen sind Instrumente zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung in acker- und gartenbaulichen Fruchtfolgen. Dabei wird der „Humusverlust“ oder „Humusbedarf“ sogenannter humuszehrender Kulturen dem „Humusersatz“ durch sogenannte humusmehrende Fruchtarten und organische Dünger gegenübergestellt. Humuszehrende Kulturen sind solche, deren Humusersatz durch die eigenen Ernte- und Wurzelrückstände geringer ist als der anbausystembedingte Humusabbau. Humusmehrer sind entsprechend Kulturen mit einem größeren eigenen Humusersatz als Humusbedarf. Zusätzlich zu dieser fruchtart- bzw. anbausystembezogenen Bewertung wird der Beitrag organischer

Düngung und - je nach Methode - auch der mineralischen N-Inputs zum Humusersatz berücksichtigt.

Ausgeglichene Humusbilanzen sollen einen Erhalt der Humusvorräte bei gutem Ertragsniveau und hoher Stickstoff-Effizienz (d. h. geringem N-Verlustpotenzial) anzeigen.

Zunächst etwas verwirrend ist, dass der Begriff „Humusbilanz“ heute für zwei unterschiedliche methodische Konzepte verwendet wird, die sich in der Bilanzberechnung und damit in Aussage und Anwendungsbereich erheblich voneinander unterscheiden (Abb. 2):

Agronomische Methoden geben die notwendige organische Düngung in

Fruchtfolgen für ein hohes Ertragsniveau der Marktfrüchte bei guter N-Effizienz an, ohne jedoch eine Brücke zur Veränderung der Humusvorräte zu schlagen. Theoretisch sollen die Humusvorräte bei ausgeglichenen Bilanzsalden zwar erhalten werden, aber da die für den tatsächlichen Humusumsatz wichtigen (natürlichen) Standortfaktoren in der Bilanzberechnung nicht berücksichtigt werden, kann von den Bilanzen nicht ohne weiteres auf reale Veränderungen der Humusvorräte geschlossen werden. Ein großer Vorteil ist, dass diese Methoden mit einfachen in der Praxis normalerweise verfügbaren Daten zu Fruchtfolgen und Düngung angewendet werden können.

Ökologische Methoden sind solche, die Abbau und Aufbau organischer Substanz im Boden mit Modellen zum Einfluss der

relevanten Ökofaktoren (Boden, Klima, Höhe der Vorräte und Inputs organischer Substanz, mechanische Störung der Bodenstruktur in Anbausystemen, etc.) tatsächlich quantifizieren und so Aussagen zur Veränderung der Humusvorräte erlauben. Der Aufwand für die Datenerhebung ist bei diesen Methoden allerdings hoch, wobei die Praxisanwendbarkeit dennoch grundsätzlich gegeben ist.

In den letzten Jahren wurden zudem, ausgehend vom agronomischen Ansatz, mehrere Humusbilanzmethoden entwickelt, die die Aussage der agronomischen Methoden um Aussagen zur tatsächlichen Beeinflussung der Humusvorräte an einem Standort und ggf. auch zur Klimabilanz der Anbausysteme erlauben.

Abb. 2: Die zwei methodischen Konzepte der Humusbilanzierung. f = "Funktion von...", OBS = organische Bodensubstanz, Δ OBS = Mengenänderung der OBS bzw. Veränderung der Humusvorräte.



Instrumente, die eine entsprechende Aussagenbreite auf Grundlage einfacher und größtenteils praxisverfügbarer Daten erlauben, werden dringend benötigt. Bei den Aussagen zur Veränderung der Humusvorräte und zur Klimabilanz können diese Methoden gerade aufgrund des geringeren Datenbedarfs nicht die Präzision der ökologischen Humusbilanzen erreichen, bleiben dafür aber leichter in der Praxis anwendbar.

Berechnung von Humusbilanzkoeffizienten für den ökologischen Landbau

In der VDLUFA-Methode (VDLUFA 2004), der Standardmethode für die Humusbilanzierung in Deutschland, werden sogenannte Humusbedarfskoeffizienten für die verschiedenen Fruchtartengruppen angegeben. Diese Koeffizienten basieren auf der Auswertung von Dauerfeldversuchen der 1960er und 1970er Jahre zu Fruchtfolgen und Düngung in der damaligen DDR. Dabei wurde bei jeweils gleicher Fruchtfolge die Versuchsvariante herausgesucht, in der gleichbleibende Humusvorräte bei einem möglichst hohen Ertragsniveau auftraten. Die in dieser Versuchsvariante ausgebrachte organische Düngermenge war dann Grundlage für die Ausweisung des organischen Düngebedarfs bei der entsprechenden Fruchtfolge zum Erreichen einer ausgeglichenen Humusbilanz. Der Düngebedarf konnte aufgrund der umfangreichen Versuchsbasis für unterschiedliche Fruchtfolgen ermittelt werden. Daraus wurde der Humusbedarf für Fruchtartengruppen abgeleitet. Alle Werte wurden bei optimaler mineralischer Düngung ermittelt und gelten so

nur für diese Bedingung. Die im Rahmen dieser Auswertung ermittelten Bedarfskoeffizienten sind heute als „untere Werte“ in der VDLUFA-Humusbilanz enthalten.

Bereits Anfang der 1980er Jahre wurde allerdings empfohlen, die Humusbedarfswerte vor dem Hintergrund von Ertragssteigerungen der landwirtschaftlichen Kulturen zu erhöhen, da eine bessere Versorgung mit organischer Substanz zum Ausgleich steigender Inanspruchnahme von N aus der Humusmineralisierung notwendig sei. Es wurde darauf verwiesen, dass steigende Erträge bei Nicht-Leguminosen stets auch zu steigender Inanspruchnahme von Boden-N führten und nicht allein durch höhere Mineraldüngergaben ausgeglichen werden könnten. Die erhöhten Humusbedarfskoeffizienten stehen heute im VDLUFA-Standpunkt als „obere Werte“.

Für die Humusbilanzierung im ökologischen Landbau sind beide Werte wegen der Rahmenbedingung „optimale Mineral-N-Düngung“ grundsätzlich nicht geeignet. Humusbilanzkoeffizienten für den Ökolandbau nach dem oben genannten Schema können aber nicht ermittelt werden, da die notwendige Dauerfeldversuchsbasis nicht vorhanden ist. Das Problem betrifft dabei nicht nur die Ausweisung von Kennziffern für den ökologischen Landbau, sondern ganz allgemein die Ausweisung neuer Humusbilanzkoeffizienten, z. B. für Energiepflanzen, Mischkulturen usw.

Einen Ausweg bietet die Modellierung von Humusbilanzkoeffizienten. Modellierung bedeutet die Berechnung anhand eines mathematischen Algorithmus, der

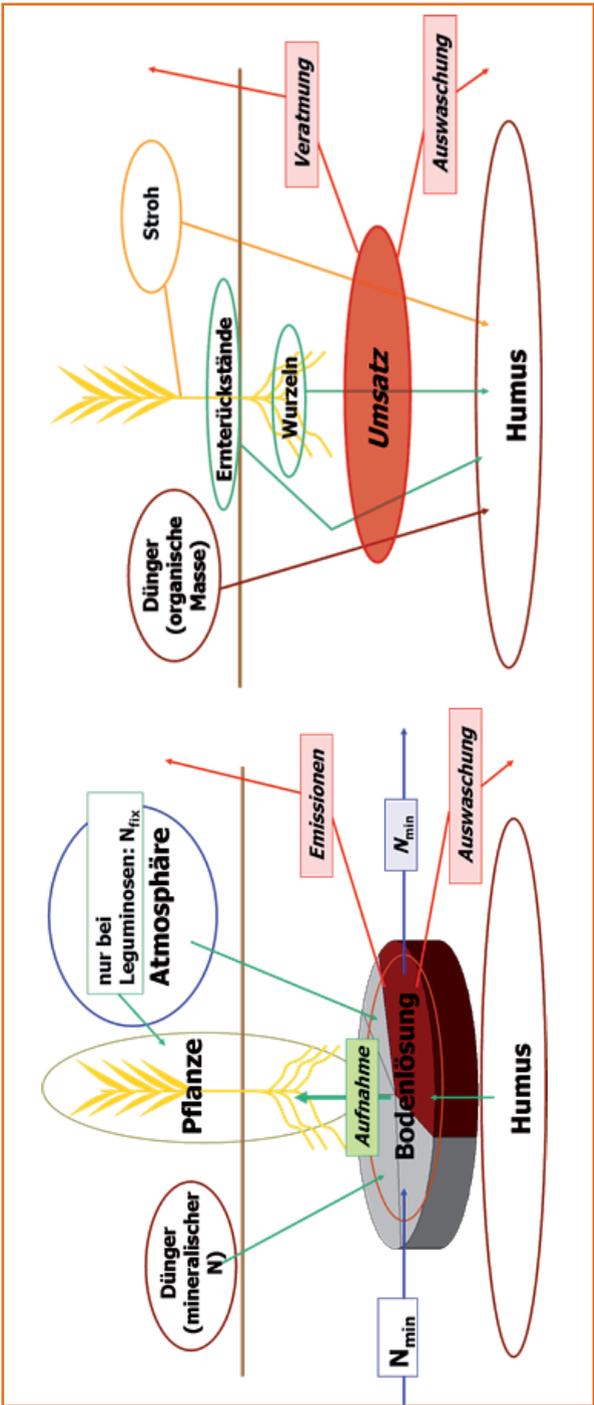
die angenommenen Einflussfaktoren in ihrer jeweiligen Ausprägung berücksichtigt. Mit einem an realen Daten geprüften Modell können Ergebnisse für Situationen berechnet werden, für die keine eigenen Daten vorliegen und die daher ohne Modell nicht zu bewerten wären.

Im Rahmen des BÖL-Projektes „Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode der Humusbilanzierung im ökologischen Landbau“ wurde ein solches Modell mit dem Kurznamen „HU-MOD“ erarbeitet. Das Modell soll grundsätzlich die Ermittlung von Humusbilanzkoeffizienten unter allen Rahmenbedingungen ermöglichen, hat sich aber in der Prüfung, die u.a. anhand des Dauerfeldversuches „Ökologischer Ackerbauversuch Gladbacherhof“ erfolgte, besonders bei der Berechnung von Koeffizienten in Systemen ohne mineralische Düngung und damit für den Ökolandbau bewährt.

Die Grundannahme ist, dass ein Zusammenhang zwischen der N-Aufnahme der Pflanzen und dem Humusabbau besteht, was am einfachsten in Versuchsvarianten ohne jegliche Düngung zu belegen ist. Unter Berücksichtigung von N aus anderen Quellen (Düngung, Rest-N_{min}, atmosphärische Deposition, N-Fixierung bei Leguminosen) wird vom Ertrag der Kulturpflanzen auf die Inanspruchnahme und so den Ersatzbedarf von Humus-N geschlossen. Der Humusersatz einer Fruchtart wird über die Schätzung der Ernte- und Wurzelrückstände bewertet, außerdem wird natürlich die organische Düngung berücksichtigt (Abb. 3). Für die Umrechnung von zugeführtem Material zu Humusersatz wurden zunächst „Humifizierungsraten“ verwendet, die bei orga-

nischen Düngern grundsätzlich den Humusersatzwerten organischer Materialien in Tabelle 1 des VDLUFA-Standpunktes entsprechen. Im aktuellen Entwicklungsstand der Methode (HU-MOD Vers. 201302) werden anstelle von Humifizierungsraten die Mengen des im Boden durch Ernte- und Wurzelrückstände sowie Dünger jeglicher Art (einschl. Strohh- und Gründüngung) für den Humusaufbau verfügbaren C und N und deren Verhältnis zueinander bewertet.

Abb. 3: Berechnung der Inanspruchnahme von Humus-N (links) und des Humusersatzes (rechts) mit dem Modell HU-MOD.



Es wird davon ausgegangen, dass in Ackerböden ein standortspezifisches und dort mehr oder weniger konstantes C:N-Verhältnis reproduziert wird und grundsätzlich alle Inputs letztendlich organische Substanz mit diesem mittleren C:N-Verhältnis bilden.

Der Ansatz kann und muss natürlich diskutiert werden, aber bislang hat sich das Modell in verschiedenen Prüfungen gut bewährt.

