



Standortangepasste Humusbilanzierung im ökologischen Landbau

Informationen für Praxis, Beratung und Schulung



Anwendungsbeispiele zur standortangepassten Humusbilanzierung im ökologischen Landbau

Informationen für Praxis, Beratung und Schulung

Dr. Hartmut Kolbe

1	Einleitung	4
2	Grundlagen	4
	Einfluss des Standortes.....	4
	Einfluss der Fruchtarten und der Fruchtfolge	5
	Einfluss der organischen Materialien.....	6
	Bodenuntersuchung und Humusbilanzierung.....	8
	Erstellung einer Humusbilanz.....	8
	Prinzip des Humusumsatzes	10
	Untersuchte Anbaukonzepte und Ergebnisdarstellung.....	11
3	Bilanzierungsergebnisse für einzelne Fruchtarten	12
	Futter- und Körnerleguminosen, Ackergras und -Gemenge	12
	Getreide und Raps	13
	Körner- und Silomais.....	13
	Kartoffeln, Rüben und Feldgemüse.....	14
4	Fruchtfolgebeispiele	16
	Viehlose Fruchtfolgen mit steigendem Anteil an Körner- und Futterleguminosen	16
	Fruchtfolgen mit steigender Intensität der Flüssigmistdüngung (Gülle).....	24
	Fruchtfolgen mit steigender Intensität der Festmistdüngung	30
5	Kalkulation einer Veränderung der Bewirtschaftungsintensität	36
6	Fazit	39
7	Literatur	41
8	Anhang	42

1 Einleitung

Die abgestorbene organische Bodensubstanz wird als Humus bezeichnet. Sie dient als Futter für die Bodenlebewesen und ist für die Bodenstruktur, als Nährstoffspeicher und für die Nährstoffdynamik des Bodens von großer Bedeutung. Aufgrund der positiven Wirkungen des Humus auf die Bodenfruchtbarkeit und das Ertragspotenzial des Standortes sollte auf eine gute Versorgung der Ackerflächen mit organischer Substanz Wert gelegt werden.

Hierbei spielen sowohl die Gehalte an Humus als auch die zeitlich verfügbare Menge an organischen Materialien eine entscheidende Rolle. Im ökologischen Landbau ist die Ertragsfähigkeit eines Standortes mehr oder weniger direkt von der umsetzungsfähigen organischen Substanz des Bodens abhängig, dessen Versorgungsgrad mit Hilfe einer Bilanzierung ermittelt werden kann. Die Humusbilanzierung gilt daher als geeignete Methode des betrieblichen Nährstoffmanagements.

In diesem Beitrag steht die praxisorientierte Anwendung der Humusbilanzierung im Mittelpunkt. Für die hauptsächlich angebauten Fruchtarten werden zunächst auf Basis ihrer standortdifferenzierten Ertragspotenziale Anbauverfahren definiert. Humusbilanzen werden dann sowohl für einzelne Fruchtarten als auch für stark unterschiedlich intensive Fruchtfolgen von Marktfrucht- und Futterbaubetrieben eines breiten Standortspektrums berechnet. Die Ergebnisse werden aus Gesichtspunkten der Betriebsoptimierung, aus Aspekten der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes diskutiert. Die gewählte Ergebnisdarstellung ermöglicht die Zusammenstellung und Berechnung weiterer individueller Fruchtfolgebeispiele und kann daher als wertvolles Informationsmaterial für Praxis, Beratung und Schulung angesehen werden.

2 Grundlagen

Einfluss des Standortes

Die Humusgehalte und der Umsatz an organischer Substanz sind im Wesentlichen von den Faktoren Klima, Boden und Bewirtschaftung abhängig (Abb. 1). Zusammenfassend kann folgende Gewichtung angenommen werden:

- | | |
|--|--------------------------------|
| ■ Klima bzw. Witterung | meistens über 50 % |
| ■ Eigenschaften des Bodens | 20 – 30 % |
| ■ Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Düngung, etc.) | 5 – 30 % der Variationsbreite. |

Ein Anstieg der Umsetzung und Abbaurate an Humusstoffen findet mit steigendem Tongehalt des Bodens bis zu den sehr aktiven Lehmstandorten statt (Ausnahmen, schwere Tonböden und Schwarzerden). Hierfür sind mehrere Prozesse verantwortlich, die sich in ihrer Wirkung überlagern. Die Umsetzungsgeschwindigkeit ist zunächst von der Erreichbarkeit durch die beteiligten Bodenlebewesen abhängig. So kann der Bodenhumus in leichter abbaubare Fraktionen und in eine sog. „inerte Fraktion“ eingeteilt werden, die nur in geringem Umfang oder gar nicht am Abbau beteiligt ist.

Der an Bodenpartikel fest gebundene und daher am Umsatz nicht beteiligte Humusanteil nimmt mit steigendem Tongehalt zu. Gleichzeitig ist der am Umsatz beteiligte Anteil an Humus u. a. auch von der Stickstoffverfügbarkeit abhängig, was am C/N-Verhältnis des Bodens abgelesen werden kann. Darüber hinaus wird der Humusumsatz mit ansteigenden Temperaturen stark beschleunigt und durch hohe Wassergehalte des Bodens über entsprechende Niederschläge gewöhnlich verringert. Abbildung 2 zeigt z. B. den komplexen Einfluss zwischen steigenden Feinanteilen (= Ton + Feinschluff) des Bodens und der Höhe der Niederschläge. Durch die aufgeführten Prozesse haben sich mit der Zeit ganz unterschiedlich hohe Humusgehalte auf den verschiedenen Standorten eingestellt.

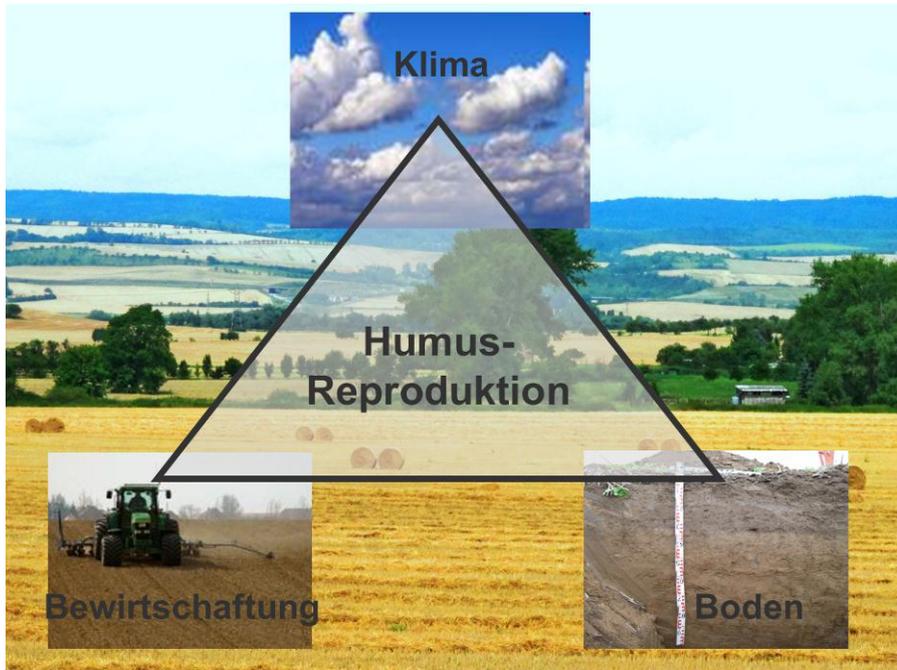


Abb. 1: Die Einflussfaktoren Klima, Boden und Bewirtschaftung sind für den Humusumsatz und die Ertragsfähigkeit der Standorte entscheidend.

Quelle: Duan; Motiv: Thiel, LfULG

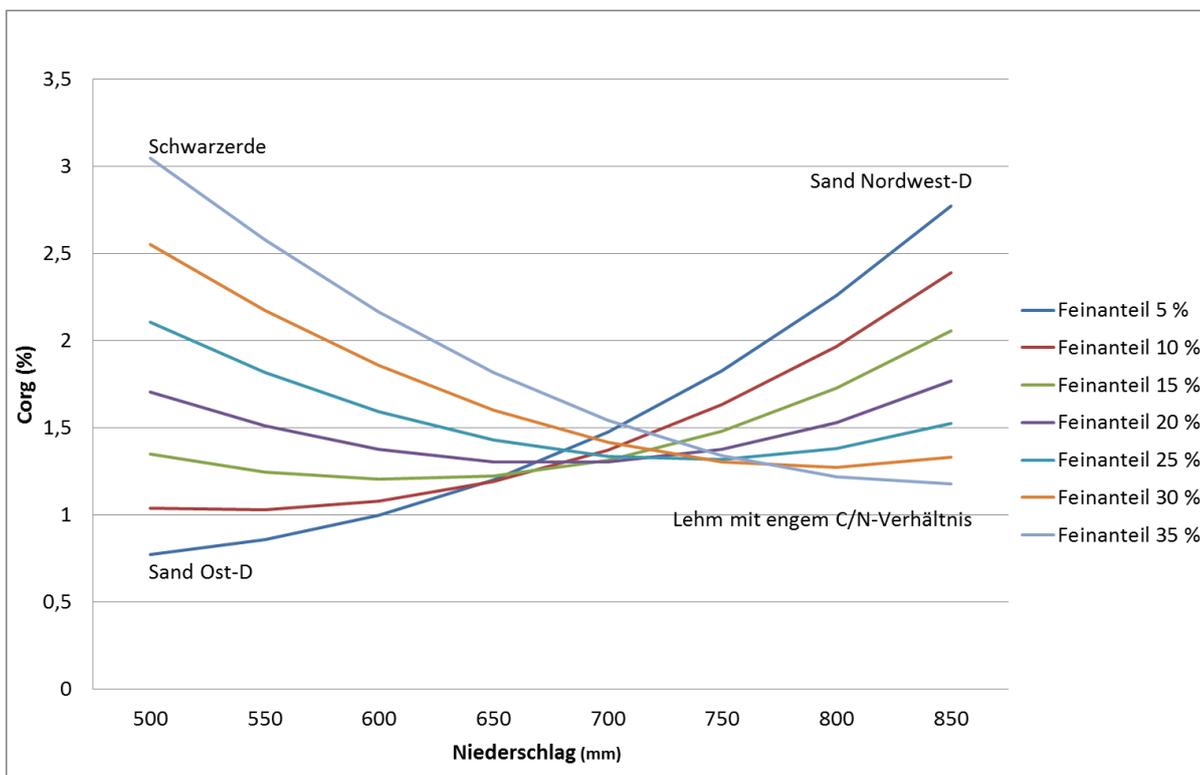


Abb. 2: Einfluss steigender Feinanteile des Bodens und der Niederschläge auf die Humusgehalte verschiedener Standorte (Nordwest-D: Nordwestdeutschland; Ost-D: Ostdeutschland)

Einfluss der Fruchtarten und der Fruchtfolge

Von den Maßnahmen der Bewirtschaftung wird die Humusbilanz zunächst dadurch bestimmt, welche Fruchtarten hauptsächlich zum Anbau gelangen (Abb. 3). Der Einfluss der Fruchtart ist als integrale Summenwirkung zwischen Anbaudauer, Bodenruhe, Mengen- und C/N-Verhältnisse der Ernte- und Wurzelrückstände (EWR) in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Standortes (Boden, Klima) zu verstehen und wird als Humifizierungskoeffizient in Humusäquivalenten (HÄQ) dargestellt (Balkenlänge = Variationsbreite der Standorte).