Tabelle 4 zeigt eine „Rückwärtsberechnung“ der Humusbilanzkoeffizienten für den ökologischen Landbau, wie sie bereits in der 1997 von Leithold, Hüls-

bergen, Michel & Schönmeier vorgestellt und jüngst für einen aktualisierten VDLUFA-Standpunkt zur Humusbilanz vorgeschlagen wurden. Mit dem Modell konnte geprüft werden, welche Rahmenbedingungen hinsichtlich Ertrag und mineralischer N-Düngung (letztere bei Öko natürlich „0“) angenommen werden müssen, um auf die angegebenen Humusbedarfswerte zu kommen. In diesem Zusammenhang wurden auch die „unteren“ und „oberen“ Werte aus dem Standpunkt mitgeprüft.

Tab. 4: Nachberechnung der Rahmenbedingungen hinsichtlich Ertrag und Düngung für die Humusbedarfskoeffizienten nach VDLUFA sowie für den ökologischen Landbau. Die Berechnungen erfolgten mit dem Modell HU-MOD (Version 310113)

Fruchtart	Szenario bzw. LUFA-Stufe	Ertrag dt FM ha ⁻¹	N aus mineral. Düngung kg N ha ⁻¹	Bilanz-koeffizient berechnet Häq ha ⁻¹	Bilanz-koeffizient VDLUFA Häq ha ⁻¹
Zuckerrübe*	„untere Werte“	445	120	-766	-760
	„obere Werte“	575	120	-1316	-1300
	„Ökolandbau“	450	0	-2040	-2000
Kartoffeln	„untere Werte“	390	120	-768	-760
	„obere Werte“	450	120	-1017	-1000
	„Ökolandbau“	260	0	-1480	-1500
Silomais	„untere Werte“	455	120	-571	-560
	„obere Werte“	510	120	-807	-800
	„Ökolandbau“	310	0	-1202	-1200
Wintergetreide allg.*	„untere Werte“	77,5	160	-287	-280
	„obere Werte“	82,5	160	-415	-400
	„Ökolandbau“	35	0	-635	-600

*Die Humusbilanzkoeffizienten gelten bei Abfuhr des Koppelproduktes (Rübenblatt, Stroh)!

Es ergeben sich sehr plausible Rahmenbedingungen für alle drei „Stufen“: Die „unteren Werte“ der VDLUFA-Methode zeigen das geringere Ertragsniveau an, dass bei ihrer Ableitung tatsächlich ja auch gegeben war, während die „oberen Werte“ für ein höheres Ertragsniveau gelten. Im Ökolandbau müssen hingegen trotz des geringeren Ertragsniveaus aufgrund der Nicht-Anwendung von Mineraldünger-N höhere Humusbedarfswerte für die betrachteten Kulturen angesetzt werden.

Das Beispiel zeigt auch, dass Humusbedarf eigentlich nicht in fixen Zahlen bewertet werden darf. Höhere Erträge erfordern stets ein höheres Humusreproduktionsniveau als geringere Ertragslevel.

Anwendungsbereiche der Humusbilanz

Die aktuell in Deutschland verfügbaren Humusbilanzmethoden wurden ursprünglich an und für Ackerbausysteme entwickelt. Obwohl auch die Bewertung gemüsebaulicher Kulturen stets ein Thema in der Methodenentwicklung war, liegen hier viel weniger ausdifferenzierte und schlechter abgesicherte Kennziffern vor. Dies liegt vor allem an dem wesentlich geringer ausgeprägten Dauerfeldversuchswesen im Gemüsebau. Die umfangreichste Arbeit zur Humusbilanzierung im Gemüsebau legten Baumann & Schmidt (1979) vor. Die von Baumann & Schmidt vorgeschlagenen Humusreproduktionskennziffern bilden heute die Grundlage der Einordnung von Gemüsekulturen in der VDLUFA-Methode. Im Gegensatz zu den wichtigsten Kulturen des Ackerbaus konnten die Gemüse-Koeffizienten

mangels Feldversuche jedoch nicht überprüft werden. Für die Bewertung von Gemüse unter Bedingungen des Ökolandbaus liegt erst recht keine hinreichende experimentelle Basis zu Überprüfung der Koeffizienten vor. Gerade hier bietet sich aber eine (vorläufige) Bewertung über die Stickstoff-bezogene Modellierung von Humusreproduktionskoeffizienten an. Für die vorliegende Auswertung wurde das Humusbilanzmodell HU-MOD zur Bewertung verschiedener Gemüsekulturen erweitert. Die Bewertung der Gemüse ist so zwar plausibel, aber eben nicht geprüft. Hier besteht dringender Forschungsbedarf.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Humusbilanzierung im Garten- und Gemüsebau besteht in den räumlichen und zeitlichen Anbaustrukturen, die eine hinreichende Datenerfassung stark erschweren. Da für eine optimale Interpretierbarkeit der Humusbilanzen flächenscharfe Daten benötigt werden, kann eine sehr kleinräumige Unterteilung von Schlägen/Flächen zur Datenerhebung nötig sein. Auch der Anbau in mehreren, zeitlich verschobenen Sätzen erschwert sowohl die Ausweisung von Humusreproduktionskoeffizienten wie auch die Datenerhebung. Aktuell liegen keine Humusbilanzmethoden vor, die für eine Anwendung im Garten- und Gemüsebau adaptiert sind. Hier besteht neben dem grundsätzlichen Forschungsbedarf für die Bewertung der Gemüsekulturen auch ganz wesentlicher anwendungsbezogener Fortentwicklungsbedarf bei den Methoden.

Interpretation von Humusbilanzen

Die Interpretation von Humusbilanzen ist wesentlich komplizierter als allgemein angenommen und wird in dieser Broschüre anhand der Ergebnisse ausführlich erörtert.

Grundsätzlich haben Humusbilanzen eine Beziehung zur Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik im System Boden-Pflanze. Positive Humusbilanzsalden geben eine gegenüber dem Humusabbau und der Inanspruchnahme von Humus-N überschüssige Versorgung mit organischer Substanz an, die zunächst ein Potenzial für den Humusaufbau darstellt. Gleichzeitig können sie aber auch ein Potential für umweltschädliche N-Verluste darstellen, falls aufgrund der jeweiligen Standorteinflüsse kein Humusaufbau erfolgt. Negative Humusbilanzen drücken eine gegenüber dem Humusabbau und der Inanspruchnahme von Humus-N unzureichende Nachlieferung organischer Substanz aus. Zwar muss bei jeder Methode ein gewisser Fehlerbereich berücksichtigt werden, aber grundsätzlich sind negative Humusbilanzen zu vermeiden, da sonst auf Kosten der Bodenfruchtbarkeit gewirtschaftet wird!

Bei der hier verwendeten statischen Humusbilanzmethode für den Ökologischen Landbau ist ein direkter Rückschluss von den Salden auf einen Auf- oder Abbau der Humusvorräte nicht möglich, da die Methode hierfür nicht differenziert genug arbeitet. Sie ist dafür schnell und einfach praxisanwendbar.

Das dynamische Humusbilanzmodell HU-MOD hat einen erheblich höheren Datenbedarf. Die differenzierte Berechnung der Humusbilanzen erlaubt jedoch gegenüber der statischen Methode präzisere und erweiterte Aussagen. So weisen die modellierten Bilanzsalden tatsächlich Beziehungen zu Mengenänderungen der organischen Bodensubstanz auf und auch zur CO₂-Bilanz von Ackerböden als Element der Klimabilanz.

Die Humusbilanz bietet außerdem die Möglichkeit, die aktuelle Bewirtschaftung auf einem Standort mit der Bilanz einer vorangegangenen Bewirtschaftung oder einer geplanten Umstellung zu vergleichen und Probleme und Stellschrauben zu identifizieren.

Für konkrete Angaben zu Mengenänderungen der organischen Bodensubstanz oder zur CO₂-Bilanz ist auch das Modell - aufgrund des für die Praxisanwendbarkeit immer noch gering gehaltenen Datenbedarfs - zu unscharf, es können nur grobe Trends ermittelt werden.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Humusbilanzen der Betriebe im Projekt huhu-öko hessen

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Humus- und Stickstoffbilanzierung in den 15 Projektbetrieben, bezogen auf die angestrebten Fruchtfolgen. Im Mittel über alle Betriebe ergeben sich ausgeglichene Humus- und N-Bilanzen, wobei die mit dem dynamischen Ansatz HU-MOD berechneten Humusbilanzen etwas über den Ergebnissen der statischen Bilanzmethode liegen. Die große Spannweite

zeigt jedoch, dass die Bildung eines Mittelwertes hier wenig aussagekräftig ist. Denn unzureichende und übermäßige Humusreproduktion auf unterschiedlichen Flächen gleicht sich nicht aus, sondern führt jeweils im Extremfall zu umweltschädlichen Effekten, auch wenn die „Vorzeichen“ unterschiedlich sind.

Extrem hohe oder negative Humusbilanzen traten in der vorliegenden Auswertung jedoch nur in Einzelfällen auf und sind daher sicher nicht typisch für hessische Ökobetriebe.

Tab. 5: Humus- und Stickstoffbilanzen der „angestrebten Fruchtfolgen“ in den Projektbetrieben

Betrieb - Nr.	Produktionsrichtung	Humusbilanz STATISCH Häq ha ⁻¹ a ⁻¹	Humusbilanz HU-MOD Häq ha ⁻¹ a ⁻¹	N-Bilanz kg N ha ⁻¹ a ⁻¹
1	Viehloser/viehschwacher Ackerbau	264	-233	-3,3
2	Gemischtbetrieb	-191	-150	11,5
3	Gemischtbetrieb	234	250	41,2
4	Gemischtbetrieb	126	212	42,6
5	Gemischtbetrieb	100	59	24,0
6	Tierproduktion	635	494	76,1
7	Tierproduktion	37	-29	17,4
8	Tierproduktion	38	134	36,1
9	Viehloser/viehschwacher Ackerbau	268	349	44,2
10	Gemischtbetrieb	-180	9	1,9
11	Viehloser/viehschwacher Ackerbau	330	404	50,4
12	Gemischtbetrieb	-45	60	16,2
13	Gemischtbetrieb	185	101	22,5
14	Gemüse	-169	-406	10,9
15	Gemüse	-66	77	40,7
MW		104,4	88,7	28,8
MIN		-191,1	-405,8	-3,3
MAX		635,0	493,5	76,1

3.2. Angestrebte Fruchtfolge vs. Schlagbilanzen

Bei sechs der 15 Betriebe im Projekt wurden neben den Angaben zur angestrebten Fruchtfolge auch schlagbezogene Daten erhoben. Es wird so ein Vergleich zwischen den Humusbilanzen des betrieblichen Leitbildes und der realen Umsetzung möglich.

In drei Betrieben wurden anhand der schlagbezogenen Daten höhere Humusbilanzen berechnet als für die angestrebten Fruchtfolgen (Nr. 5, 8 und 11), in den anderen Betrieben (Nr. 7 und 9) wurde die Abweichung jeweils von den beiden Methoden (statisch, dynamisch) unterschiedlich bewertet. Bei einem Betrieb (Nr. 12) wichen die schlagbezogenen Humusbilanzen nicht wesentlich von denen der angestrebten Fruchtfolgen ab.

Grundsätzlich war die Abweichung in den Betrieben 5 und 12 nicht erheblich und wurde in beiden Fällen durch Zwischenfruchtanbau (Gründüngung) verursacht, der in der angestrebten Fruchtfolge so nicht aufgeführt war.

Im Betrieb 7 ergab sich kein einheitliches Bild: in der statischen Bilanzierung waren die schlagbezogenen Humusbilanzen negativer als die Bilanz der angestrebten Fruchtfolge, während die dynamische Bilanzierung höhere (positive) Humusbilanzen für die Schläge auswies als für das betriebliche Leitbild. Allerdings weisen die Bilanzergebnisse beider Methoden sowohl für die angestrebte Fruchtfolge, als auch für die realen Schläge insgesamt auf eine mehr oder weniger ausgeglichene Humusreproduktion hin. Zudem

enthält die „angestrebte Fruchtfolge“ hier schon Optimierungen für die Zukunft, die in den Schlagbilanzen natürlich noch nicht zum Ausdruck kommen können.

Auch im Betrieb 11 lagen die Schlagbilanzsalden nicht wesentlich über den Salden der angestrebten Fruchtfolge, allerdings war das Niveau der Bilanzsalden insgesamt grenzwertig hoch. Die Erhöhung der Bilanzsalden bei den schlagbezogenen Daten beruhte vor allem auf einer gegenüber der angestrebten Fruchtfolge etwas höheren Düngung.