Beim Anbau von Feldfutter, Körnerleguminosen und Untersaaten entsteht ein positiver Saldo und je größer der Anteil an Getreide und vor allem an Mais und Hackfrüchten in der Fruchtfolge ist, umso negativer wird der Saldo ausfallen. Ein hohes Ertragsniveau führt über ansteigende Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen zu einer Verbesserung der Versorgung. Die Gestaltung der Fruchtfolge hat also eine entscheidende Bedeutung für die Grundversorgung mit organischer Substanz.

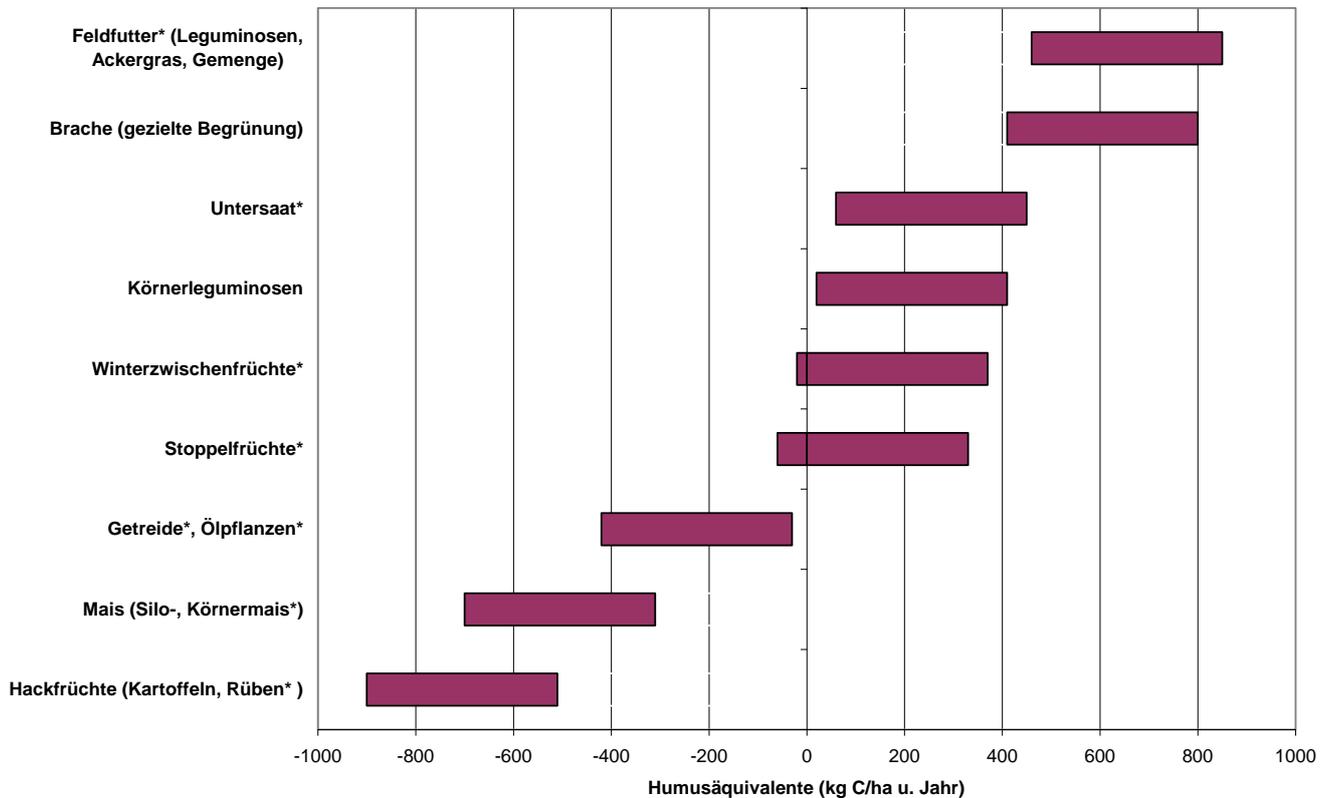


Abb. 3: Humifizierungskoeffizienten der Fruchtarten (* Koppelprodukte bzw. Aufwuchs abgefahren)

Einfluss der organischen Materialien

Die auf den Betrieben verfügbaren oder von außen zugeführten organischen Materialien weisen stark unterschiedliche Humuswirkungen auf, die auch durch Humifizierungskoeffizienten quantifiziert werden können (Abb. 4). Auf Frischmasse bezogen kommt den Komposten und dem Stroh eine relativ hohe Wirkung zu, während die Humifizierung je aufgebracht Gewichteinheit bei den Flüssigdüngern sowie bei der Gründüngung am geringsten ist. Mit den Flüssigdüngern müssen bis zu zehnfach höhere Mengen transportiert werden, um die gleiche Humuswirkung zu erzielen. Die jeweils niedrigsten angegebenen Werte werden bei entsprechend ungünstigen Trockenmasse-Gehalten erlangt sowie auch bei hohen durchschnittlichen Zufuhrmengen an organischer Substanz, weil dann eine geringere Humifizierung angenommen werden kann als bei kleineren Zufuhrmengen. Auch für unsichere Koeffizienten, wie z. B. den pflanzlichen Gärsubstraten, kann auf diesem Weg ein Schwankungsbereich festgelegt werden.

In Bezug auf die ausgebrachte Trockenmasse verbleiben bei stetiger Gründüngung sowie meistens auch bei Strohzufuhr nur geringe Mengen als Humus im Boden zurück. Dagegen weisen wiederum die verschiedenen Kompostarten sowie auch Gärückstände und Stalldung eine hohe Humusanreicherung auf (Abb. 4). Folgende allgemeine Rangfolge der Reproduktionsleistung organischer Materialien kann formuliert werden:

■ Kompost > Stalldung > Gülle > Stroh > Gründüngung.

Bei der Auswahl eines entsprechenden Düngers sollte daher neben betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten auch diese Zusammenhänge beachtet werden, wenn die Einrichtung eines neuen Betriebszweiges ansteht, ein Zukauf erfolgen muss oder lange Wegstrecken zu den Ackerflächen zu bedenken sind.

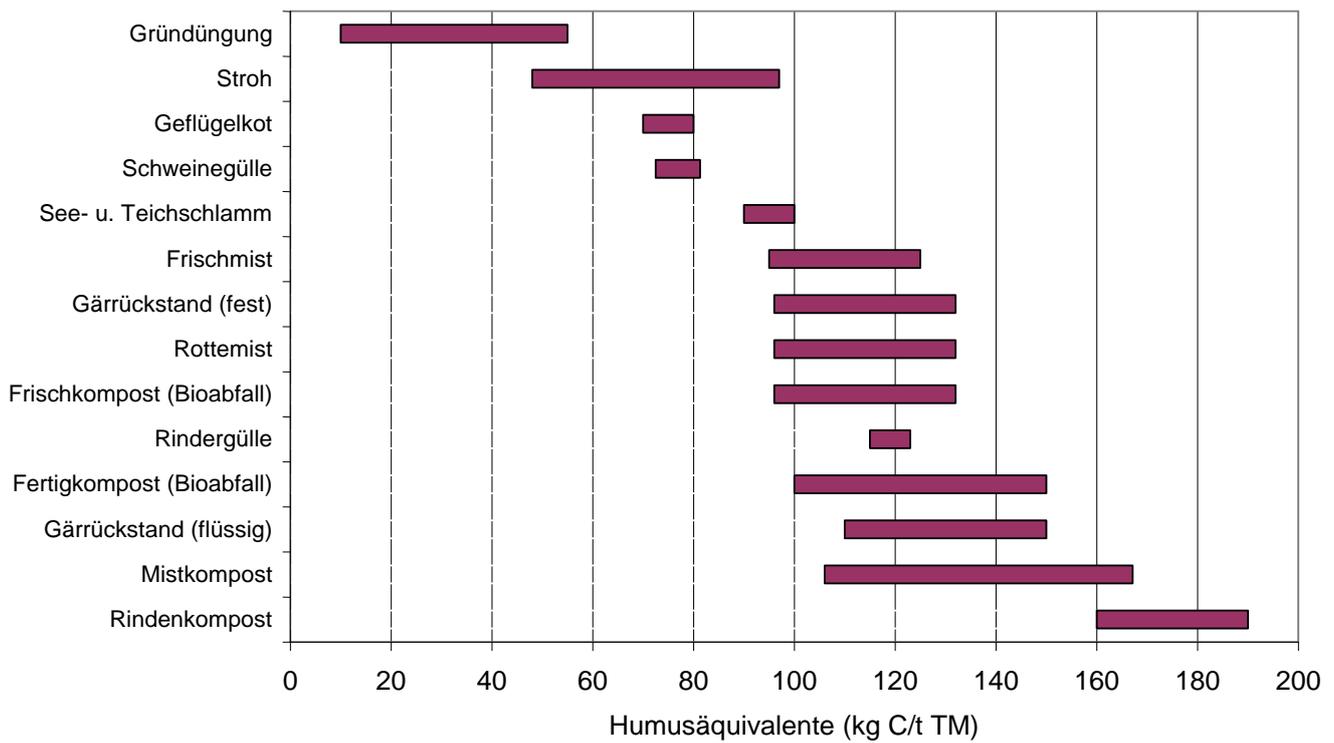
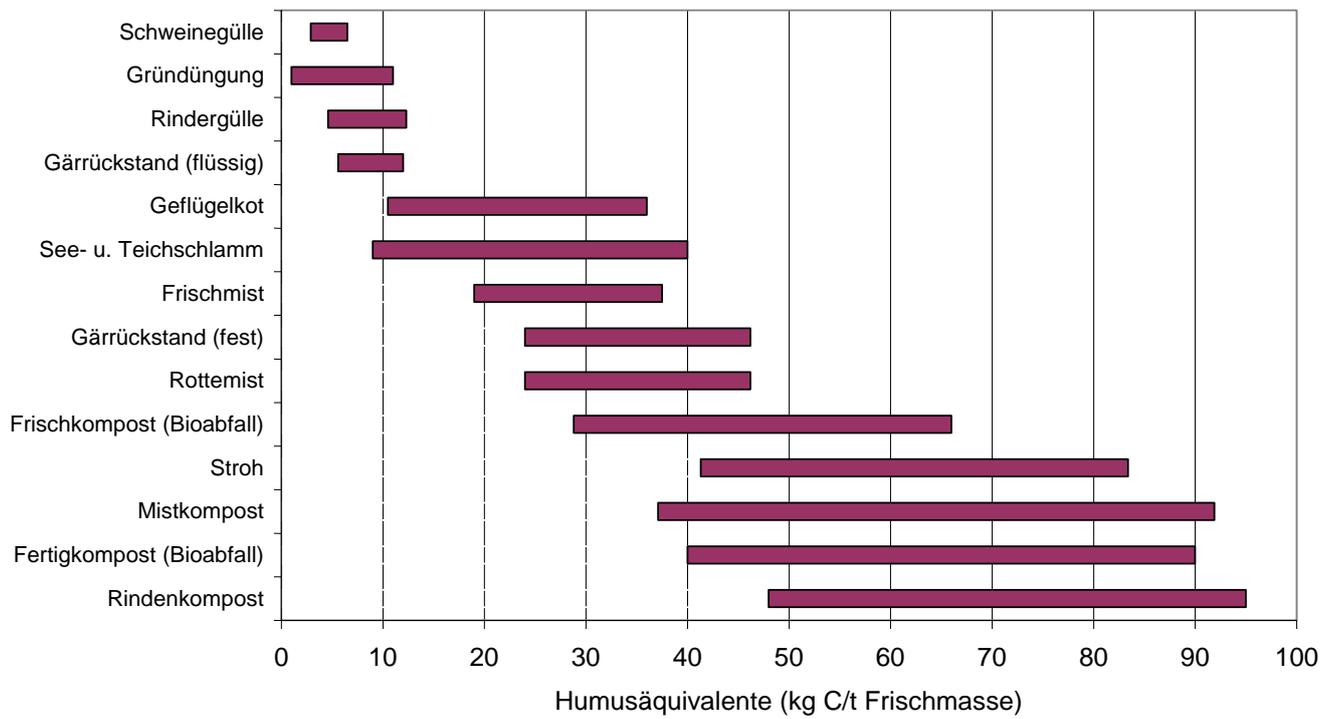


Abb. 4: Humusproduktion der organischen Materialien auf Basis Frischmasse (oben) sowie auf Basis Trockenmasse (unten)

Bodenuntersuchung und Humusbilanzierung

Im Rahmen des Nährstoffmanagements der landwirtschaftlichen Betriebe können sowohl Bodenuntersuchungen als auch Bilanzierungsergebnisse genutzt werden, um die Humusversorgung zu ermitteln. Durch die Bodenuntersuchung auf die Gehalte an $C_{org}^{1)}$ und $N_t^{2)}$ sowie das C/N-Verhältnis werden Informationen über die allgemeine Höhe der Humusgehalte und die -qualität des Standortes vermittelt.

Zur Kennzeichnung des Versorgungsgrades mit organischer Substanz und der zeitlichen Entwicklung der Humusgehalte sind Bodenuntersuchungen jedoch nicht das richtige Mittel, da auch bei jährlichen Analysen auf Grund der hohen Schwankungsbreite und relativ langsamen Veränderungen der Humusgehalte erst nach 10 Jahren ein einigermaßen sicherer Trend abgeleitet werden kann. Zur Aufrechterhaltung wichtiger Bodenfunktionen, wie z. B. der Krümelstabilität, ist zudem die stetige Zufuhr einer genügend hohen Menge an umsetzbarer organischer Substanz erforderlich.

Daher haben Methoden der Humusbilanzierung in letzter Zeit verstärkte Aufmerksamkeit erlangt. Unter Nutzung von Schlagkarteiaufzeichnungen kann aus der aktuellen Bewirtschaftung der Ackerflächen der Versorgungsgrad mit organischer Substanz ermittelt werden, woraus schließlich zu erwartende Veränderungen der Humusgehalte des Bodens direkt abgeleitet werden können (siehe Abb. 5).

Humuszufuhr	—	Humusabbau	=	Humussaldo
Reproduktionsleistung organischer Materialien (Ernte- und Wurzelrückstände, organische Dünger).		Wirkung von Bodenart, Klima und Anbauverfahren.		Veränderung der Humusvorräte des Bodens.

Abb. 5: Das Prinzip der Humusbilanzierung

Erstellung einer Humusbilanz

Entsprechend den Jahrzehnte langen Erfahrungen bei der Anwendung von Verfahren zur Düngungsbemessung werden auch die in dieser Arbeit erstellten Berechnungen zur Humusbilanzierung mit einer standortangepassten Methode durchgeführt. Erläuterungen zur Methodenanwendung, die zu verwendenden Humifizierungskoeffizienten und das VDLUFA-Bewertungssystem für die Bilanzierungsergebnisse können dem Internet entnommen werden: <http://orprints.org/13626/>.

Mit den Ergebnissen zur Humusbilanzierung sind regional differenzierte, zielgerichtete Aussagen zum Versorgungsniveau mit organischer Substanz, zur Fruchtfolgegestaltung und zu weiteren Fragestellungen des Nährstoffmanagements möglich. Die Stufen des A-E-Bewertungssystems für die Bedingungen des Ökolandbaus sind so ausgerichtet, dass bei Einhaltung der anzustrebenden Versorgungsgruppe C im Allgemeinen eine ausgeglichene Humuswirtschaft erreicht wird, durch die sowohl standort- und bewirtschaftungstypische Humusgehalte als auch weitgehend optimale Pflanzenerträge gewährleistet werden können.

Für die Erstellung von Humusbilanzen ist es zunächst erforderlich, aus einer tabellarischen Aufstellung (Tab. 1) die Standortgruppe (STG) auszusuchen, die mit den Standorteigenschaften der Ackerfläche, des Betriebes oder der Region am besten übereinstimmt, für die die Bilanzen erstellt werden sollen. Ist man sich nicht sicher, welche Gruppe zutrifft, so können auch zwei benachbarte Gruppen ausgewählt werden. Durch die Ergebnisse werden dann zwei Werte ausgewiesen, die einen Schwankungsbereich darstellen, zwischen denen die Humusbilanzen anzusiedeln sind. Für die Auswahl der STG sind minimale Kenntnisse über die Bodenarten und Körnung des Bodens sowie für einige Gruppen auch das C/N-Verhältnis und die klimatische Einstufung (Höhenlage, Lufttemperatur, Niederschläge) erforderlich.

¹⁾ Humus = $C_{org} \times 1,724$; ²⁾ N_t = Gesamt-N im Boden

Die weiteren Angaben können in der Regel aus Schlagkarteiaufzeichnungen entnommen werden. Es erfolgt die Auswahl der Fruchtarten (der Fruchtfolge), die Ermittlung des Ertragsniveaus der Fruchtarten sowie der anfallenden Koppelprodukte (Stroh-, Blattmenge) mit Hilfe der Hauptprodukt-/Nebenprodukt-Verhältnisse (z. B. Korn-/Stroh-Verhältnis bei Getreidearten). Danach wird die Art und Menge der verabreichten organischen Dünger festgelegt. Für die Auswahl der Koeffizienten sollten die Werte Verwendung finden, die für die Düngungshöhe der jeweiligen organischen Materialien im Durchschnitt der Fruchtfolge ermittelt werden. Die Menge an anfallenden Gärsubstraten kann unter Angabe der Substraterträge (z. B. Silomais) und der sog. Fugat-faktoren (für Silomais z. B. 0,76) mit Hilfe eines Gärrest-Rechners berechnet werden:
http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Biogasquelle_neu.xls .

An einem einfachen Beispiel des Anbaus von Winterweizen der Standortgruppe 5 (STG 5 ≈ vergleichbar mit den Ergebnissen der unteren Werte der VDLUFA-Methode) soll der Rechengang der Humusbilanzierung erläutert werden:

■ Standortmerkmale:	sandiger Lehm, >8,5 °C	= STG 5
■ Fruchtart:	W.-Weizen ¹⁾ 4,5 t/ha Kornertrag	= -280 kg C/ha
	5,0 t/ha Stroh x 41,3 kg C/ha ¹⁾	= 207 kg C/ha
■ Organ. Düngung:	35 m ³ /ha Schweinegülle x 5,8 kg C/ha ¹⁾	= 203 kg C/ha
■ Summe Humusbilanz:		<u>= 130 kg C/ha</u>
■ Einstufung Versorgungsgruppe:		= C

¹⁾ Humifizierungskoeffizienten d. Fruchtarten u. organischen Materialien siehe: <http://orgprints.org/13626/>

Tab. 1: Charakterisierung der Standortgruppen (STG) zur Humusbilanzierung

STG	Bodenart, Bodentyp	Feinanteil (%) des Bodens ¹⁾	C/N-Verhältnis des Bodens	Durchschnitts-temperatur (°C)	Niederschläge (mm je Jahr)
1	- Sand (u. a. Nord-West-D) - Schwarzerde - Ton - stark m. Humus überversorgte Böden - stark grundwasserbeeinflusste anmoorige und Moor-Böden	≤ 8 ca.17 – 30 ≥ 38 - -	≥ ca. 14 - - - -	- - - - -	- - - - - Bergregion ≥ 700, Flachland ≥ 800
2	- Sand, anlehmiger Sand, lehmiger Sand - lehmiger Ton, Ton	≤ 13 ≥ 28	- -	≤ 8,5 -	- -
3	- Sand, anlehmiger Sand, lehmiger Sand	≤ 13	-	≥ 8,5	-
4	- stark lehmiger Sand, sandiger Lehm	14 – 21	-	≤ 8,5	-
5	- stark lehmiger Sand, sandiger Lehm - Lehm	14 – 21 22 – 27	- ≥ 9	≥ 8,5 -	- -
6	- Lehm (umsetzungsaktiv) - stark m. Humus unterversorgte Böden, Meliorationsböden - grundwasserferne anmoorige und Moor-Böden	22 – 27 - -	≤ 9 - -	- - -	- - -

1) Feinanteil = Ton + Feinschluff

Prinzip des Humusumsatzes

Aus Beobachtungen ist bekannt, dass nach bedeutenden Änderungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen zunächst deutliche und mit den Jahren dann immer geringer werdende Einflüsse auf die Humusgehalte festzustellen sind. Bei Annahme einer jährlich gleichbleibenden Zufuhr an z. B. 10 t/ha Stallung kommt es daher nicht zu einer stetigen linearen Anreicherung an stabilen Humusformen, wie wir es früher angenommen haben. Sondern es erfolgt in Wirklichkeit eine von Jahr zu Jahr geringer werdende Anreicherung an Humus (Abb. 6).

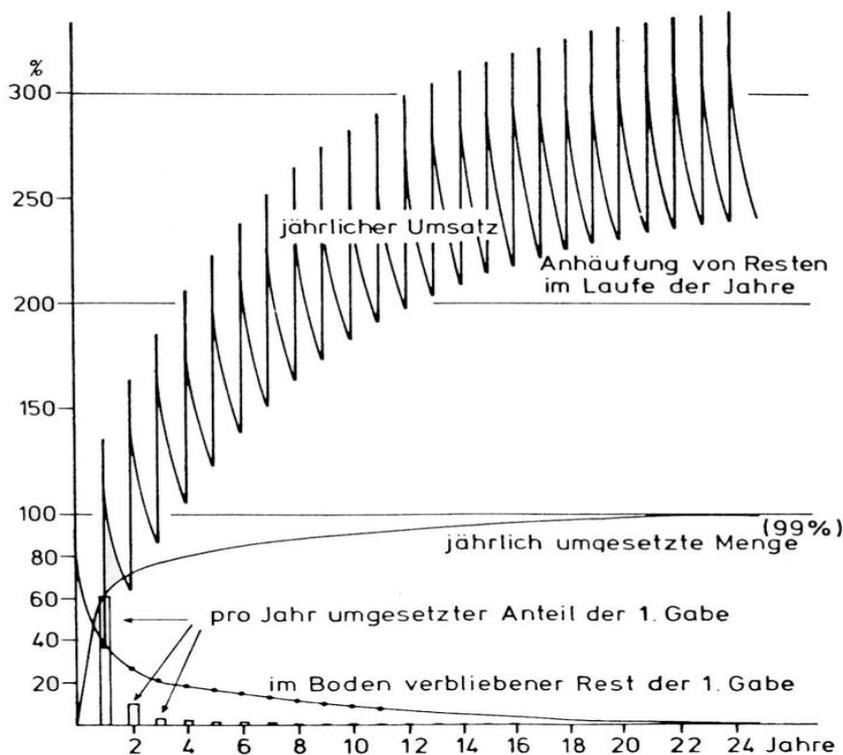
Hierbei verhält sich die abgebaute Menge proportional zum jeweils gesamten Vorrat an Humus im Boden. Bei stetiger Zufuhr einer hohen Menge erfolgt somit auch ein hoher Abbau an Humus (und anders herum). Nach einer Zeitperiode von ungefähr 20 – 30 Jahren steigen die Humusgehalte nicht weiter an. Das zwischenzeitliche Ausmaß der Anreicherung ist abhängig vom Humifizierungskoeffizienten und der aufgebrauchten Menge an Stallung. Danach wird ein Gleichgewicht erreicht, wobei die Zufuhrmenge an Stallung dann genau der Menge an organischer Substanz entspricht, die über die Mineralisation wieder abgebaut worden ist.