Eine wesentliche Abweichung der schlagbezogenen von den allgemeinen Humusbilanzen tritt bei den Betrieben 8 und 9 auf. Im Betrieb 8 war insbesondere die real ausgebrachte Menge an Wirtschaftsdünger erheblich höher als im betrieblichen Leitbild vorgesehen. Außerdem wurden auf den Schlägen zusätzlich Zwischenfrüchte zur Gründüngung angebaut. Da das Ertragsniveau der Marktfrüchte dennoch vergleichsweise gering liegt, steigen insbesondere in der dynamischen Bilanzierung die Salden stark an. Bei Betrieb 9 hingegen ergab sich zumindest in der dynamischen Bilanzierung ein wesentlich geringerer Saldo als für die angestrebte Fruchtfolge. Gründe waren hier eine z. T. erheblich geringere Wirtschaftsdüngeranwendung als in der angestrebten Fruchtfolge vorgesehen sowie Änderungen in der Fruchtfolge selbst, die z. T. zu einem geringeren Anbauumfang mehrjähriger Leguminosen führten.

Tab. 6: Humus- und Stickstoffbilanzen der „angestrebten Fruchtfolgen“ und reale Bilanzen ausgewählter Schläge in 6 Projektbetrieben

Betrieb-Nr.	Fokus	HB-ÖKO Häq ha ⁻¹ a ⁻¹	HB-HU-MOD Häq ha ⁻¹ a ⁻¹	NB kg N ha ⁻¹ a ⁻¹
5	Angestrebte FF	+100	59	24,0
5	Schläge	+172	161	24
7	Angestrebte FF	+37	-29	17,4
7	Schläge	-38	178	40,6
8	Angestrebte FF	+38	134	36,1
8	Schläge	+347	526	62,0
9	Angestrebte FF	+268	349	44,2
9	Schläge	+314	94	-35,9
11	Angestrebte FF	+330	404	50,4
11	Schläge	+414	488	71,5
12	Angestrebte FF	-45	60	16,2
12	Schläge	-8	47	9,6

3.3. Interpretation der Bilanzierungsergebnisse

Wie bereits erwähnt, sollen ausgeglichene Humusbilanzen einen Erhalt der Humusvorräte bei gutem Ertragsniveau und hoher Stickstoff-Effizienz (d. h. geringem N-Verlustpotential) anzeigen. Nach der VDLUFA-Methode sind Salden >300 Häq je ha und Jahr zu vermeiden, da sonst mit einem erhöhten N-Verlustpotential und damit umweltschädlichen Effekten gerechnet werden muss. In der VDLUFA-Methode wird jedoch grundsätzlich von einer optimalen mineralischen N-Düngung ausgegangen. Da eine Düngung mit synthetischem N-Dünger im Ökolandbau ausgeschlossen ist, können weder die unteren noch die oberen Werte der VDLUFA-Methode in Systemen des ökologischen Landbaus angewendet werden.

Aussagen der Humusbilanzen zur Beeinflussung der Humusvorräte durch die Bewirtschaftung

Der Zusammenhang zwischen Humusbilanzsalden und der Veränderung der Humusvorräte kann eigentlich nur in Dauerfeldversuchen bewertet werden und dort auch nur, wenn ausreichend Messwerte für die sichere Bestimmung von Humusmengenänderungen vorliegen. Entsprechende Versuche zum Öko-Ackerbau sind leider selten. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen den Zusammenhang zwischen Humusbilanzsalden und der Veränderung der Humusvorräte aus vier Öko-Versuchen mit insgesamt 16 Varianten und mehr als 10 Jahren Laufzeit. Es wird deutlich, dass eine wirkliche Vorhersage oder Analyse von Änderungen der Humusvorräte mit der statischen Bilanzmethode kaum, und mit dem dynamischen Ansatz HU-MOD nur eingeschränkt möglich ist.

Ein Zusammenhang besteht aber dennoch: zwar konnten die absoluten Mengenänderungen der Humusvorräte nicht richtig eingeschätzt werden, aber das Verhältnis der unterschiedlichen Versuchsvarianten zueinander wird sehr wohl richtig wiedergegeben. Von der Humusbilanz kann also nicht direkt auf die Veränderung der Humusvorräte an einem Standort geschlossen werden. Möglich ist es aber, an einem Standort die Humusbilanz der aktuellen Bewirtschaftung mit der Bilanz einer vorangegangenen Bewirtschaftung oder einer geplanten Umstellung zu vergleichen. Die Ergebnisse aus den Dauerfeldversuchen zeigen, dass eine höhere Humusbilanz auch zu relativ höheren Humusvorräten führen wird. Dabei ist es egal, ob die Humusvorräte insgesamt z. B. aufgrund klima-

tischer Einflüsse zu- oder abnehmen, der relative Unterschied im Einfluss zweier Bewirtschaftungen auf die Humusvorräte kann mit der Humusbilanz grundsätzlich erfasst werden. Zu beachten ist, dass der Saldenvergleich nur „ordinal“ (weniger-gleich-mehr) bewertet werden sollte. Wo die Grenzen zwischen den drei Bewertungsklassen sind, kann dabei (noch) nicht sicher festgestellt werden. Allen Bilanzansätzen liegen Annahmen bei der Schätzung der Methoden-Parameter zugrunde, die bei einer praxisanwendbaren Methode der Wirklichkeit nicht präzise entsprechen können. Der Fehlerbereich der hier angewendeten Bilanzmethoden ist nicht genau zu beziffern.

Abb. 4: Zusammenhang zwischen Humusbilanzsalden (statische Methode) und der Veränderung der Humusvorräte in Öko-Langzeit-Feldversuchen.

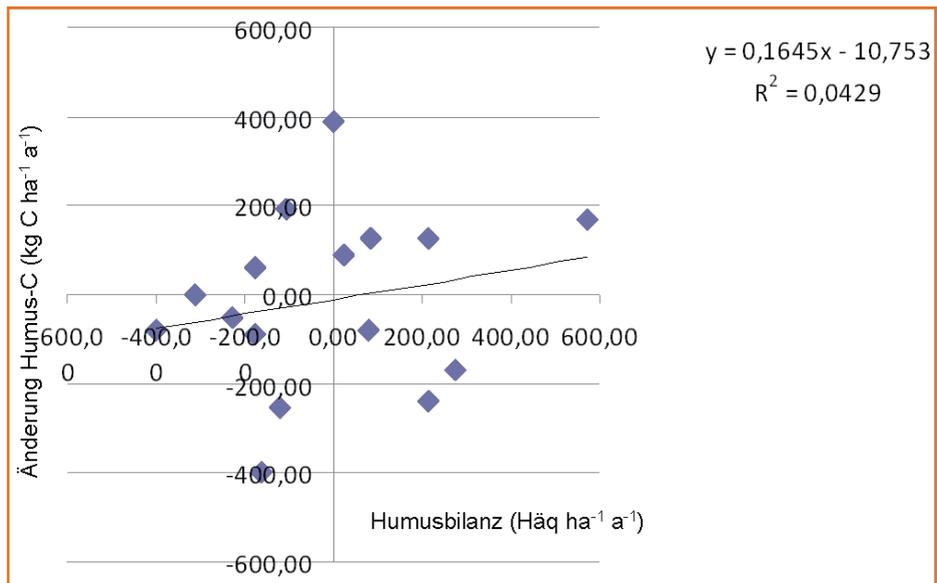
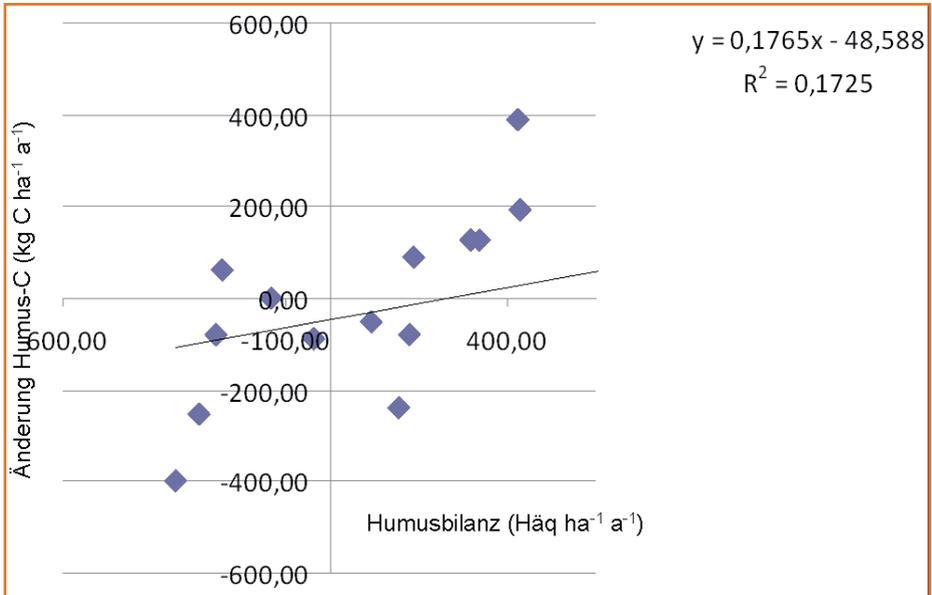


Abb. 5: Zusammenhang zwischen Humusbilanzsalden (dynamischer Ansatz HU-MOD) und der Veränderung der Humusvorräte in Öko-Langzeit-Feldversuchen.



Zusammenhang zwischen Humusbilanzen und dem Stickstoff-Haushalt

Positive Humusbilanzsalden drücken eine gegenüber dem Abbau organischer Bodensubstanz überschüssige Versorgung mit organischer Substanz aus. Da organische Substanz immer auch N enthält, steigt mit einer positiven Humusbilanz auch die N-Zufuhr gegenüber der N-Abfuhr. Trotzdem ist ein positiver Humusbilanzsaldo nicht mit einem positiven Stickstoffbilanzsaldo vergleichbar, obwohl die beiden Salden miteinander korreliert sind: Ein positiver N-Bilanzsaldo beschreibt in erster Linie ein Verlustpotenzial, während ein positiver Humusbilanzsaldo in erster Linie ein Potenzial für den Aufbau der Humusvorräte wieder-

gibt. Dennoch gibt es selbstverständlich auch eine Überversorgung mit organischer Substanz, die dann zu Umweltbelastungen durch N-Verluste führen kann. Die Humusbilanzmethode des VDLUFA gibt ein Humusbilanzsaldo von +300 Häq je ha und Jahr als oberen Grenzwert an, ab dem eine umweltgefährdende Überversorgung mit organischer Substanz vorliegt. Dieser Grenzwert ist bisher allerdings nicht hinreichend abgesichert und muss daher als Orientierungswert, nicht aber als fachlich begründeter Grenzwert betrachtet werden. In der vorliegenden Auswertung überschreitet nur ein Betrieb den oberen Grenzwert der N-Bilanz von +50 kg N je ha und Jahr, alle anderen liegen in der N-Bilanz unter diesem Wert (s. Abb. 6 und 7). Anzumerken ist dabei, dass bei der Berechnung der N-

Bilanzen ein optimaler N-Input durch Leguminosen berücksichtigt wurde. Neue Arbeiten z. B. zur Schwefelversorgung im Ökolandbau, legen aber nahe, dass häufig mit einer erheblich geringeren N-Fixierung gerechnet werden muss. Die N-Bilanzsalden liegen in der Realität also vermutlich noch deutlich niedriger.

Zieht man eine Ausgleichsgerade durch die Punktwolken in den Abbildungen 6 und 7, so ergeben sich die Grenzwerte in Tabelle 7. Bei der statischen Bilanzierung wird ein N-Bilanzsaldo von +50 kg N je ha und Jahr demnach bei einem Humusbilanzsaldo von +428 HÄq je ha und Jahr überschritten, eine negative N-Bilanz (die ebenfalls zu vermeiden ist, um eine Auszehrung des Bodens zu verhindern!) wird ab einem Humusbilanzsaldo von -336 HÄq je ha und Jahr erreicht. In der dynamischen Bilanzierung liegt

der obere Grenzwert bei +367 HÄq je ha und Jahr, der untere Grenzwert bei -289 HÄq je ha und Jahr.