Die Ergebnisse der hier angewendeten Humusbilanzmethode sind daher folgender Maßen zu interpretieren. Eine Düngung mit 10 t Stallung führt bei einem Humifizierungskoeffizient von 37,5 kg C/t zu folgendem Humussaldo (Humifizierungskoeffizienten siehe: <http://orgprints.org/13626/>):

$$10 \text{ t} \times 37,5 \text{ kg C/t} = 375 \text{ kg C/ha}$$

Die erhaltenen Ergebnisse der Humusbilanzierung können dann mit einem aus Dauerversuchen abgeleiteten Faktor (0,3 m Ackerkrume, spezifisches Gewicht 1,5) umgerechnet und als C_{org}-Differenz ausgewiesen werden. Unter Beibehaltung der postulierten Bewirtschaftung kann daher eine Erhöhung der C_{org}-Gehalte des Bodens um 0,21 % erwartet werden:

Humussaldo (kg C/ha u. Jahr)	x	Faktor	=	Differenz C _{org} (% TM)
375	x	0,0005672	=	0,21



Quelle: nach Sauerbeck (1985)

Abb. 6: Anhäufung, Abbau und Umsatz nach jährlicher Zufuhr einer gleich hohen Menge an organischer Substanz im Boden (Erklärung siehe Text)

Diese berechnete C_{org} -Differenz zeigt den Humuswert an, der bei stetiger (jährlicher) Beibehaltung dieser Bewirtschaftungsmaßnahme für den Zeitpunkt zu veranschlagen ist, wenn das Gleichgewicht zwischen Zufuhr und Abbau in etwa erreicht wird (in ca. 20 – 30 Jahren). Die gesamte organische Substanz aus zugeführter Düngung, aus den EWR-Mengen der Fruchtarten und dem Humusgehalt des Bodens unterliegt in Abhängigkeit von den oben beschriebenen Einflussfaktoren diesem Umsetzungs- und Abbauprozess. Der aus der Mineralisation frei werdende Kohlenstoff entweicht als Kohlendioxid (CO_2) in die Atmosphäre, die freiwerdenden Nährstoffe (N, P, S, etc.) können für die Ertragsbildung der angebauten Fruchtarten genutzt werden.

Untersuchte Anbaukonzepte und Ergebnisdarstellung

Es werden in dieser Arbeit neun verschiedene Standorte abgebildet, die verrechnungstechnisch zu sechs Standortgruppen (STG) komprimiert werden können (siehe Tab. A1, Anhang). Hierdurch werden die wichtigsten Boden- und Klimabedingungen erfasst, so dass ein Großteil der Standortdifferenzierung in Deutschland abgedeckt werden kann.

Die Ertragsfähigkeit der Fruchtarten nimmt zunächst von links nach rechts gelesen von Standort 1 mit steigenden Feinanteilen (Ton + Feinschluff) des Bodens über die leichten, mittleren bis zu den schweren Böden des Standortes 6 zu. Auf Grund ihrer besonderen Ertragseigenschaften wurden zudem die Schwarzerden sowie die Tonböden und die Böden der Höhenlagen auf der rechten Seite der Tabelle A1 extra ausgewiesen (Standorte 7 – 9). Das durchschnittliche Ertragsniveau, ausgehend von den schluffigen Lehmlandstandorten und den Schwarzerden mit dem höchsten Ertragspotenzial über die Tonböden bis zu den Bergstandorten, nimmt wieder etwas ab.

Die Durchschnittserträge an Haupt- und Nebenprodukten der einzelnen Fruchtarten, sowie die in den meisten Fällen ebenfalls standort- und ertragsabhängige Höhe der organischen Düngung wurden jeweils für die neun Standorte ausgewiesen. Das Ertragsniveau wurde aus statistischen Erhebungen möglichst realitätsgenau ermittelt. Die ausgewiesenen Düngermengen, insbesondere der Flüssig- und der „triebigen“ festen Dünger, wurden in Anlehnung an die Entzüge bzw. die Aufnahme der Gesamtpflanzen am Beispiel des Stickstoffs bemessen. Bei den nachhaltiger wirkenden festen organischen Düngern wurden durchschnittliche ortsübliche Düngerrhöhen angenommen.

Für jede behandelte Fruchtart wurden zunächst Anbaukonzepte erstellt, deren Ertragsniveau und Düngungshöhe entsprechend den abgebildeten Standortbedingungen festgelegt worden sind. Danach wurden Humusbilanzen für die einzelnen Anbaukonzepte der Fruchtarten erstellt. Zusammenfassend sind die neun verschiedenen Standorte nach folgendem Schlüssel aufgeführt worden:

- **Weit verbreitete Standorte:** leichte, mittlere und schwere Böden mit (von links nach rechts) zunehmender Bodenbonität und Ertragsfähigkeit auf Grund steigendem Humusumsatz und Nährstoffmineralisation (Standorte 1 – 6, Tab. A1, Anhang).
- **Sonderstandorte:** Sandböden mit weiten C/N-Verhältnissen (Standort 1), Schwarzerden, schwere Böden aus lehmigem Ton und Ton sowie die (meistens) schwereren Böden der Höhenlagen mit hohen Humusgehalten und geringerer Neigung zum Humusumsatz und -abbau (Standorte 7 – 9, Tab. A1, Anhang).

3 Bilanzierungsergebnisse für einzelne Fruchtarten

Für die wichtigsten Fruchtarten, bzw. Fruchtartengruppen mit jeweils gleich hohen Humifizierungskoeffizienten, wurden zunächst Humusbilanzen entsprechend den Anbaumaßnahmen und den verschiedenen Standortbedingungen erstellt (Tab. A1, Anhang).

Auf Grund der Boden- und Klimateigenschaften sowie des spezifischen Ertragsniveaus der Fruchtarten kommt es zu einer stark unterschiedlichen Entwicklung des Versorgungsniveaus mit organischer Substanz auf den dargestellten Standorten. Die Umsetzung an Humus nimmt im Prinzip von STG 1 nach STG 6 zu. Bei hoher Umsetzungsaktivität (STG 6) erfolgt von einer stetig zugeführten Menge an organischer Substanz die geringste Humusreproduktion (und anders herum in STG 1). Erhöhte Umgebungstemperaturen (STG 3, 5) führen zu einem Anstieg der Umsetzung, was an niedrigeren Humusbilanzen zu erkennen ist. In STG 6 werden in der Regel Lehm Böden mit äußerst engen C/N-Verhältnissen aufgeführt, die auf Grund deutlich überdurchschnittlicher Umsetzung an organischer Substanz durch die jeweils niedrigsten Bilanzergebnisse charakterisiert werden können.

Weil die Umsetzungsaktivität und damit die natürliche Fruchtbarkeit von den leichten Böden (STG 1 – 3) bis zu den tiefgründigen schluffigen Lehm Böden (STG 6) ansteigt, nehmen das potenzielle Ertragsniveau und damit auch die Ernte- und Wurzelrückstände der Fruchtarten zu. Diese Standortunterschiede im Ertragsniveau beruhen daher weitgehend auf unterschiedlich hohen Mineralisationsraten und Mengen an freigesetzten Nährstoffen.

Im gewissen Sinne als „Sonderstandorte“ werden die Sandböden z. B. in Nordwestdeutschland, die Schwarzerden, Tonböden sowie auch bestimmte Böden der Höhenlagen zusammengefasst, die entweder in Folge relativ weicher C/N-Verhältnisse im Boden oder niedriger Durchschnittstemperaturen durch eine geringere Humusumsetzung gekennzeichnet sind.

Auf den Schwarzerden ist auf Grund ihrer spezifischen Standortbedingungen über lange Zeiträume eine Anreicherung an organischer Substanz erfolgt, deren durchschnittliche Umsetzungsaktivität aber verhältnismäßig niedrig ist (STG 1). Daher wird das hohe Ertragsniveau dieser Böden über deren Tiefgründigkeit durch die hohe Menge an umsetzbarem Humus gewährleistet. Die Tonböden und besonders die Bergstandorte weisen zwar meistens auch relativ hohe Humusgehalte auf, doch ist deren Umsetzung oft durch Luftmangel (Tonböden) oder durch die niedrigen Temperaturen (Bergstandorte) begrenzt. Daher werden auf diesen Standorten nicht so hohe Erträge ausgebildet.

Futter- und Körnerleguminosen, Ackergras und -Gemenge

Durch den Anbau von Leguminosen werden dem Boden z. T. erhebliche Mengen an Stickstoff über die legume N-Bindung aus dem Luft-N-Gehalt zugeführt. Außerdem tragen insbesondere die hohen Ernte- und Wurzelrückstände im (mehrjährigen) Futteranbau (Leguminosen und Gräser) und die Bodenruhe zu einer Anhebung der Bodenfruchtbarkeit und zu einem hohen Erosionsschutz bei. Wie aus Tabelle A1 (Anhang, Nr. 1 u. 2) zu ersehen ist, erreichen in diesen Anbaugliedern die Humussalden je nach Anbaukonzept mit +260 kg bis +850 kg C/ha deutlich positive Werte (siehe Abb. 7).

Bei einer (teilweisen) Mulchung und Gründüngung des Aufwuchses können noch etwas höhere Werte erreicht werden (Tab. A1, Nr. 3 u. 4). Besonders durch mehrjährigen Anbau dieser Fruchtarten kommt es daher zu einem teilweise deutlichen Anstieg des Versorgungsgrades mit organischer Substanz, wodurch gewöhnlich auch die Humusgehalte angehoben werden können. Große Mulchmengen sollten aber vermieden werden, da deren Humuswirkung gering ist und erhöhte N-Verluste entstehen können (siehe Abb. 8).

Je nach Standort weisen die Körnerleguminosen ebenfalls positive Fruchtartenkoeffizienten zwischen +20 kg bis +410 kg C/ha auf (Tab. A1, Nr. 6). Es sollte aber erwähnt werden, dass hierunter auch bereits das anfallende Stroh gezählt wird. Die Ergebnisse zeigen insgesamt, dass den Futter- und Körnerleguminosen in Reinsaat oder in Kombination mit anderen Arten eine besondere Bedeutung bei der Stickstoff- und Humusversorgung zukommt, was insbesondere bei der Fruchtfolgegestaltung zu berücksichtigen ist.



Quelle: Steffen, LfULG

Abb. 7: Das Feldfutter mit Luzerne, Klee- und Gräserarten trägt über den ständigen Bewuchs zur Bodenruhe, Förderung des Bodenlebens und zum Erosionsschutz bei und weist mit Ernte- und Wurzelresten von 50 – 75 dt TM/ha von allen Fruchtarten die besten humusmehrenden Eigenschaften auf.

Getreide und Raps

Bei diesen Fruchtarten werden bei Abfuhr der Stroherträge entsprechend den Standortverhältnissen negative Humussalden zwischen -30 kg C bis -420 kg C/ha und Jahr vorgefunden (Tab. A1, Nr. 8 u. 19). Die zugeführten Wurzel- und Stoppelreste von Raps und Getreide reichen somit alleine nicht aus, um den Humusabbau der Standorte auszugleichen (siehe Abb. 9). Durch den Anbau von Zwischenfrüchten als Untersaat oder Stoppelfrucht und eine Zufuhr organischer Flüssigdünger (Gülle) können die Humusbilanzen in unterschiedlichem Ausmaß verbessert werden (z. B. Nr. 9 – 12 u. Nr. 20 in Tab. A1). Noch deutlicher können die Salden durch die Ausbringung fester organischer Düngemittel angehoben werden (Tab. A1, Nr. 13 – 15).

Oft ist der Stroheinsatz für die Humusbilanz von großer Bedeutung, wobei eine erhebliche Ertragsabhängigkeit auf den Standorten zu bedenken ist. Bei Annahme standortüblicher Erträge (von 2,2 t/ha Getreide- bzw. 1,5 t/ha Raps-Korn auf den leichten Böden bis 5,8 t bzw. 3,5 t/ha auf den schweren fruchtbaren Böden), werden keine großen Unterschiede in den Humussalden zwischen den Standorten ermittelt. Bei Belassung des Stroh auf der Fläche werden dann bei beiden Fruchtarten fast durchgehend positive Humussalden ermittelt (Tab. A1, Nr. 16, 21).

Darüber hinaus kommt es zu einer leichten bis mittleren Humusanreicherung auf den Böden, die bereits durch höhere Humusgehalte gekennzeichnet sind (Sandböden mit weitem C/N-Verhältnis, Schwarzerden und Bergstandorte auf STG 1 sowie die Tonböden auf STG 2). Zur Aufrechterhaltung der Humusversorgung sind daher auf diesen Böden geringere Zufuhrhöhen an organischer Substanz nötig als auf den anderen Standorten. Insbesondere auf den meistens schluffigen Lehmen mit sehr engen C/N-Verhältnissen (STG 6) ist es möglich, dass auch das besonders hohe Ertragsniveau mit den entsprechenden Strohzufuhren kaum ausreicht, um das Ausgangsniveau an Humus aufrecht zu erhalten.

Körner- und Silomais

Die Bedeutung der Strohzufuhr wird auch bei den beschriebenen Anbauverfahren von Körnermais sichtbar (Tab. A1). Während beim Anbau von Körnermais mit Strohabfuhr (Nr. 26) bzw. Silomais (Nr. 30) mit -310 kg bis -700 kg C/ha deutlich negative Fruchtartenkoeffizienten vorliegen, führt die Strohbelassung beim Körnermais je nach Ertragsniveau des Standorts zu einer Verringerung dieser negativen Salden um 217 – 435 kg C/ha (Nr. 27). Ausgeglichene bis leicht positive Salden sind hier aber erst nach einer zusätzlichen Einplanung einer Zwischenfrucht (z. B. als Untersaat in Nr. 28 in Tab. A1) oder durch eine Düngung mit verhältnismäßig geringer TM-Zufuhr, z. B. durch Hühnertrockenkot, gegeben (Nr. 29).



Abb. 8: Aufwüchse von Ackerfutter und Zwischenfrüchten können bei Verwertung über den Tiermagen zur Vermehrung organischer Dünger beitragen oder erhöhen nach Gründüngung die Nährstoffbereitstellung für die Nachfrüchte. Wegen ihrer engen C/N-Verhältnisse von 10 – 23 tragen sie jedoch kaum zur Humusvermehrung bei. Häufiges Mulchen reduziert zudem die N-Bindung der Leguminosen und führt zu erhöhten volatilen N-Verlusten.

Quelle: Stephan, BLE, Oekolandbau.de

Ohne weitere Maßnahmen kommt es besonders beim Anbau von Silomais auf allen Standorten zu stark negativen Humussalden (Tab. A1, Nr. 30). Eine zusätzliche ertragsabhängige Ausbringung von Gülle, von Gärrückständen aus der Biogasherstellung oder von Geflügelstallmist können diese negativen Bilanzen alleine nicht ausgleichen (Tab. A1, Nr. 31, 32, 34). Erst in Kombination mit einer Untersaat und Gründüngung (Nr. 33) kommt es auf den meisten Standorten zu ausgeglichenen Werten in der Humusbilanz. Auf den umsetzungsstarken Standorten reichen auch diese Anbaukonzepte noch nicht aus. Mit ansteigenden Erträgen sind ebenfalls höhere Rückführungsmengen an Gärresten verbunden. Das unterschiedlich hohe Ertragsniveau und die entsprechend angepassten Düngungsmengen sind also bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen, denn hierdurch wird auf lange Sicht eine weitgehende Nivellierung der Humussalden zwischen den meisten Standorten bewirkt.

Kartoffeln, Rüben und Feldgemüse

Im Vergleich zum Mais liegen die Humussalden beim Anbau von Zuckerrüben oder Kartoffeln um weitere 200 kg C/ha und Jahr niedriger, so dass Werte zwischen -510 kg bis -900 kg C/ha zu veranschlagen sind (Tab. A1, Nr. 36, 41). Zu dieser Gruppe an Fruchtarten können auch verschiedene Arten des Feldgemüseanbaus gezählt werden, wie Blumenkohl, Gurke oder die Kohlarthen. Die Ursachen hierfür liegen in den vergleichsweise äußerst geringen Ernte- und Wurzelresten, die nach der Ernte der Hackfrüchte auf dem Feld verbleiben. Darüber hinaus werden die häufigen Erdbewegungen zur Saatbettbereitung, Aussaat und beim Pflanzvorgang sowie insbesondere bei den Erntearbeiten durch einen Anstieg der Mineralisation begleitet, womit ein verstärkter Abbau von Humusstoffen verbunden ist.

Durch eine an das jeweilige Ertragsniveau angepasste Güllegabe alleine oder in Kombination mit einer Stoppelfrucht und Gründüngung können diese negativen Salden im Kartoffelanbau zwar reduziert aber nicht ausgeglichen werden (Tab. A1, Nr. 37, 38). Auch beim Zuckerrübenanbau, inkl. Gründüngung mit den je nach Standort unterschiedlich hohen Blatterträgen, erfolgt keine deutliche Entlastung der negativen Humussalden (Tab. A1, Nr. 42, 43). Bereits durch mäßig hohe Gaben von z. B. Stalldung oder Kompost können die Humussalden bei allen Fruchtarten, so auch im Hackfruchtanbau, auf z. T. stark positive Werte angehoben werden, was den Wert der festen organischen Dünger zur Humusreproduktion unterstreicht (Tab. A1, Nr. 39, 40, siehe auch Getreide Nr. 15, Raps Nr. 25, Silomais Nr. 35). Diese positiven Salden können dann für defizitäre Kulturen der Fruchtfolge gutgeschrieben werden.



Abb. 9a Quelle: Kreuter, LfULG



Abb. 9c Quelle: Hänsel, LfULG



Abb. 9b Quelle: Kolbe, LfULG



Abb. 9d Quelle: Hänsel, LfULG

Abb. 9a – d: Mit ca. 16 – 29 dt TM/ha hinterlassen die Getreidearten (Abb. 9a, b) ähnlich hohe Mengen an Ernte- und Wurzelresten wie die Ölpflanzen (Abb. 9c, d). Ohne Stroh weisen sie jedoch je nach Standort negative Humifizierungskoeffizienten auf, weil ihre Anbausequenz nicht ausreicht, den Humusabbau zu kompensieren.

4 Fruchtfolgebeispiele

Die Humusbilanzen wurden zunächst nur für einzelne Fruchtarten berechnet, sie sollten aber im Zusammenhang mit der gesamten Fruchtfolge gesehen werden. Im ökologischen Landbau ist es sehr wichtig, dass die Anbauglieder immer über mindestens eine vollständige Fruchtfolge zusammengestellt und ausgewertet werden. Dies liegt an den stark unterschiedlich ausgeprägten Fruchtartenkoeffizienten, die im Rahmen gewöhnlicher ökologischer Fruchtfolgen auftreten können (von den Hackfrüchten mit -900 kg C/ha bis zu den stark positiven Koeffizienten des Futterbaus mit +950 kg C/ha). Bei unvollständig berücksichtigten Folgen kommt es bei den berechneten Bilanzen zu nicht unerheblichen Abweichungen von den in Wirklichkeit vorzufindenden Werten der Versorgung mit organischer Substanz.

In diesem Sinne können auf Basis der Tabelle A1 (Anhang) einzelne Fruchtfolgen mit ganz verschiedenen Anbaukonzepten zusammengestellt werden, um sie einer eingehenden Auswertung und Diskussion zu unterziehen. Je nach betrieblicher Ausrichtung können aus diesen Daten dann auch Rückschlüsse für die eigene Situation unter den jeweiligen Anbau- und Standortbedingungen erstellt werden. Die Humusbilanzen nachfolgend genannter Anbau- und Betriebskonzepte sollen in diesem Beitrag einer näheren Untersuchung unterzogen werden:

- Viehlose Fruchtfolgen mit steigendem Anteil an Körner- und Futterleguminosen
- Fruchtfolgen mit steigender Intensität der Flüssigmistdüngung (Gülle)
- Fruchtfolgen mit steigender Intensität der Festmistdüngung (Stallmist, Kompost).

Viehlose Fruchtfolgen mit steigendem Anteil an Körner- und Futterleguminosen

Der Anbau von Leguminosen (Kleearten, Luzerne) alleine oder in Kombination vor allem mit den Gräserarten stellt im Ökolandbau ein weit verbreitetes Fruchtfolgeglied dar. Da die Leguminosen zur Luft-N-Bindung befähigt sind, tragen sie zu einer Netto-Zuführung an Stickstoff in den Betriebskreislauf bei. Darüber hinaus sorgen die hohen Ernte- und Wurzelreste insbesondere der Futterpflanzen sowie die durch den oft mehrjährigen Anbau bewirkte Bodenruhe für eine erhebliche Aufbesserung der Humusbilanzen eines Betriebes. Auf der anderen Seite trägt der Ackerfutteranteil in ausgeprägten Marktfruchtbetrieben nicht direkt zum Betriebseinkommen bei. Daher gibt es in den (viehlosen) Betrieben auch immer Bestrebungen, diesen Anteil möglichst klein zu halten. Die Festlegung eines optimalen Anbauumfanges an diesen Fruchtarten ist daher eine wichtige Aufgabe der Fruchtfolgegestaltung.

In den nachfolgend aufgeführten Beispielen sind Fruchtarten mit stark unterschiedlich hohen Anteilen an Bodenfruchtbarkeit fördernden und abbauenden Elementen kombiniert worden (Tab. 2; Standortbeschreibung entsprechend Tab. A1, Anhang). Anbaukonzepte mit einem minimalen Umfang an Leguminosen können den (weitgehend viehlosen) Fruchtfolgen F1 und F2 in Tabelle 2 entnommen werden, in denen 10 – 20 % Körnerleguminosen zusammen mit bis zu 70 % Getreide und 20 % Hackfrüchten ins Feld gestellt worden sind. Unter diesen Anbaukonzepten sind keine befriedigenden Ergebnisse in den Humusbilanzen zu erwarten, denn es werden meistens nur die VDLUFA-Versorgungsgruppen A – B erreicht. Zusätzlich zum ungenügenden Versorgungsgrad mit organischer Substanz dürfte hier die Bodenfruchtbarkeit auch durch ein zu niedriges Zufuhrniveau an Stickstoff begrenzt werden. Je nach Standortbedingungen ist deshalb in diesen Fruchtfolgen mittelfristig mit deutlichen Ertrags- einbußen zu rechnen.