Auch die hier berechneten Grenzwerte können natürlich nur Orientierungswerte sein und würden sich bei Einbeziehung weiterer Betriebe und Standorte womöglich ändern. Als sehr grobe und konservative Richtwerte (und etwas Besseres liegt derzeit nicht vor) können aber unter Berücksichtigung der hier vorliegenden Ergebnisse und der Fachliteratur die Grenzwerte +300 und -100 HÄq je ha und Jahr aus der VDLUFA-Methode verwendet werden. Das gilt natürlich nur, wenn die Bilanzen mit den Kennziffern für den Öko-Landbau berechnet wurden und nicht mit den bisher in der VDLUFA-Methode angegebenen Werten, die explizit nur für den konventionellen/integrierten Landbau gelten.

Abb. 6: Zusammenhang zwischen Humusbilanzsalden (statische Methode) und N-Bilanzsalden in den „angestrebten Fruchtfolgen“.

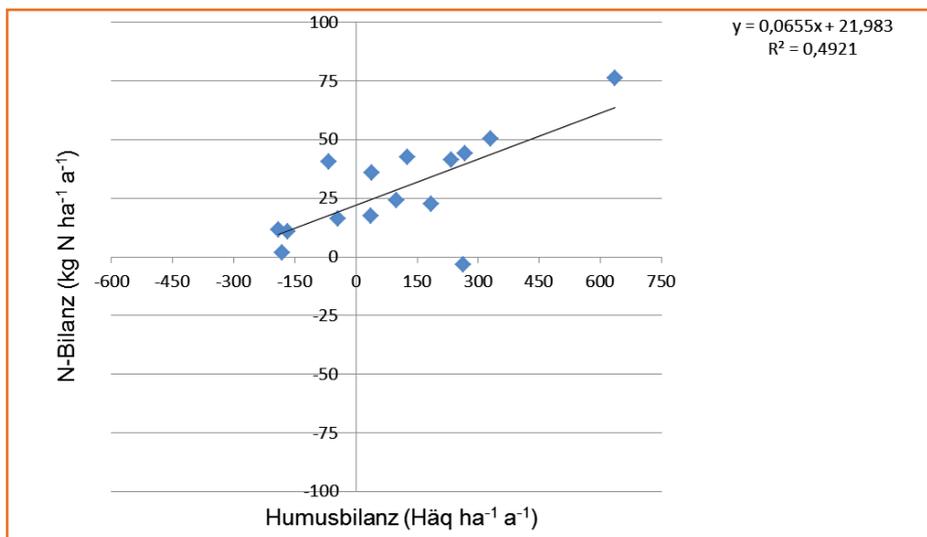
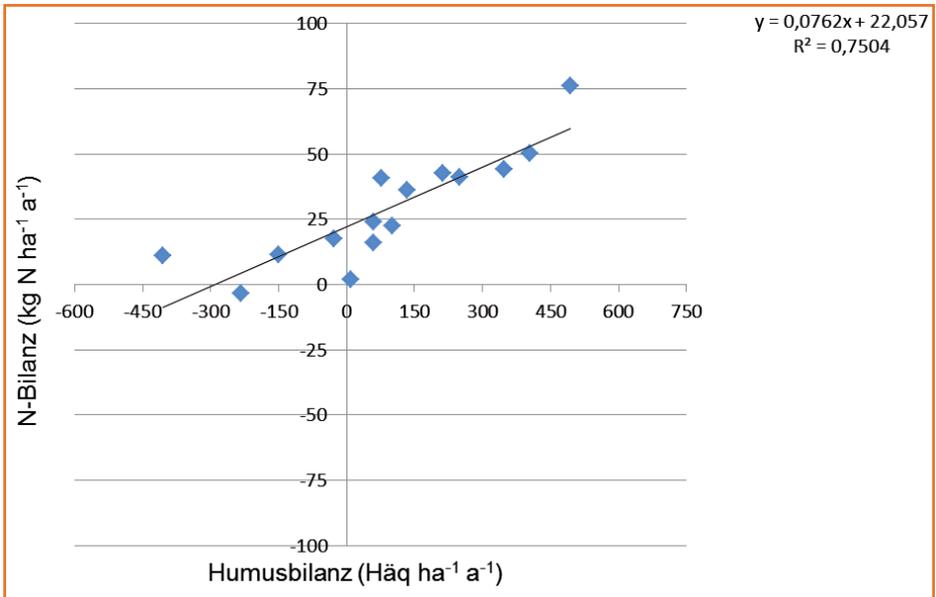


Abb. 7: Zusammenhang zwischen Humusbilanzsalden (dynamischer Ansatz HU-MOD) und N-Bilanzsalden in den „angestrebten Fruchtfolgen“.



Tab. 7: N-Bilanz-bezogene Grenzwerte (Orientierungswerte) für die Humusbilanz. Grundlage: Regressionsanalysen in Abb. 6 und 7. Die Grenzwerte/Orientierungswerte beziehen sich auf das Unterschreiten einer N-Bilanz von +/-0 kg N je ha und Jahr bzw. +50kg N je ha und Jahr

	unterer Orientierungswert Häq ha ⁻¹ a ⁻¹	oberer Orientierungswert Häq ha ⁻¹ a ⁻¹
Statische Humusbilanzmethode	-336	+428
Dynamischer Ansatz HU-MOD	-289	+367
Empfohlene Werte*	-100	+300

*Es gilt das Vorsorgeprinzip - daher sehr konservative Empfehlung mit ausreichendem Puffer, z. B. um zu hohe Annahmen bei der N-Fixierung der Leguminosen auszugleichen

Im konkreten Anwendungsfall ist bei höheren oder geringeren Humusbilanzen zu prüfen, ob die N-Bilanz tatsächlich einen Saldo von +50 kg N je ha und Jahr über- bzw. einen Saldo von +/-0 kg N je ha und Jahr unterschreitet. Nur, wenn dies der Fall ist, sollte über eine Anpassung des Humusmanagements nachgedacht werden.

3.4. Humusbilanzen und Humusmanagement nach Produktionsrichtung - Bewertung und Managementempfehlungen

Ziel des folgenden Abschnittes ist es, die Methode der Humusbilanzierung für die Praxis handhabbar zumachen. Dazu werden beispielhaft Bilanzierungsergebnisse aus den unterschiedlichen Produktionsrichtungen dargestellt. Anhand von ausgewählten Praxisbetrieben werden mögliche Strategien für ein nachhaltiges Humusmanagement aufgezeigt: Welche standortangepassten Bewirtschaftungsmaßnahmen kann der Betriebsleiter nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft anwenden, um eine ausgeglichene Humusbilanz zu erhalten.

ACHTUNG: Alle Angaben beziehen sich auf die „Angestrebten Fruchtfolgen“!

Gemischtbetriebe

Die Gruppe der Gemischtbetriebe zeigt im Mittel leicht positive Humusbilanzen, die als Zeichen einer ausgeglichenen Humusreproduktion gedeutet werden können. Allerdings ist die Spannweite sehr groß. In dieser Gruppe kommen Betriebe mit stark negativen Salden ebenso vor wie Betriebe mit sehr hohen Humusbilanzen. In der statischen Bilanzierung weisen vier von den insgesamt sieben Betrieben der Gruppe anzustrebende Salden im Bereich von 0 bis +300 HÄq auf (Nr. 3, 4, 5 und 13), wobei Betrieb 3 mit +234 HÄq je ha und Jahr einen wesentlich höheren Saldo zeigt, als die anderen drei Betriebe. Die Betriebe Nr. 2, 10 und

12 haben defizitäre Humusbilanzen bis -191 HÄq je ha und Jahr.

Ein unterschiedlicher Viehbesatz kann nicht als allgemeine Ursache der unterschiedlichen Bilanzen festgestellt werden (vgl. Tab. 2 und 3), sondern es sind vielmehr die Ackerflächenverhältnisse - also die Fruchtfolgen - die die Differenzierung der Humusbilanzen erklären.

Die drei Betriebe mit ausgeglichenen Salden im Bereich zwischen +100 und +200 HÄq je ha und Jahr (Nr. 4,5 und 13) haben jeweils 25 bis 33 % Futterbau (Leguminosen und/oder Leguminosen-Gras-Gemenge), 50 bis 62,5 % Getreide sowie rund 10 % Körnerleguminosen und Hackfrüchte. Dies entspricht Angaben aus der wissenschaftlichen Literatur zur Humusreproduktion, wonach eine optimale Struktur 50 % Getreide (bzw. allgemein Druschfrüchte), 25 % Hackfrüchte und 25 % Futterleguminosen bzw. -gemenge umfasst, bei einem Viehbesatz von 1 GV je ha Ackerland.

Vor diesem Hintergrund wird auch klar, warum die Betriebe 2 und 10 mit ihren erheblich geringeren Futterbau-Anteilen von maximal 16,5 % (entspricht 1/6) negative Bilanzsalden aufweisen. Betrieb 12 passt hier eigentlich nicht in das Bild, da die Fruchtfolge einen Futterbau-Anteil von 33 % aufweist. Allerdings ist die für die Fruchtfolge angegebene Düngung sehr viel geringer, als der Viehbesatz von 1 GV je ha erwarten lässt. Der Grund dafür ist, dass der Betrieb neben dem Ackerbau auch Flächen für Gemüse- und Gartenbau besitzt, die in der vorliegenden Auswertung nicht berücksichtigt wurden. Ein Großteil des verfügbaren Hofdüngers

wird natürlich diesen Flächen zugeführt und steht so für das übrige Ackerland nicht zur Verfügung.

Der noch als mäßig hoch zu bewertende Saldo bei Betrieb 3 kommt dadurch zustande, dass der Betrieb bei einem Viehbesatz von 1 GV je ha und Futterbau im Umfang von 28 % keine stark zehrenden Kulturen (Hackfrüchte) anbaut.

Die dynamische Bilanzierung korrigiert das aus der Anwendung der statischen Methode gewonnene Bild. Unter Berücksichtigung der tatsächlichen Erträge und der Mengen von C und N im Umsatz weisen die Betriebe 4, 5, 10, 12 und 13 eine mehr oder weniger ausgeglichene Humusbilanz auf. Die klar negative Bilanz von Betrieb 2 wird bestätigt, fällt allerdings weniger negativ aus als bei der statischen Bilanzierung.

Auch die vergleichsweise hohe positive Humusbilanz von Betrieb 3 wird von der dynamischen Bilanz unterstützt,

wobei der Saldo sogar noch etwas höher ausfällt.

In der dynamischen Bilanzierung weist außerdem Betrieb 4 einen wesentlich höheren Saldo auf als in der statischen Bilanz. Insgesamt ist die Bilanz aber noch als ausgeglichen zu bezeichnen.

Beispiel: Betrieb 2

In Betrieb 2 stehen laut den Fruchtfolgesätzen zu wenige Leguminosen in der Fruchtfolge. Das Klee gras könnte für eine bessere Humusbilanz und Bodenfruchtbarkeit zwei Hauptnutzungsjahre in der Fruchtfolge stehen. Dadurch würde sich die statische Humusbilanz auf -101 H_{äq} je ha und Jahr verbessern, wenn gleichzeitig das Klee gras als Untersaat im Dinkel etabliert wird (Tab. 8). Die dynamische Bilanz zeigt eine ausgeglichene Humusbilanz von +41 je ha und Jahr an. Der N-Saldo liegt mit 17,5 auch noch nicht zu hoch und könnte real bei nicht optimaler N-Fixierleistung des Klee grasses auch etwas niedriger liegen.



Foto: A. Fliessbach

Tab. 8: Humusbilanz und Humusmanagement in Gemischtbetrieben - Beispiel: Bedarf=Humusverlust durch humuszehrende Kulturen, Ersatz=Humuseratz durch humusmehrnde Kulturen und organische Dünger. Original=Fruchtfolge/Düngung laut Datenerhebung, alternativ=Vorschlag zur Optimierung der Humusversorgung.