Lediglich auf einigen Sonderstandorten (1, 7 – 9) könnten die Fruchtfolgekombinationen F1 und F2 bereits mit Erfolg zum Anbau kommen, denn es werden zumindest annähernd ausgeglichene bis leicht positive Humusbilanzen der Versorgungsgruppe C erreicht (Tab. 2). Zur Sicherheit sollte mit Hilfe der Nährstoffbilanzierung geklärt werden, ob auch die Zufuhr an Stickstoff aus der N-Bindung der Leguminosen ausreichend hoch ist. Der Ersatz der Körnerleguminosen durch den Anbau von Futterleguminosen im überjährigen bis zweijährigen Anbau (Kleearten oder Luzerne in Kombination mit Gräsern) führt auf diesen Böden zu einer Verbesserung der Versorgungslage mit organischer Substanz (Tab. 2, F3). Besonders bei Abfuhr (und außerbetrieblicher Verwendung) der Aufwüchse sind allerdings die oft negativen Nährstoffsalden zu bedenken, die durch den hohen Nährstoffexport durch die Grünsaufwüchse entstehen können. Insbesondere in Anbaugebieten mit höheren Durchschnittstemperaturen sowie für die umsetzungsaktiven Standorte 3, 5 und 6 sind diese Fruchtfolgekombinationen mit 20 % Klee gras in der Versorgung mit organischer Substanz noch nicht als ausreichend anzusehen.

Erst bei 25 % Körnerleguminosen bzw. Futterleguminosen in Kombination mit 25 % Hackfrüchten und 50 % Getreide kann das untere Ende der Leguminosenanteile in den gewöhnlichen Fruchtfolgen postuliert werden (in Tab. 2 nicht ausgewiesen; siehe Abb. 10). Auf den sehr tätigen mittleren bis schweren Böden wird jedoch hierdurch immer noch eine leicht negative Humusbilanz berechnet, die der Versorgungsgruppe B zugeordnet werden kann. Auf den leichteren Böden kommt es dagegen bei dieser Anbaukombination und einer Unterstellung gleich hoher Erträge bereits zu leicht positiven Wirkungen auf die Humusversorgung.



Abb. 10a Quelle: Schuster, LfULG



Abb. 10b Quelle: Schuster, LfULG

Abb. 10a, b: Mit ihren Pfahlwurzeln kommen die Ackerbohnen (Abb. 10a) durch 25 dt TM/ha auf mittlere, Erbsen (Abb. 10b) dagegen mit 12 dt/ha nur auf recht niedrige Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen. Je nach Standort werden die Körnerleguminosen jedoch mit positiven Humifizierungskoeffizienten bewertet, da deren Strohaufkommen bereits angerechnet worden ist.

Infolge einer weiteren Ausdehnung des Leguminosengliedes (Körner- und Futterleguminosen) auf 30 % (Tab. 2, F4, F5) bzw. 40 % (F7) der Fruchtfolge werden dann im viehlosen Ackerbau für die meisten Standorte Humussalden ermittelt, die z. T. bereits deutlich im positiven Bereich liegen und durchweg der Versorgungsstufe C zugeordnet werden können. Lediglich auf dem schluffigen Lehm (Standort 6), der durch eine hohe Mineralisationsrate gekennzeichnet ist, reicht die Zufuhr an organischer Substanz immer noch nicht aus, um zumindest einen ausgeglichenen Saldo zu gewährleisten. Unter der Beibehaltung des Anbauumfanges an Hackfrüchten (Kartoffeln) von 20 % trägt erst die Belassung des gesamten Strohaufkommens aus der Getreideproduktion dazu bei, dass weitgehend positive Bilanzen erreicht werden. Hierdurch kann auch auf diesen empfindlichen Standorten eine nachhaltige viehlose Bewirtschaftung ermöglicht werden (nicht in Tab. 2 ausgewiesen).

Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Anbau von Zwischenfrüchten sowie Maßnahmen zur Gründüngung zu intensivieren (siehe Abb. 11). In der Fruchtfolge F6 der Tabelle 2 wurde dies auf der Basis von 30 % Klee-grasanbau unternommen, indem die Ackerfütteretablierung durch eine Blanksaat z. B. nach Getreide-GPS sowie eine Aussaat von Zwischenfrüchten nach Kartoffeln realisiert worden ist. Diese Maßnahmen führen dazu, dass im Allgemeinen die humusmehrenden Komponenten angehoben werden. Doch das trifft nicht für alle Standorte zu, denn es kommt zu einer weiteren Differenzierung der Humuswirkungen zwischen den Standorten (Tab. 2, Vergleich zwischen F5 und F6). Auf den Böden der Standorte 5 und 6 ist entweder nur eine geringe Verbesserung eingetreten oder der Versorgungsgrad mit organischer Substanz hat sich sogar durch diese Maßnahmen etwas verschlechtert.

Die Zufuhr von leicht abbaubarer organischer Substanz in Form der Gründüngung kann besonders bei höheren Durchschnittstemperaturen sowie auf den tätigen Böden zu einer deutlichen Umsatzstimulierung führen. Wahrscheinlich über sog. „Priming-Effekte“ können hierdurch sogar weitere Humusvorräte des Bodens angegriffen werden. Ein wiederholter Anbau einer größeren Menge an zur Gründüngung bestimmter Pflanzenmaterialien ist daher auf diesen Böden nicht immer sinnvoll bzw. nicht immer von großem Nutzen (Schonung der Humusreserven, Wasserschutz).

Dagegen kann eine verstärkte Gründüngung auf Böden mit weiteren C/N-Verhältnissen und geringerer Umsetzungsaktivität (Standorte 1, 2, 4) zu einer Verbesserung der Humusversorgung beitragen. Bei diesen Fruchtfolgen, in die Elemente des Zwischenfruchtbaus integriert worden sind, ist allerdings zu bedenken, dass der Anbau nicht immer gelingt. So ist in den meisten Fällen auf den Schwarzerden wegen Wassermangels kein Anbau von Zwischenfrüchten möglich. In den Bergregionen kann die kurze Vegetationsperiode durch zu niedrige Temperaturen ebenfalls die Anbauwürdigkeit begrenzen, so dass dann auf diesen Standorten die eigentlich sehr positiven Wirkungen des Zwischenfruchtanbaus auf den Humuserhalt und die Bodenfruchtbarkeit nicht umgesetzt werden können.

Tab. 2: Humusbilanzen (kg C/ha; Versorgungsgruppe¹⁾) in viehlosen Fruchtfolgen mit steigenden Anteilen an Körner- und Futterleguminosen

Fruchtfolge Nummer (s. Tab. A1)	Boden:	Standort / STG ²⁾ :	Leichte Böden			Mittlere bis schwere Böden			Schwarzerden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.
			1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1
Anbauverfahren											
F1	6	10 % Körnerleg.									
	16	35 % Getr. + Stroh									
	8	35 % Getr. – Stroh	-25	-104	-189	-127	-213	-327	70	-56	23
	36	20 % Hackfrüchte	C	B	B	B	A	A	C	C	C
F2	6	20 % Körnerleg.									
	16	30 % Getr. + Stroh									
	8	30 % Getr. – Stroh	11	-71	-159	-98	-186	-304	93	-30	52
	36	20 % Hackfrüchte	C	C	B	B	B	A	C	C	C
F3	2	20 % Klee gras, Abf.									
	16	30 % Getr. + Stroh									
	8	30 % Getr. – Stroh	59	-23	-111	-50	-138	-256	141	18	100
	36	20 % Hackfrüchte	C	C	B	C	B	A	C	C	C
F4	2	20 % Klee gras, Abf.									
	6	10 % Körnerleg.									
	16	20 % Getr. + Stroh									
	8	30 % Getr. – Stroh	90	12	-70	-18	-100	-211	144	39	117
36	20 % Hackfrüchte	C	C	C	C	B	A	C	C	C	
F5	2	30 % Klee gras, Abf.									
	16	25 % Getr. + Stroh									
	8	25 % Getr. – Stroh	119	34	-56	3	-87	-209	187	68	153
	36	20 % Hackfrüchte	C	C	C	C	B	A	C	C	C
F6	2	30 % Klee gras, Abf.									
	16	25 % Getr. + Stroh									
	9	25 % Getr. – Stroh									
	38	+So.-Blanksaat 20 % Hackfrüchte +Stoppelfr. +GD (ohne R.-Gülle)	283	154	19	100	-35	-220	351	188	317
		C	C	C	C	C	A	C	C	C	
F7	1/2	40 % Klee gras, Abf.									
	16	20 % Getr. + Stroh									
	8	20 % Getr. – Stroh	219	131	39	96	4	-121	273	158	246
	36	20 % Hackfrüchte	C	C	C	C	C	B	C	C	C
F8	1	50 % Klee gras, Abf.									
	16	15 % Getr. + Stroh									
	8	15 % Getr. – Stroh	338	248	154	209	115	-14	379	268	359
	36	20 % Hackfrüchte	C	C	C	C	C	C	C	C	C
F9	1	60 % Klee gras, Abf.									
	16	10 % Getr. + Stroh									
	8	10 % Getr. – Stroh	418	324	229	282	186	53	446	338	432
	36	20 % Hackfrüchte	D	C	C	C	C	C	D	C	D
F 10	1	60 % Klee gras, Abf.									
	16	30 % Getr. + Stroh									
	36	10 % Hackfrüchte	499	417	330	390	302	184	581	458	540
		D	D	C	C	C	C	D	D	D	
F 11	1	60 % Klee gras, Abf.									
	6	10 % Körnerleg.									
	16	30 % Getr. + Stroh	591	509	422	482	394	276	673	550	632
		D	D	D	D	C	C	E	D	E	

¹⁾ VDLUFA-Bewertungssystem: A = sehr niedrig, B = niedrig, C = optimal, D = hoch, E = sehr hoch; ²⁾ STG = Standortgruppe (siehe Tab. 1)



Abb. 11a Quelle: Kolbe, LfULG



Abb. 11b Quelle: Hänsel, LfULG

Abb. 11a, b: Anbauverfahren mit Getreide-GPS und Zwischenfrüchten (Abb. 11a: 15 – 25 dt TM/ha an Ernte- und Wurzelrückständen) sowie Untersaaten (Abb. 11b: 15 – 35 dt TM/ha) tragen deutlich zur Humusmehrung bei, da sie neben der jeweiligen Hauptfrucht sozusagen als „Zweitfrüchte“ angerechnet werden können.

Das obere Ende einer sinnvollen Integration von Leguminosen und Gemengen mit Gräsern in der Fruchtfolge wird aus den nachfolgenden Beispielen sichtbar. Bei Kombinationen aus 50 % Futterleguminosen, 25 % Hackfrüchten und 25 % Getreide inkl. einem geringen Zwischenfruchtanteil werden auf allen Standorten bereits deutlich positive Humussalden vorgefunden, die z.T. der Versorgungsgruppe D zuzuordnen sind (in Tab. 2 nicht aufgeführt). Ohne Zwischenfrüchte und Gründüngung werden diese hohen Versorgungsgrade erst bei einem Klee grasanteil von 60 % in der Fruchtfolge erreicht (Tab. 2, F9, F10). Als Folge dieser Anbaukombinationen wird auf Dauer über eine unterschiedlich ausgeprägte Zunahme der Humusgehalte insbesondere auf den leichten Standorten auch eine allgemeine Zunahme der Ertragsfähigkeit der Fruchtarten zu verzeichnen sein. Es ist allerdings zu bedenken, dass in vielen Fällen so hohe Anteile an humusmehrenden Leguminosen, aus ökonomischen und phytosanitären Grenzen durch Überschreiten der notwendigen Anbaupausen etc., nicht mehr realisiert werden sollten.

In den nachfolgenden Abbildungen 12 und 13 wurden die berechneten Mittelwerte der Ergebnisse zu dieser Fruchtfolgeserie mit absoluten und relativen Zahlenwerten graphisch dargestellt. Hierbei werden als Humuszehrer die Fruchtarten mit negativen Humifizierungskoeffizienten und die Humusmehrer mit positiven Koeffizienten, sowie (soweit vorhanden) die zugeführten Substrate als Stroh, organische Düngemittel und als Gründünger aufgeführt. Günstige Kombinationen sind durch ein relativ ausgeglichenes Verhältnis zwischen den Humuszehrern auf der einen Seite und den humusmehrenden Komponenten auf der anderen Seite gekennzeichnet. Immer dann, wenn der Anteil an Humuszehrern ungefähr 60 % übersteigt, wird ein deutlich ungünstiges Versorgungsniveau der Gruppen B – A erhalten. Auf der anderen Seite wird ein hohes Niveau der Versorgungsgruppe D erreicht und überschritten, wenn die Humuszehrer ungefähr 20 % des Gesamt-Versorgungsbereichs unterschreiten (Abb. 12).

Die Humusmehrer spielen hierbei im Ökolandbau eine besondere Rolle, da sie in Form der Leguminosen durch die Fähigkeit zur Luft-N-Bindung für eine Zufuhr an Stickstoff sorgen. Daher ist es wichtig, einen möglichst hohen Anteil an Humusmehrern auch mit Leguminosenarten zu besetzen. Ein Ackergrasanbau alleine ist daher nicht als sinnvoll anzusehen. Wie aus der relativen Zuordnung weiterhin erkannt werden kann, ist die untere Grenze an Humusmehrern ungefähr bei einem Anteil von 20 % anzusiedeln. Bei diesem Anteil werden in der Regel Versorgungsgrade an organischer Substanz sichergestellt, die bereits zur optimalen Versorgungsgruppe C gezählt werden können. Auf der anderen Seite erscheint es nach diesen Durchschnittsergebnissen auch nicht sehr sinnvoll zu sein, im Ackerbau die Humusmehrer auf über 60 % der Fruchtfolge ansteigen zu lassen. Bei diesen hohen Anteilen werden dann in der Regel 50 % Leguminosen-Gras in der Fruchtfolge erreicht oder gar überschritten.

Wie die Ergebnisse allerdings auch gezeigt haben, sind optimale Anteile von Humusmehrern, inkl. des erforderlichen Leguminosenanteils, stark abhängig von den Standortbedingungen. So können auf Sandböden mit weiten C/N-Verhältnissen, auf vielen leichteren Böden der Standorte 1 – 2 sowie auf den Sonderstandorten 7 – 9 mit Schwarzerde, Tonböden und den Bergstandorten Körnerleguminosen- oder Leguminosengras-Anteile von 20 % als ausreichend betrachtet werden. Auf den meistens vertretenen Standorten mit leichten bis schweren Böden der Standorte 2 – 5 sind demgegenüber in der Regel 30 % Leguminosengras mit Integration eines gewissen Anteils an Zwischenfrüchten als optimal zu bezeichnen (Abb. 13).

Böden in günstigen Klimatalagen mit sandigen und schluffigen Lehmen der Standorte 5 und besonders auf dem Standort 6 bedürfen einer noch höheren Zufuhr an organischer Substanz. Diese Böden sind durch eine hohe Umsetzungs- und Mineralisierungsaktivität gekennzeichnet. Sie zählen, neben den Schwarzerden, zu den fruchtbarsten Böden Mitteleuropas, auf denen auch im Ökolandbau ein sehr hohes Ertragsniveau erreicht wird und der Abstand zum konventionellen Niveau bei den meisten Fruchtarten verhältnismäßig gering ist. Auf diesen Standorten muss darauf geachtet werden, dass der Anteil an Humusmehrern nicht zu knapp bemessen wird, damit das hohe Ertragspotenzial ausgeschöpft und auf Dauer auch gesichert werden kann.

Nach den hier erlangten Ergebnissen sollten daher auf diesen sensiblen Standorten die Futter- und Körnerleguminosen-Anteile in den Fruchtfolgen zusammen möglichst zwischen 40 % und 50 % betragen. Eine ausgedehnte Nutzung von leicht umsetzbarer organischer Substanz in Form des Zwischenfruchtanbaus und der Gründüngung erscheint dagegen aus den oben dargelegten Gründen nicht immer sinnvoll zu sein, um die Humusreserven dieser tätigen Böden zu sichern. Besser geeignet ist der Einsatz von organischen Düngemitteln, die durch eine höhere Humuswirkung gekennzeichnet sind (siehe nächste Kapitel).

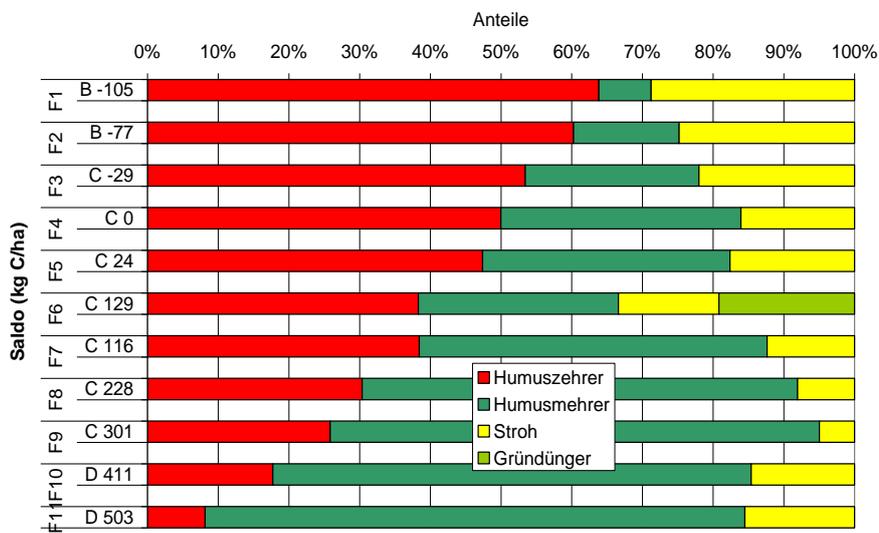
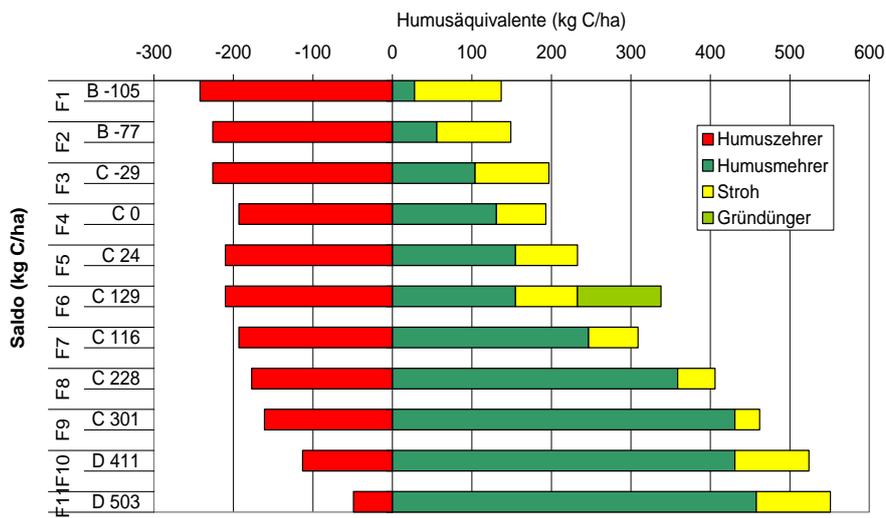


Abb. 12: Humusmehrende und -zehrende Komponenten der Fruchtfolgen mit steigendem Leguminosen- und Leguminosengras-Anteilen in absoluten (oben) und relativen (unten) Werten im Durchschnitt der dargestellten Standorte (Fruchtfolgen F1 – F11: siehe Tab. 2; B – D: Humusversorgungsstufen)

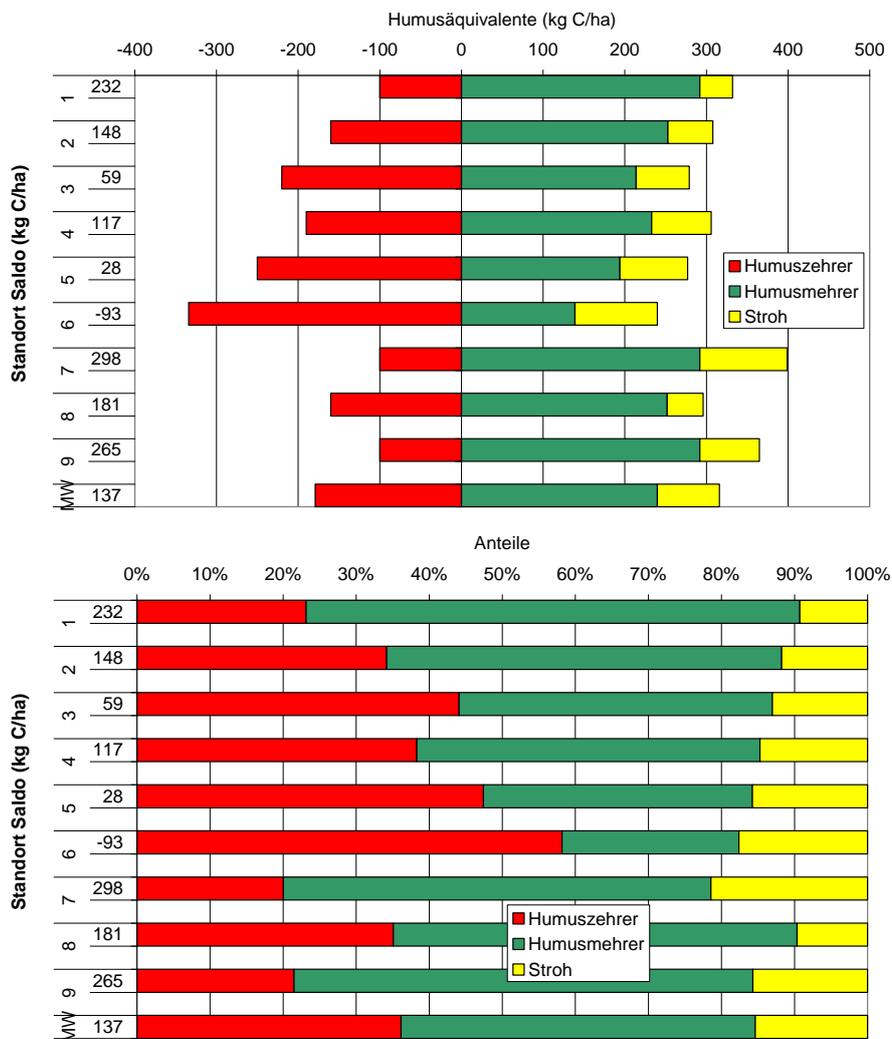


Abb. 13: Humusmehrende und -zehrende Komponenten der ausgewiesenen Standorte in absoluten (oben) und relativen (unten) Werten im Durchschnitt der Fruchtfolgen mit steigendem Leguminosen- und Leguminosengras-Anteilen (Standorte 1 – 9: siehe Tab. 2; MW = Mittelwert)