Betrieb	Fokus	Kultur	Düngung	Humusbilanz STATISCH			Humusbilanz MODELLIERT			N-Bilanz kg N ha ⁻¹
				Bedarf	Ersatz	Saldo	Bedarf	Ersatz	Saldo	
2	original	Klee gras		0	700	700	862	1678	816	94,6
2	original	Kartoffeln	Rotemist 160 dt/ha	1500	640	-860	1399	1309	-91	62,2
2	original	Dinkel		600	0	-600	948	247	-701	-48,5
2	original	Roggen+Senf	Gründg.	600	260	-340	1653	894	-759	-53,5
2	original	Sommerge- treide	Rotemist 160 dt/ha	600	640	40	582	1142	560	71,2
2	original	Dinkel + Stoppelsaat Klee gras	KL G	600	140	-460	1019	578	-441	-32,2
	original	Mittelwert Fruchtfolge				-253			-102	15,7
2	alternativ	Klee gras		0	700	700	862	1678	816	94,6
2	alternativ	Klee gras		0	700	700	862	1678	816	94,6
2	alternativ	Kartoffeln	Rotemist 160 dt/ha	1500	640	-860	1399	1309	-91	62,2
2	alternativ	Dinkel		600	0	-600	948	247	-701	-48,5
2	alternativ	Roggen+Senf	Gründg.	600	260	-340	1653	894	-759	-53,5
2	alternativ	Sommerge- treide	Rotemist 160 dt/ha	600	640	40	582	1142	560	71,2
2	alternativ	Dinkel+Untersaat Fruchtfolge	KL G	600	250	-350	935	578	-357	-98,1
	alternativ	Mittelwert Fruchtfolge				-101			41	17,5

Viehloser/viehschwacher Ackerbau

Die drei Betriebe mit dem Produktionsschwerpunkt „viehloser/viehschwacher Ackerbau“ zeigen überraschend hohe Humusbilanzsalden, die bei Anwendung der statischen Methode zwar noch im anzustrebenden Bereich <300 HÄq je ha und Jahr liegen, aber im Mittel dennoch wesentlich über denen der Gemischtbetriebe liegen. In der dynamischen Bilanzierung hingegen ergibt sich ein abweichendes Bild: Für Betrieb 1 wird eine negative Humusbilanz berechnet, für die Betriebe 9 und 11 hingegen noch höhere Salden, als in der statischen Bilanzierung. Der Grund für die gegenüber der statischen Bilanzierung höheren Salden der Betriebe 9 und 11 liegt in einer jeweils sehr umfangreichen organischen Düngung bei einem als durchschnittlich zu bezeichnenden Ertragsniveau.

Betrieb 9 fährt eine getreidebetonte Fruchtfolge mit 12,5 - 25 % Futterleguminosen und ebenfalls 12,5 - 25 % Körnerleguminosen. Obwohl der Betrieb keinen eigenen Viehbestand hat, werden im Mittel fast 100 dt Rottemist je ha und Jahr gedüngt.

Auch Betrieb 11 baut hauptsächlich Getreide an (62,5 - 75 % Anbauumfang), dazu Körnerleguminosen und Klee gras, aber keine Hackfrüchte. Der Viehbesatz ist sehr gering, jedoch ist zu beachten, dass sich der Viehbestand von Betrieb 11 nicht aus Rindern, sondern aus Pferden und Hühnern zusammensetzt. Der entstehende Mist ist zwar nicht günstiger für die Humusproduktion als Rindermist, aber das Klee gras in der Fruchtfolge kann als Gründüngung genutzt werden

(Rotationsbrache) und trotzdem bzw. zusätzlich ist - im Gegensatz zum viehlosen Ackerbau - Stallmist für die Düngung verfügbar. Offensichtlich wird allerdings zusätzlich zum hofeigenen Mist Pferde- und Hühnermist weiterer Betriebe verwendet. Betrieb 1 hingegen wirtschaftet tatsächlich ohne Dünger aus der Tierhaltung. Die Fruchtfolgen müssen die Humusproduktion hier selber tragen. Da die statische Bilanz nicht nach der tatsächlichen Ertragslage und damit der Abschöpfung von N aus der Humusmineralisierung differenziert und Stroh gleichzeitig einen vergleichsweise hohen Humusproduktionswert besitzt (s. Tab. A2 im Anhang), wird die Humuszehrung der Nicht-Leguminosen aufgrund der hohen Stroherträge zu einem erheblichen Teil ausgeglichen. In der dynamischen Bilanzierung wird aufgrund des vergleichsweise hohen Ertragsniveaus von Betrieb 1 eine wesentlich höhere Inanspruchnahme von Humus-N berechnet, die durch die Strohdüngung bei weitem nicht ausgeglichen werden kann.

Eine Möglichkeit, die Humusbilanz für diesen Betrieb zu verbessern, wäre eine Futter-Dünger-Kooperation einzugehen. Desweiteren könnte ein N-Transfer in Form von gehäckseltem Klee gras als Zusatzdünger auf die Felder mit Stroh einarbeitung erfolgen. Durch die Zufuhr von 150 dt Klee gras mulch je ha zu der Triticale und zum Winterweizen könnten die Bilanzen bereits ausgeglichen werden (Tab. 9). Das „Futter“ für die Mikroorganismen könnte somit vielfältiger gestaltet werden. Möglicherweise haben die regelmäßigen einseitigen Strohgaben einen Einfluss auf die mikrobielle Biomasse im Boden.

Tab. 9: Humusbilanz und Humusmanagement in viehlosen/viehschwachen Betrieben mit dem Schwerpunkt Ackerbau - Beispiel. Bedarf=Humusverlust durch humuszehrende Kulturen, Ersatz=Humusersatz durch humusmehrnde Kulturen und organische Dünger. Original=Fruchtfolge/Düngung laut Datenerhebung, alternativ=Vorschlag zur Optimierung der Humusversorgung.

Betrieb	Fokus	Kultur	Düngung	Humusbilanz STATISCH			Humusbilanz MODELLIERT			N-Bilanz kg N ha ⁻¹
				Bedarf	Ersatz	Saldo	Bedarf	Ersatz	Saldo	
1	original	Klee gras	ohne	0	700	700	850	1678	828	94,6
1	original	Klee gras	ohne	0	700	700	850	1678	828	94,6
1	original	Winterweizen	Stroh	600	460	-140	1605	521	-1084	-79,6
1	original	Triticale	Stroh	600	572	-28	1512	596	-916	-64,5
1	original	Ackerbohnen	Stroh	0	768	768	206	716	509	60,5
1	original	Winterweizen	Stroh	600	440	-160	1529	498	-1031	-75,3
1	original	Sommer- gerste + Stoppelsaat Klee gras	Stroh+Gründg.	600	628	28	1414	1165	-249	-8,9
	original	Mittelwert Fruchtfolge				267			-159	3
1	alternativ1	Klee gras	ohne	0	700	700	850	1678	828	94,6
1	alternativ1	Klee gras	ohne	0	700	700	850	1678	828	94,6
1	alternativ1	Winterweizen	Stroh	600	460	-140	1605	521	-1084	-79,6
1	alternativ1	Triticale	Stroh+Klee grasmulch	600	812	212	1298	1307	9	25,5
1	alternativ1	Ackerbohnen	Stroh	0	768	768	206	716	509	60,5
1	alternativ1	Winterweizen	Stroh+Klee grasmulch 150 dt/ha	600	680	80	1316	1209	-106	14,7
1	alternativ1	Sommergerste + Stoppelsaat KLG	Stroh+Gründg.	600	628	28	1414	1165	-249	-8,9
	alternativ1	Mittelwert Fruchtfolge				335			105	28,8

Denn je vielfältiger die Fruchtfolge und die organische Düngung ist, also das „Futter“, umso vielfältiger ist die mikrobielle Biomasse zusammengesetzt und kann somit auch in Extremsituationen wie z. B. Krankheitsdruck und Trockenheit reagieren. Hierzu sind allerdings weitere Untersuchungen notwendig.

Auch eine Kompostierung von Klee gras und Stroh könnte zu einer besseren Humus- und N-Bilanz führen. Desweiteren ist der Anbau von Triticale nach Winterweizen nicht besonders günstig. Es könnte überlegt werden, nach dem Winterweizen eine Zwischenfrucht zu etablieren und als Nachfrucht Hafer mit Leindotter anzubauen.

Beim Anbau von Ackerbohnen ist gerade in einem viehlosen Betrieb zu beachten, dass viel Stickstoff durch den Kornertrag vom Feld abtransportiert wird, da er nicht wieder durch Wirtschaftsdünger zurück auf das Feld gebracht wird. So kann je nach Fixierleistung der Bohne sogar der N-Saldo in der dynamischen Bilanz negativ sein.

Tierproduktion

Die Gruppe „Betriebsschwerpunkt Tierproduktion“ weist bei den Humusbilanzen die größte Spannweite aller Auswertungsgruppen auf. Der sehr hohe Mittelwert ist hier nicht interpretationsfähig, denn zwei der drei Betriebe weisen insbesondere in der statischen Bilanzierung sehr ausgeglichene Salden auf (Nr. 7 und 8). Alle drei Betriebe in dieser Gruppe haben mit Blick auf die Humusbilanz gut aufgestellte Fruchtfolgen mit ca. 50 % Getreide, 28 - 33 % Futterleguminosen, 0 - 8,5 %

Hackfrüchten und 8 - 17 % Körnerleguminosen. Auch der Viehbesatz der Betriebe liegt mit 0,86 - 0,96 GV je ha LF in einem anzustrebenden Bereich. Aufgrund der vergleichsweise geringen Ackerflächen der Betriebe 6 und 8 ergibt sich jedoch ein Viehbesatz je ha AL von über 4 GV. Obwohl natürlich nicht der gesamte Dünger auf die Ackerflächen gebracht wird, beträgt die Düngung im Betrieb 6 140 bis 180 dt Stallmist je ha und Jahr auf dem Ackerland und übersteigt damit den für die Fruchtfolge empfohlenen Richtwert von 100 dt je ha und Jahr. Im Betrieb 8 beträgt die ausgebrachte Wirtschaftsdüngermenge dagegen im Durchschnitt lediglich 33 dt Stallmist und 2,5 m³ Gülle je ha AL und Jahr. Dies entspricht einem effektiven Viehbesatz von nur ca. 0,5 GV je ha Ackerland.

Beispiel: Betrieb 6

Betrieb 6 weist die höchsten Humus- und N-Bilanzsalden aller Projektbetriebe auf. Die Beurteilung ist hier allerdings besonders schwierig. Nach der statischen Humusbilanzmethode - und zunächst auch in der dynamischen Bilanzierung - liegt bei den Fruchtfolgen von Betrieb 6 eine klare Überversorgung mit organischer Substanz vor. Diese Einschätzung wird durch die Ergebnisse der N-Bilanz und durch die sehr hohe organische Düngung unterstützt.

Die hier gerechneten N-Bilanzen berücksichtigen allerdings eine sehr optimistisch angesetzte Fixierung von Luft-N durch Leguminosen und Gemenge mit Leguminosen. Falls in der Realität geringere Fixierleistungen vorliegen, überschätzt die N-Bilanz die Stickstoffflüsse. Dies kann der Fall sein,

- a) wenn die Leguminosen mit anderen wichtigen Nährstoffen unterversorgt sind (z. B. Schwefel),
- b) bei geringem Leguminosenanteil in Gemengen,
- c) bei hoher N-Versorgung der Leguminosen aus anderen Quellen.

Alle drei Aspekte könnten bei Betrieb 6 zutreffen: Eine Unterversorgung mit Schwefel scheint nach Ergebnissen verschiedener Arbeitsgruppen heute häufig zu sein. Zudem werden die Gemenge im Betrieb mit nur ca. 50 % Leguminosenanteil etabliert. Und drittens dürfte durch die hohe organische Düngung eine vergleichsweise gute Versorgung mit N aus der Bodenlösung vorliegen.

Im Beispiel (Tab. 10) sind die Auswirkungen einer geringeren angenommenen Fixierleistung auf die Humus- (nur dynamische Bilanzierung, da kein Effekt auf statische Bilanz!) und Stickstoffbilanzen dargestellt. Danach könnten die tatsäch-

lichen Bilanzsalden des Betriebes wesentlich unter den zunächst berechneten liegen.

Auch bei Annahme einer geringeren N-Fixierleistung deuten die Humusbilanzen allerdings auf eine mögliche „Überversorgung“ mit organischer Substanz hin. Falls die Erträge der Marktfrüchte nicht mittelfristig steigen, sollte überlegt werden, ob eine weitere „humuszehrende“ Kultur in die Fruchtfolgen integriert werden kann, um die N-Verwertung im System zu erhöhen. Am einfachsten wäre dabei vermutlich, ein Sommergetreide nach der Triticale am Ende der Fruchtfolge. Eine weitere Option wäre es, die Fruchtfolge z. B. für die Integration von Gemüse wesentlich zu verändern. Im Beispiel führt die vorgeschlagene Fruchtfolgeerweiterung zu deutlich verringerten Humus- und N-Bilanzsalden.



Foto: A. Fließbach

Tab. 10: Humusbilanz und Humusmanagement in Betrieben mit dem Schwerpunkt Tierproduktion - Beispiel, Bedarf=Humusverlust durch humuszehrende Kulturen, Ersatz=Humuseratz durch humusmehrnde Kulturen und organische Dünger. Original=Fruchtfolge/Düngung laut Datenerhebung, alternativ=Vorschlag zur Optimierung der Humusversorgung.

Betrieb	Fokus	Kultur	Düngung	Humusbilanz STATISCH Häq ha ⁻¹			Humusbilanz MODELLIERT Häq ha ⁻¹			N-Bilanz kg N ha ⁻¹	
				Bedarf	Ersatz	Saldo	Bedarf	Ersatz	Saldo	Bedarf	Saldo
6	original	Kleegras	Rottemist 150 dt/ha	0	1300	1300	2263	2982	719	102,0	
6	original	Kleegras	keine	0	700	700	1877	1745	-132	14,3	
6	original	Winterweizen	Gründg.+Rottemist 250 dt/ha	600	1260	660	1712	2395	683	89,5	
6	original	Ackerbohnen	Stroh	0	672	672	748	603	-145	4,2	
6	original	Dinkel	Rottemist 250 dt/ha	600	1000	400	823	1784	961	113,6	
6	original	Triticale	Gründg.+Rottemist 180 dt/ha	600	1130	530	1815	2214	398	61,9	
	original	Mittelwert Fruchtfolge				710			414	62,2	
6	alternativ	Kleegras	Rottemist 150 dt/ha	0	1300	1300	2263	2982	719	102,0	
6	alternativ	Kleegras	keine	0	700	700	1877	1745	-132	14,3	
6	alternativ	Winterweizen	Gründg.+Rottemist 250 dt/ha	600	1260	660	1712	2395	683	89,5	
6	alternativ	Ackerbohnen	Stroh	0	672	672	748	603	-145	4,2	
6	alternativ	Dinkel	Rottemist 250 dt/ha	600	1000	400	823	1784	961	113,6	
6	alternativ	Triticale	keine	600	0	-600	1223	244	-979	-72,3	
6	alternativ	Sommerweizen	Gründg.+Rottemist 180 dt/ha	600	1130	530	1879	2290	410	-31,2	
	alternativ	Mittelwert Fruchtfolge				523			217	31,4	

Gemüsebau

Auch die beiden Gemüsebaubetriebe zeigen sehr stark voneinander abweichende Humusbilanzen. Allerdings sind die Betriebe auch nicht direkt miteinander vergleichbar, sondern bilden sehr verschiedene Produktionsformen im Feldgemüsebau ab: Auf den bewerteten Flächen von Betrieb 14 wird intensiver Feldgemüsebau mit bis zu 80 % Anbauumfang starkzehrender Gemüse in den Fruchtfolgen betrieben. Die Humusbilanzen sind daher stark negativ, trotz einer durchschnittlichen Mistzufuhr von 55 - 100 dt Rottemist je ha und Jahr. Allerdings konnten die Abfälle aus der Gemüseaufbereitung mangels Daten nicht quantifiziert werden, so dass die Humusbilanzen real wahrscheinlich weniger negativ sind, als in dieser Auswertung berechnet. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Humusbilanzen dennoch im negativen Bereich liegen.

Betrieb 15 weist in der statischen Bilanzierung eine mäßig negative, in der dynamischen Bilanzierung hingegen eine leicht positive Humusbilanz auf, obwohl auch hier im Durchschnitt lediglich ca. 45 dt Stallmist je ha und Jahr auf den gemüsebaulich genutzten Böden ausgebracht werden. Bewertet wurden hier jedoch nicht Flächen mit intensivem Gemüsebau, sondern mit der Einbindung bestimmter Kulturen (Erdbeeren, Möhren) in ackerbauliche Fruchtfolgen. Auch hier wurden Rückstände aus der Gemüseaufbereitung nicht beziffert, weiterhin konnte die Humuswirkung der Erdbeerpflanzen nach Umbruch der Kultur nicht eingeschätzt werden. Es ist daher wiederum anzunehmen, dass die Humusbilanzen in

der Realität etwas positiver ausfallen als in den hier angestellten Berechnungen.

Abweichung zwischen statischer und dynamischer Bilanz bedingt durch Berücksichtigung der tatsächlichen Erträge im dynamischen Modell.

Managementoptionen zum Ausgleich der stark negativen Humusbilanzen des Betriebes 14:

Auffällig ist bei diesem Beispiel, dass trotz einer negativen Humusbilanz das N-Bilanzsaldo leicht positiv ist. Das bedeutet, dass es dem Boden eher an Kohlenstoff fehlt als an Stickstoff.

In der Fruchtfolge findet ein intensiver Feldgemüseanbau ohne Grünbache statt. Es sollte darüber nachgedacht werden, Klee gras in die Fruchtfolge aufzunehmen. Das Klee gras kann dann mit den Grünabfällen des Gemüsebaus kompostiert werden, damit kaum Kompost importiert werden muss. Dadurch wird die Humusbilanz, abhängig davon wie viel Trockenmasse der Kompost bei der Düngung aufweist, deutlich verbessert oder sogar ausgeglichen. Angenommen wurden hier 35 % Trockenmasse, das entspricht 62 Häq je Tonne Kompost. Steigt die Trockenmasse auf 55 %, liegt die Humusersatzleistung des Kompostes bei 96 Häq je Tonne (siehe Tab., A2).

Beispiel: Betrieb 14

Tab. 11: Humusbilanz und Humusmanagement in Betrieben mit dem Schwerpunkt Feldgemüsebau - Beispiel. Bedarf=Humusverlust durch humuszehrende Kulturen, Ersatz=Humusersatz durch humuszehrende Kulturen und organische Dünger. Original=Fruchtfolge/Düngung laut Datenerhebung, alternativ=Vorschlag zur Optimierung der Humusversorgung.

Betrieb	Fokus	Kultur	Düngung	Humusbilanz STATISCH		Humusbilanz MODELLIERT		N-Bilanz kg N ha ⁻¹ Saldo		
				Häq ha ⁻¹ Bedarf	Häq ha ⁻¹ Saldo	Häq ha ⁻¹ Bedarf	Häq ha ⁻¹ Saldo			
14	original	Blumenkohl + Lands- berger Gemenge	Gründg.	1500	268	-1232	2541	1776	-765	-2,2
14	original	Kartoffeln + ZF Senf	Gründg.	1500	260	-1240	3052	1256	-1796	-94,6
14	original	Zwiebeln	ohne	600	0	-600	1141	62	-1078	-38,5
14	original	Möhren	ohne	1200	0	-1200	2127	807	-1319	-52,0
14	original	Winterweizen + Le- guminosengemenge	Stroh + Gründg. + Rottemist 500 dt/ha	600	2808	2208	1980	4326	2346	253,8
	original	Mittelwert Fruchtfolge				-413			-522	13
14	alternativ	Kleegras		0	700	700	850	1678	828	94,6
14	alternativ	Blumenkohl + ZF Phacelia	Gründg.	1500	228	-1272	2762	1584	-1178	-39,3
14	alternativ	Kartoffeln + ZF Senf	Gründg. + Kompost 250 dt/ha	1500	1678	178	1905	2813	908	168,2
14	alternativ	Zwiebeln + WZF Wicken	Gründg.	600	268	-332	1547	773	-774	-12,5
14	alternativ	Möhren	ohne	1200	0	-1200	2127	807	-1319	-52,0
14	alternativ	Winterweizen + Stoppelsaat KLG	Stroh + Gründg. + Kompost 250 dt/ha	600	2230	1630	1980	2769	789	101,3
	alternativ	Mittelwert Fruchtfolge				-49			-124	43

Dann sollte anstatt des Landsberger-Gemenges nach dem Blumenkohl eine andere Zwischenfrucht angebaut werden, wegen der Selbstunverträglichkeit von Klee, in Frage würde z. B. Phacelia oder Ölrettich kommen. Nach den Zwiebeln könnte noch eine Gründüngung angebaut werden, wenn die Möhren nicht zu früh gesät werden. Desweiteren ist es ratsam, die hohe Kompostdüngung zum Winterweizen zu ändern. Eine Gabe von 250 dt je ha könnte zu den Kartoffeln gegeben werden und 250 dt je ha zum Winterweizen.

Kompostdüngung alle drei Jahre zu düngen ist besser, als eine sehr hohe Gabe nur einmal in der Fruchtfolge zu geben.

Positiv am Kompost ist außerdem seine suppressive Wirkung auf knollen- und bodenbürtige Krankheiten, dadurch könnte der marktfähige Ertrag der Kartoffeln steigen. Da der Betrieb laut der dynamischen Bilanz neben einer negativen Humusbilanz eine leichte „Übersorgung“ von Stickstoff aufweist, werden eher nicht-legume Zwischenfrüchte empfohlen. Durch die vorgeschlagene Fruchtfolge kann zwar die Humusbilanz verbessert werden, gleichzeitig steigt aber auch das N-Bilanz Saldo an, liegt aber noch unter dem oberen Grenzwert der N-Bilanz von +50 kg N ja ha und Jahr. Im Gegensatz zu den wichtigsten Kulturen des Ackerbaus müssen aber die Bilanzkoeffizienten für den Gemüsebau noch durch Feldversuche überprüft werden.

4. Zusammenfassung - Fazit - Ausblick

4.1. Humusbilanz: Die Situation auf hessischen Öko-Betrieben

Betrachtet man die Humusbilanzen der 15 Betriebe die am Projekt teilgenommen haben, lässt sich insgesamt sagen, dass das Humusmanagement auf hessischen Öko-Betrieben zufriedenstellend ist. Extrem hohe oder negative Humusbilanzen konnten nur in Einzelfällen festgestellt werden, im Durchschnitt überwogen die mehr oder weniger ausgeglichenen Bilanzen.

Es zeigt sich aber, dass Bilanzen für die „angestrebten“ oder allgemeinen Fruchtfolgen im Betrieb erheblich von schlagspezifischen Bilanzen abweichen können. Von daher ist eine schlag- oder rotationsbereichspezifische Bilanzierung unbedingt zu empfehlen!

4.2. Aussagekraft der Bilanzen

Allgemein gilt für Humusbilanzen:

- Negative Humusbilanzsalden drücken eine mangelhafte Versorgung der Böden mit organischer Substanz aus. Humusabbau und die Inanspruchnahme von Humus-N sind größer als die Nachlieferung.
- Negative Humusbilanzen gefährden damit die Produktivität und Qualität von Ackerböden.
- Positive Humusbilanzen sind die Voraussetzung für einen Aufbau der Humusvorräte.

- Es besteht allerdings ein Zusammenhang zwischen positiven Humusbilanzsalden und dem Potenzial umweltschädlicher N-Verluste.
- Grundsätzlich sind ausgeglichene Humusbilanzen anzustreben.
- Aufgrund der für die gute Praxisanwendbarkeit der Methoden in Kauf zu nehmenden Ungenauigkeit/Unschärfe ist die Ausweisung und Anwendung pauschaler Grenzwerte jedoch sehr schwierig.
- Aus Vorsorgegründen sollten negative Bilanzen grundsätzlich vermieden werden.
- Obere und untere Grenzwerte für Humusbilanzen sind aktuell nicht sicher auszuweisen. Die Anwendung der im VDLUFA-Standpunkt genannten Werte von +300 Häq und -100 Häq je ha und Jahr erscheinen im Sinne der Vorsorge vertretbar.

Auch wenn Humusbilanzen das einzige Instrument zur allgemeinen bzw. flächendeckenden Bewertung der Humusproduktion im Betrieb sind, sollten diese durch weitere Beobachtungen ergänzt werden. Langfristige Monitorings von Änderungen der Humusvorräte sind zwar sinnvoll, liefern aber erst nach mehreren Jahren Erkenntnisse zu den Auswirkungen einer Bewirtschaftung. Zumindest die aktuelle Humusversorgung kann auch über die Beobachtung der Bodenqualität ein Stück weit beurteilt werden. Da eine gute Humusversorgung zu einer krümeligen Bodenstruktur, einer guten Infiltration und aktivem Bodenleben führt, lässt sich auch der umgekehrte Schluss ziehen: Ist die Bodenstruktur gut und das Bodenleben aktiv, so ist es sehr wahrscheinlich, dass der betreffende Schlag gut mit

Humus versorgt ist. Und: auch für die Humusreproduktion und deren Leistungen im Pflanzenbau ist ein guter Boden-pH (5,5 - 7) anzustreben!

4.3. Allgemeine Empfehlungen

Die Fruchtfolgegestaltung hat einen entscheidenden Einfluss darauf, ob eine ausgeglichene Humusbilanz erreicht werden kann. Zwar ist in der Praxis derzeit der Trend zu beobachten, den Leguminosenanteil in der Fruchtfolge eher zu verringern. Allerdings spielt dieser eine entscheidende Rolle für die Stickstoffnachlieferung ins System und sollte deshalb nicht unterschätzt bzw. zu stark reduziert werden. Die Strohdüngung von nicht-legumen Kulturen reicht für den Humusaufbau bzw. -erhalt nicht aus, denn Humus wird nicht allein durch C aufgebaut. Für den Humusersatz braucht es zum Kohlenstoff auch immer Stickstoff. Und auch Stallmist liefert dem Boden letztendlich nur Stickstoff, der sich ohnehin schon im Kreislauf des Betriebssystems befindet. Leguminosen stellen hingegen die einzige echte N-Quelle im Betrieb dar.

Folgende Empfehlungen zur Fruchtfolge zielen auf eine ausgeglichene Humusreproduktion bei einem Viehbesatz von 1 GV je ha Ackerland:

- 50 % Getreide (bzw. allgemein Druschfrüchte inklusive Körnerleguminosen),
- 25 % Hackfrüchte
- 25 % Futterleguminosen bzw. -gemenge

Gleichzeitig sollte auf eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung geachtet

werden. Es sollte ein Wechsel zwischen Winterungen und Sommerungen stattfinden. Über den Anbau von Gemengen und Untersaaten wird dem Boden eine vielfältige Wurzelmasse nachgeliefert. Bei der Durchwurzelung sollte auch darauf geachtet werden, dass Tiefwurzler nach Flachwurzlern angebaut werden, um die Bodenstruktur wieder aufzulockern.

Insbesondere viehschwache Betriebe sollten keinesfalls auf den Anbau von Klee- oder Luzernegras verzichten, denn bei Körnerleguminosen wird ein guter Teil des Stickstoffs mit dem Erntegut vom Feld abgefahren. Zwar ist das Stroh der Körnerleguminosen N-reicher und von daher für die Humusproduktion wertvoller als Getreidestroh, die Humusproduktion in Körnerleguminosen-Anbausystemen wird dadurch jedoch höchstens schwach positiv und kann mit dem Humusaufbau durch Futterleguminosen und -gemenge bei weitem nicht konkurrieren.

Wirtschaftsdünger

Wirtschaftsdünger spielen für eine ausgeglichene Humusbilanz eine wichtige Rolle, können aber keine Fruchtfolgefehler kompensieren. Es zahlt sich nicht aus, Leguminosen in der Fruchtfolge zu reduzieren, wenn viel Wirtschaftsdünger auf dem Betrieb vorhanden ist, denn letztendlich findet sich im Wirtschaftsdünger nur der bereits im Betriebskreislauf vorhandene Stickstoff wieder, der durch den Leguminosenanbau ins System gekommen ist.

Dennoch, für viehschwache/viehlose Betriebe empfiehlt es sich, wenn möglich mit einem anderen Öko-Betrieb eine Futter-Mist-Kooperation einzugehen

und-eventuell über eigene Kompostierung nachzudenken oder qualitätsgeprüften Grünschnittkompost einzukaufen.

Bodenbearbeitung

Die Bodenbearbeitung wirkt über die Beeinflussung der Bodenstruktur und die Umverteilung organischer Inputs auf den Umsatz organischer Substanz im Boden ein. Bisher konnte jedoch nicht eindeutig festgestellt werden, ob eine reduzierte Intensität der Grundbodenbearbeitung grundsätzlich zu einem Verminderten Umsatz und damit Humusanreicherung führt. Die Ergebnisse wissenschaftlicher Studien dazu weisen in verschiedene Richtungen. Davon unabhängig wurde von verschiedenen positiven Wirkungen reduzierter Bodenbearbeitung, z. B. mit Blick auf die Bodenfauna, berichtet. Im Zusammenhang mit der Humusbilanz können diese Effekte aktuell aber noch nicht bewertet werden.

4.4. Empfehlungen für Betriebe der unterschiedlichen Produktionsrichtungen

Gemischtbetriebe

Gemischtbetriebe können am einfachsten eine ausgeglichene Humusversorgung erreichen, da hier Futterleguminosen besonders einfach und ökonomisch in die Fruchtfolgen integriert werden können und Stallmist als besonders wertvoller Dünger für den Humusaufbau zur Verfügung steht.

Tierproduktion

Betriebe mit dem Schwerpunkt Tierproduktion weisen leicht hohe Humusbilanzsalden auf. Das hat zwei Hauptgründe: erstens ist der Wirtschaftsdüngeranfall

für das Ackerland hoch und zweitens ist die N-Ausnutzung eher gering, da sich die Betriebe normalerweise nicht auf den besten Standorten befinden und das Ertragsniveau der Marktfrüchte damit gering ist.

Falls die Humusbilanzsalden tatsächlich sehr hoch ausfallen, sind Fruchtfolgeanpassungen zu empfehlen, wobei auch über stärker zehrende Marktfrüchte nachgedacht werden sollte. Ansonsten wären Futter-Mist-Kooperationen mit viehschwachen Betrieben sinnvoll, um den Wirtschaftsdüngeranfall an den Bedarf in der eigenen Pflanzenproduktion anzupassen.

Viehloser/viehschwacher Ackerbau

Im vorliegenden Projekt hatten viehschwache Betriebe z. T. erstaunlich hohe Humusbilanzen, da in mehreren Fällen Wirtschaftsdünger von anderen Öko-Betrieben importiert wurde. Viehlose/viehschwache Bewirtschaftung ohne zugekauften Wirtschaftsdünger tendiert jedoch auch mit Stroh- und Gründüngung zu negativen Humusbilanzen. Wichtig wäre es hier, Futterleguminosen in ausreichendem Umfang in Haupt- und Zwischenfruchtstellung zu integrieren. Der Aufwuchs von Klee gras-Rotationsbrachen sollte dabei zur Erhöhung der N-Effizienz lieber nicht gemulcht und auf der Fläche belassen, sondern nach dem „cut&carry“-System zumindest teilweise zu düngedürftigen Kulturen oder in das gehäckselte Getreidestroh gebracht werden. Eine weitere wertvolle Lösung ist in einer Kompostwirtschaft zu sehen.

Gemüsebau

Die Bewertung von Betrieben des Garten- und Gemüsebaus mit Humusbilanzen ist im Moment noch sehr schwierig, da zum einen die Methodik der Datenerhebung für die Humusbilanzierung an Bedingungen des Ackerbaus angepasst ist. Zum anderen liegen Humusbilanzkoeffizienten für Öko-Gemüse bisher nur aus der Modellierung vor und konnten noch nicht hinreichend geprüft werden.

Grundsätzlich besteht im Gemüsebau jedoch mitunter das Problem, dass vergleichsweise hohe N-Bilanzen mit negativen Humusbilanzen zusammentreffen. Hier ist also nicht, wie im ökologischen Ackerbau, der Stickstoff der limitierende Faktor für die Humusproduktion, sondern der Kohlenstoff. Ziel muss es sein, Einträge kohlenstoff- und stickstoffreichen Materials gut abzustimmen und z. B. die Leguminosenanteile in Zwischenfruchtgemengen eher gering zu halten, falls der notwendige N-Input für die Fruchtfolge durch andere Dünger realisiert wird. Auch hier ist die Verwendung von Komposten anstelle von schneller umsetzbaren Substraten zu empfehlen, sofern Spitzen im N-Bedarf der Kulturen anderweitig versorgt werden können.

4.5. Forschungsbedarf

Besonders für die Humusbilanzierung im Gemüsebau besteht noch ein großer Forschungsbedarf. Denn im Gegensatz zu den wichtigsten Kulturen des Ackerbaus konnten die Bilanzkoeffizienten für den Gemüsebau mangels Feldversuche nicht überprüft werden. Insbesondere für die Bewertung von Gemüse unter Bedingungen des Ökolandbaus liegt keine hin-

reichende experimentelle Basis vor. Eine weitere Schwierigkeit bei der Humusbilanzierung im Garten- und Gemüsebau besteht in den räumlichen und zeitlichen Anbaustrukturen, die eine hinreichende Datenerfassung sehr erschweren. Da für eine optimale Interpretierbarkeit der Humusbilanzen flächenscharfe Daten benötigt werden, kann eine sehr kleinräumige Unterteilung von Schlägen/Flächen zur Datenerhebung nötig sein. Auch der Anbau in mehreren zeitlich verschobenen Sätzen erschwert sowohl die Ausweisung von Humusreproduktionskoeffizienten, wie auch die Datenerhebung. Aktuell liegen keine Humusbilanzmethoden vor, die für eine Anwendung im Garten- und Gemüsebau adaptiert sind.

Weiterhin besteht Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der Bodenbearbeitung in der Humusbilanzierung. Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf den Humusumsatz sind anzunehmen und z. T. auch bereits beschrieben. Diese müssten für eine korrekte Bewertung von Bodenbearbeitungseffekten in der Humusbilanz weiter untersucht und quantifiziert werden. Dabei sind Auswirkungen auf den Umsatz leichter abbaubarer Bestandteile der organischen Substanz und der damit verbundenen C- und N-Freisetzung ebenso zu berücksichtigen wie die Veränderung der Verfügbarkeit von in die Bodenmatrix eingeschlossener organischer Substanz für den mikrobiellen Zugriff.

Zudem sind neue und bisher nicht hinreichend beforschte Möglichkeiten zur Sicherung der Humusversorgung zu untersuchen und für die Humusbilanzierung zu bewerten. Hierzu zählen insbesondere

Ansätze in der Stroh- und Gründüngung mit dem Ziel einer optimalen Synchronisation von C- und N-Inputs, sowie Ansätze der Kompostbereitung.

Schließlich werden dringend Methoden für die verlässliche Einschätzung der symbiotischen N-Fixierung von Leguminosen benötigt, und zwar gleichermaßen für die Stickstoff-, wie auch für die modellbasierte Humusbilanzierung.

5. Literatur

Baumann E, Schmidt N (1979): Zum gegenwärtigen Stand der Bilanzierung des Bedarfes an organischer Substanz für die Reproduktion des Humusgehaltes der Böden bei der Freilandgemüseproduktion. Archiv für Gartenbau 27 H7, 349-358.

Brock C, Hoyer U, Leithold G, Hülsbergen K-J (2012): The humus balance model (HU-MOD): a simple tool for the assessment of management change impact on soil organic matter levels in arable soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems 92, 239-254.

Brock C, Hoyer U, Leithold G, Hülsbergen K-J (2008): Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode der Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Giessener Schriften zum Ökologischen Landbau 1, Verlag Dr. Köster, Berlin. Projektbericht online abrufbar unter <http://orgprints.org/16447/>

FiBL, Bioland, Demeter, KÖN, IBLA (2012): Grundlagen zur Bodenfruchtbarkeit. Die Beziehung zum Boden gestalten. Online abrufbar unter <http://bodenfruchtbarkeit.org/grundlagen.html>

Leithold G, Brock C, Hoyer U, Hülsbergen K-J (2007): Anpassung der Humusbilanzierung an die Bedingungen des ökologischen Landbaus. In KTBL (Hrsg.): Bewertung ökologischer Betriebssysteme. KTBL, Darmstadt, 24-50.

Leithold G, Hülsbergen K-J (1998): Humusbilanzierung im ökologischen Landbau. Ökologie & Landbau 105, Online abrufbar unter

http://www.soel.de/publikationen/oekologie_und_landbau/downloads/oel105_32_35_leithold_huelsbergen.pdf

Leithold G, Hülsbergen K-J, Michel D, Schönmeier H (1997): Humusbilanzierung - Methoden und Anwendung als Agrar- Umweltindikator. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hrsg.): Initiativen zum Umweltschutz 5, 43-54.

VDLUFA (2004): Humusbilanzierung. Standpunkt des VDLUFA. Eigenverlag VDLUFA, Speyer. Online abrufbar unter <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/08-humusbilanzierung.pdf>

6. Anhang: Humusbilanzrechner

6.1. Humusbilanzmethode für den Ökologischen Land- bau

Methodische Grundlagen: VDLUFA(2004),
Leithold et al (1997), Leithold & Hülsber-
gen (1998), Leithold et al (2007), Brock
et al (2012)

Humusbilanzen werden für Fruchtfolgen
berechnet und gelten entsprechend nur
für den Rotationsbereich, auf dem die
jeweilige Fruchtfolge gefahren wird. Hat
ein Betrieb mehrere verschiedene Rota-
tionsbereiche/Fruchtfolgen, so sind diese
jeweils einzeln zu bewerten. Die Bildung
eines Betriebsmittels über mehrere Rota-
tionsbereiche ist nicht zweckmäßig.

Die Berechnung der Humusbilanz erfolgt
nach dem folgenden Schema:

$$\begin{aligned} \text{Humusbilanz} &= \\ &\text{Humusersatz} - \text{Humusbedarf} \\ \\ \text{bzw.} \\ \\ \text{Humusbilanz} &= \\ &\text{Humusersatzleistung humusmehrender} \\ &\text{Kulturen} \\ &+ \text{Humusersatzleistung organischer Dünger} \\ &- \text{Humusersatzbedarf humuszehrender Kulturen} \end{aligned}$$

Die Koeffizienten zu Humusersatzleistung
und Humusbedarf von Fruchtarten sind in
den Tabellen A1.1 und A1.2 angegeben.
Die Werte in den Tabelle A1.1 und A1.2
gelten für das in Tab A1.3 angegebene
Ertragsniveau der Kulturpflanzenbestän-
de. Weicht das Ertragsniveau bei einer
Kultur im bewerteten Betrieb von dieser

Bezugsspanne ab, wird die Aussagekraft
der Bilanz geringer! Bei geringerem Er-
tragsniveau als in der Bezugsspannweite
angegeben sind die realen Humusbilanz-
salden wahrscheinlich positiver/höher als
berechnet, bei höherem Ertragsniveau,
als in der Tabelle angegeben, vermindern
sich die realen Bilanzsalden gegenüber
der Berechnung.

Koeffizienten zur Humusersatzleistung
von organischen Düngern (einschl. Kop-
pelprodukte wie Rübenblatt und Stroh)
stehen in Tab. A2.

Ein Beispiel zur Berechnung der Humus-
bilanz ist in Tab. A3 aufgeführt.

Tab. A1.1: Humusersatzbedarf humuszehrender Früchte.

Fruchtarten Hauptfruchtarten	Humusersatzbedarf (Häq ha ⁻¹ a ⁻¹) Ökolog. Landbau
Zucker- und Futterrübe, einschließlich Samenträger	2000
Kartoffeln und 1. Gruppe Gemüse, Gewürz- und Heilpflanzen	1500
Silomais, Körnermais und 2. Gruppe Gemüse, Gewürz- und Heilpflanzen	1200
Getreide, Öl- und Faserpflanzen, Sonnenblumen und 3. Gruppe Gemüse, Gewürz- und Heilpflanzen	600
1. Gruppe Gemüse: Blumenkohl, Brokkoli, Chinakohl, Fingerhut, Gurke, Knollensellerie, Kürbis, Porree, Rhabarber, Rotkohl, Stabtomate, Stangensellerie, Weißkohl, Wirsingkohl, Zucchini, Zuckermelone	
2. Gruppe Gemüse: Aubergine, Chicoree (Wurzel), Goldlack, Kamille, Knoblauch, Kohlrübe, Malve, Möhre, Meerrettich, Paprika, Pastinake, Ringelblume, Schöllkraut, Schwarzwurzel, Sonnenhut, Zuckermais	
3. Gruppe Gemüse: Ackerschachtelhalm, Alant, Arzneifenchel, Baldrian, Bergarnika, Bergbohnenkraut, Bibernelle, Blattpetersilie, Bohnenkraut, Borretsch, Brennessel, Buschbohne, Drachenkopf, Dill, Dost, Eibisch, Eichblattsalat, Eisbergsalat, Endivie, Engelswurz, 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	



Tab. A1.2: Humusersatzleistung humusmehrender Früchte.

Fruchtarten Hauptfruchtarten	Humusreproduktionsleistung (Häq ha ⁻¹ a ⁻¹) Integrierter und Ökologischer Landbau
Körnerleguminosen allgemein ³⁾	160
Mehrfähriges Feldfutter	Integrierter und Ökologischer Landbau
Ackergras, Leguminosen, Leguminosen-Gras-Gemenge, Vermehrung)	
je Hauptnutzungsjahr	700
im Ansaatzjahr	
als Frühjahrsblanksaat	450
bei Gründeckfrucht	350
als Untersaat	250
als Sommerblanksaat	125
Zwischenfrüchte	Integrierter und Ökologischer Landbau
Winterzwischenfrüchte	140
Stoppelfrüchte	100
Untersaaten	250
Brache	Integrierter und Ökologischer Landbau
Selbstbegrünung	
ab Herbst	180
ab Frühjahr des Brachejahres	80
Gezielte Begrünung	
ab Sommer der Brachelegung, einschl. des folgenden Brachejahres	700
ab Frühjahr des Brachejahres	400

Tab. A1.3: Angenommenes Ertragsniveau der Kulturpflanzenbestände in der statischen Humusbilanzmethode für den Ökologischen Landbau.

Fruchtart	Referenz-Ertragsspanweite dt ha ⁻¹
Zuckerrüben...	~400 - 500
Kartoffeln...	~200 - 300
Silomais...	~250 - 350
Getreide...	~30 - 50
Kleegrass	~400 - 500
Körnerleguminosen	~25 - 35

Tab. A2: Richtwerte für die Humusersatzleistung 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
Frischkompost*)	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
*) - mit abbaustabilem Strukturmaterialanteil		

Tab. A3a: Anwendungsbeispiel Humusbilanz-Öko- Humusreproduktionsbedarf humuszehrender Fruchtarten in der Fruchtfolge.

Fruchtarten	Humusreproduktionsbedarf in Häq ha ⁻¹ .a ⁻¹
1. Jahr: Klee gras*	
2. Jahr: Klee gras*	
3. Jahr: Winterweizen	600
4. Jahr: Kartoffeln	1500
5. Jahr: Winterweizen	600
6. Jahr: Winterroggen mit Untersaat Klee gras	600
Summe der Fruchtfolge	3300

Tab. A3b: Anwendungsbeispiel Humusbilanz-Öko- Humusreproduktionsleistung humusmehrender Fruchtarten in der Fruchtfolge und durch zugeführte organische Materialien.

Fruchtarten	Organische Düngung		Humusreproduktionsleistung	
	Material	Menge t ha ⁻¹	Häq t Substrat ¹	Häq ha ⁻¹ a ⁻¹
1. Jahr: Klee gras*				700
2. Jahr: Klee gras*				700
3. Jahr: Winterweizen				0
4. Jahr: Kartoffeln	Rotemist (25 % TM)	30	40	1200
5. Jahr: Winterweizen				0
6. Jahr: Wi-Roggen mit Untersaat Klee gras	Rotemist (25 % TM)	20	40	800 (Mist) + 250 (Unters.)
Summe der Fruchtfolge				3650

Tab. A3c: Anwendungsbeispiel Humusbilanz-Öko- Humusversorgung der Fruchtfolge, Angabe in Häq je ha.

Humusreproduktionsbedarf	Humusreproduktionsleistung	Humusversorgung		
		Fruchtfolge	je Jahr	Klasse
3300	3650	+350	+58,3	C

7. Glossar

Humus: organische Bodensubstanz, aus der durch mikrobiellen Abbau gebundene Elemente nach und nach in eine pflanzenverfügbare Form umgewandelt werden.

Humusbedarf: Die „Humuslücke“, die durch den Anbau von humuszehrenden Kulturen entsteht.

Humusersatz: Der „Humusüberschuss“, den der Anbau von humusmehrenden Kulturen und die organische Düngung liefern.

Humusbilanz: Berechnet sich aus Humusersatz minus Humusbedarf. Sie zeigt an, ob mit der Bewirtschaftung mit Blick auf die Nachlieferung von mineralisiertem Humus-Stickstoff eine ausreichende Versorgung der Böden mit organischer Substanz erreicht wird. Allerdings kann von ihr nicht direkt auf die Veränderung der Humusvorräte an einem Standort geschlossen werden. Möglich ist es aber, an einem Standort die Humusbilanz der aktuellen Bewirtschaftung mit der Bilanz einer vorangegangenen Bewirtschaftung oder einer geplanten Umstellung zu vergleichen.

Humusbilanzsaldo: Das Vorzeichen zeigt an, ob die Humusversorgung überschüssig, ausgeglichen oder unzureichend ist. Da Humusbilanzmethoden für die Praxisanwendung gedacht und daher sehr einfache Instrumente sind, können nur unscharfe Aussagen gemacht werden. Als Grenzwerte für ausgeglichene Humusbilanzen können -100 und +300 HÄq je ha und Jahr verwendet werden. Bilanzsalden unter -100 HÄq zeigen eine

unzureichende Humusversorgung an, Bilanzen über +300 HÄq eine überschüssige. Unzureichende Bilanzen gefährden die Bodenfruchtbarkeit, überschüssige Bilanzen zeigen ein erhöhtes Potential umweltschädlicher Stickstoffverluste an. Bei der Interpretation von Humusbilanzen sollten allerdings weitere Beobachtungen und Daten berücksichtigt werden, vor allem die Bodenstruktur und die N-Bilanz.

VDLUFA: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Der Standpunkt zur Humusbilanz des VDLUFA stellt die aktuelle Standardmethode für die Humusbilanzierung in Deutschland dar. Diese Methode ist aber ausdrücklich NICHT für den Ökolandbau vorgesehen.

HU-MOD: → dynamisches Humusbilanzmodell (Brock et al. 2008,2012), Weiterentwicklung der dynamischen Humusbilanzmethode von Hülsbergen (2003), die wiederum auf Arbeiten von Leithold (1991) beruht. Mit dem HU-MOD können Kennziffern zu Humusbedarf und -ersatz von Fruchtarten-Anbausystemen im Ackerbau nachvollziehbar berechnet werden. So kann das Modell auch die Werte aus der VDLUFA-Methode und der Statischen Humusbilanzmethode für den Ökologischen Landbau für die jeweils geltenden Rahmenbedingungen bei Ertrag und Düngung nachberechnen. Das Modell liegt aktuell leider nicht in einer praxisverfügbaren Version vor. Im Projekt huhu-öko Hessen wird HU-MOD vor allem genutzt, um die Ergebnisse der Statischen Bilanzierung besser beurteilen zu können.

Statische Humusbilanzmethode für den Ökologischen Landbau: Einfache, praxisanwendbare Humusbilanzmethode mit statischen Humusbedarfs-Koeffizienten (d.h. ohne Berücksichtigung der tatsächlichen Erträge oder anderer variabler Rahmenbedingungen), die die spezifischen Bedingungen der Pflanzenproduktion im Ökolandbau berücksichtigt. Entwickelt von Leithold et al. (1997). Die Humusbedarfswerte aus dieser Methode wurden jüngst für die Aufnahme in die VDLUFA-Humusbilanzmethode vorgeschlagen.

Humusbilanzkoeffizient: Kennzahl für den Humusbedarf bzw. die -zufuhr in Humusäquivalenten (Häq).

Häq: (= Humusäquivalent) Einheit des Humusbilanzkoeffizienten.

8. Autorenverzeichnis



Dr. Christopher Brock,
Justus-Liebig-Universität Giessen,
Professur für Organischen Landbau,
Karl-Glöckner-Straße 21c,
35394 Giessen,
Tel.: 0641 99-37735,
E-Mail: Christopher.Brock@agrar.uni-
giessen.de



Meike Oltmanns,
Forschungsring e. V.
Brandschneise 5,
64295 Darmstadt,
Tel.: 06155 8421-13,
E-Mail: oltmanns@forschungsring.de



Ann-Kathrin Spiegel,
FiBL Deutschland e. V. Forschungs-
institut für biologischen Landbau,
Kasseler Straße 1a,
60486 Frankfurt am Main,
Tel.: 069 7137699-85,
E-Mail: Ann-Kathrin.Spiegel@fibl.org



Landesbetrieb
Landwirtschaft
Hessen

JUSTUS-LIEBIG-



UNIVERSITÄT
GIESSEN



Professur für
Organischen
Landbau



FORSCHUNGSRING e.V.