Von den humusmehrenden Komponenten liegt im Durchschnitt der Fruchtfolgen der Anteil an Humusmehrern bei 76 % und der von Stroh bei 24 % (Tab. 3). Die Aufteilung ist stark abhängig vom Standort. Mit steigender Bodenbonität und Umsetzungsaktivität nimmt die Bedeutung der humusmehrenden Fruchtarten (Leguminosengras) ab, während der von Stroh deutlich ansteigt. Entsprechend dem Ertragsniveau trägt z. B. die Strohzufuhr auf den tätigen Böden der Standorte 5 und 6 zu einer durchschnittlich dreifach höheren Wirkung auf die Humusversorgung bei als auf dem Standort 1. Auf den leichten Böden der Standorte 1 und 2 hat demgegenüber der Anbau von Humusmehrern eine größere Bedeutung zur Humusversorgung als die Zufuhr des anfallenden Strohs. Auf den Sonderstandorten 7 – 9 werden für die Humusmehrern und das Stroh jeweils mittlere Werte berechnet. Der Anbau humusmehrender Fruchtarten und die Strohverbringung sind daher als gleichwertige Komponenten zu betrachten.

Wie die Ergebnisse zeigen, können mit dem Hilfsmittel der Humusbilanzierung sowohl untere als auch obere Grenzen an Fruchtfolgeanteilen für das Leguminosenglied berechnet werden. Besonders bei der Umstellung auf Ökolandbau sowie bei der Planung von deutlichen Veränderungen in der Fruchtfolgezusammensetzung kommt diesen Analysen, insbesondere in weitgehend viehlosen Marktfruchtssystemen, eine große Bedeutung zu.

Tab. 3: Aufteilung der humusmehrenden Komponenten (%) der untersuchten Standorte im Durchschnitt der Leguminosengras-Fruchtfolgen (Standorte 1 – 9: siehe Tab. 2)

Standort (Nr.)	Humusmehrende Fruchtarten	Stroh	Summe
1	88	12	100
2	82	18	100
3	77	23	100
4	76	24	100
5	70	30	100
6	58	42	100
7	73	27	100
8	85	15	100
9	80	20	100
Mittelwerte	76	24	100

Fruchtfolgen mit steigender Intensität der Flüssigmistdüngung (Gülle)

Bei den nachfolgenden Fruchtfolgebeispielen handelt es sich um Betriebssysteme mit unterschiedlich hoher Rindviehhaltung auf Flüssigmistbasis. Es sind Futterbaubetriebe, die aber auch noch einen gewissen Anteil an Marktfrüchten z. B. in Form von Getreide oder Hackfrüchten (Zuckerrüben, Kartoffeln) beibehalten wollen (Tab. 4). Auf manchen Standorten können einige der aufgeführten Fruchtarten eventuell nicht unmittelbar als sinnvoll erachtet werden. So stellt der Anbau von Zuckerrüben auf den sehr leichten Böden der Standorte 1 – 3 kein empfehlenswertes Anbauglied dar. Für die hier zur Diskussion stehenden Kalkulationen ist das aber meistens von untergeordneter Bedeutung. An Stelle der Zuckerrübe können für diese Standorte ohne weiteres besser geeignete Früchte eingesetzt werden, die gleich hohe Humifizierungskoeffizienten aufweisen, wie z. B. Kartoffeln oder einige zutreffende Gemüsearten.

In dem ersten stark defizitären Fruchtfolgebeispiel F1 der Tabelle 4 kann ein gewisser Grad an Rinderhaltung bereits vorhanden sein. Die erlangten Düngemittel werden aber nicht im Betrieb verwendet. Mit einem Anbaukonzept aus insgesamt 20 % Leguminosen, 40 % Getreide, 20 % Silomais und 20 % Zuckerrüben, wobei alle Koppelprodukte abgefahren werden, kommt es auf allen Standorten zu deutlich negativen Humusbilanzen, deren Versorgungsgruppen im Wesentlichen zwischen A und B anzusiedeln sind. Die Bodenfruchtbarkeit inkl. der Bodenstruktur und die Ertragsfähigkeit der Früchte werden sich bei diesen stark auf Export orientierten Anbaukonzepten auf Dauer deutlich verschlechtern. Die Situation wird sich etwas verbessern, wenn die Hälfte des Strohaufkommens auf den Flächen verbleibt und Rindergülle aus 0,3 GV/ha zum Mais verabreicht werden kann (Tab. 4, F2). Lediglich auf den Böden der STG 1 (Sandböden mit weiten C/N-Verhältnissen sowie den Schwarzerden) reichen die organischen Düngemittel aus der geringen Tierhaltung bereits aus, um den Bedarf an organischer Substanz weitgehend abdecken zu können (Versorgungsgruppe C).

In Betrieben mit einer steigenden Tierhaltung bis auf ca. 1 GV/ha und den dann vorhandenen Güllemengen wird sich auch die Fruchtfolge entsprechend anpassen. So wurde in den Folgen F3 und F4 der Tabelle 4 der Anbau von Körnerleguminosen zugunsten von 20 % Leguminosengras aufgegeben und der Zwischenfurchtanbau eingeführt. Ein größerer Anteil des anfallenden Stroh wird zudem auf der Fläche belassen, da auf Grund der Güllewirtschaft oft keine Verwendung mehr besteht (siehe Abb. 14). Unter diesen Bedingungen werden jetzt auf den meisten Standorten ausgeglichene bis z. T. deutlich positive Humussalden erreicht, die durchweg der Versorgungsstufe C zuzuordnen sind. Während auf den leichteren Standorten 1 – 4 sowie auf den Tonböden bereits ein Dunganfall aus 0,6 GV/ha als ausreichend bzw. optimal anzusehen ist, kann die Tierhaltung auf den besseren Böden der Standorte 5 und 6 auf über 1,3 GV/ha ausgedehnt werden, um mit hoher Wahrscheinlichkeit noch eine optimale Humusversorgung zu gewährleisten (Tab. 4, F5 – F6).

Nach diesen Analysen wäre auch eine Tierhaltung mit 1,7 GV/ha Gülleanfall auf den meisten Standorten noch zu bewältigen, ohne dass die Humusversorgungsstufe C überschritten wird. Nur auf den ganz leichten Standorten sowie auf den Sonderstandorten der STG 1 und STG 2 würden unter diesen Anbaukonstellationen mit einem verhältnismäßig geringen Umfang von 20 % Klee gras inkl. Zwischenfurchtanbau, 30 % Silomais, einem hohen Anteil an Getreide-GPS und einem geringen Kartoffelanbau von 10 % die Versorgungsstufe D erreicht bzw. bereits überschritten. Es ist zu beachten, dass es ohne nennenswerten Zukauf zu Futterknappheit kommen kann, wodurch die Tierhaltung und der Anfall an organischen Düngemitteln auf ungünstigen Standorten (insbesondere den leichten Böden) zunehmend begrenzt werden.

Aus der absoluten und relativen Zuordnung der humuszehrenden und -mehrenden Komponenten wird beim Vergleich dieser Anbauserie deutlich, dass im Durchschnitt der Standorte auf Grund des Hackfrucht- und Silomaisanbaus ein verhältnismäßig hoher Fruchtfolgeanteil aus Humuszehrern besteht (Abb. 15 – 17). Dagegen ist der Humusmehreranteil durch Leguminosen gras verhältnismäßig gering, wobei der steigende Gründüngereinsatz einzubeziehen ist, der auch aus dem Anbau von legumen Zwischenfrüchten stammen kann. Mit Zunahme der Tierhaltung erlangt dann der ansteigende Anteil an organischen Düngemitteln in Relation zu den anderen Komponenten an Bedeutung. Im Durchschnitt der Standorte kann wiederum abgeleitet werden, dass ein optimaler Anbaubereich für den Humuszehreranteil zwischen 60 % und ungefähr 30 – 40 % anzusiedeln ist. Außerdem sollte der Anteil an Humusmehrern aus Haupt- und Zwischenfrüchten dann einen Umfang von mindestens 20 % annehmen (Abb. 15).



Abb. 14: Auch in Ökobetrieben kann das Strohaufkommen aus dem Anbau von Getreidearten (C/N-Verhältnisse 80 – 100), Körnermais (C/N um 55), Ölfrüchten (C/N 30 – 80) und Körnerleguminosen (C/N 25 – 45) als humusmehrende Komponente von großer Bedeutung sein.

Quelle: Kolbe, LfULG

Tab. 4: Humusbilanzen (kg C/ha; Versorgungsgruppe¹⁾) aus Fruchtfolgen mit Güllewirtschaft aus steigender Tierhaltung

Fruchtfolge Nummer (s.Tab.A1)	Boden:	Leichte Böden			Mittlere bis schwere Böden			Schwarz-erden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.	
		Standort / STG ²⁾ :	1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1
Anbauverfahren											
F1 0,0 GV /ha	2 6 8 30 41	10 % Klee gras-Abf. 10 % Körnerlegum. + Stroh 40 % Getr. – Stroh 20 % S.-Mais 20 % Z.-Rübe – Blatt	-70 C	-170 B	-270 A	-220 A	-320 A	-460 A	-70 C	-170 B	-70 C
F2 0,3 GV /ha	2 6 8 16 31 41	10 % Klee gras-Abf. 10 % Körnerlegum. + Stroh 20 % Getr. – Stroh 20 % Getr. + Stroh 20 % S.-Mais + R.-Gülle 20 % Z.-Rübe – Blatt	3 C	-77 B	-168 B	-103 B	-195 B	-312 A	82 C	-41 C	38 C
F3 0,6 GV /ha	4 2 8 18 31 43	10 % Klee gras + Mulchen 10 % Klee gras-Abf. 20 % Getr. – Stroh 20 % Getreide + Stroh + R.-Gülle 20 % S.-Mais + R.- Gülle 20 % Z.-Rübe + Blatt	85 C	21 C	-68 C	19 C	-68 C	-167 B	227 C	86 C	157 C
F4 1,0 GV /ha	1 10 18 31 37 43	20 % Klee gras-Abf. 10 % Getreide – Stroh + U.-Saat +GD 30 % Getreide + Stroh + R.-Gülle 20 % S.-Mais + R.- Gülle 10 % Kartoffeln + R.-Gülle 10 % Z.-Rübe + Blatt	197 C	133 C	36 C	142 C	46 C	-57 C	378 C	217 C	296 C
F5 1,3 GV /ha	1 9 18 18 (11) 31 37	20 % Klee gras-Abf. 10 % Getreide-GPS + R.-Gülle aus Nr. 18 + So.-Blanksaat +1/2 R.-Gülle a. Nr. 18 20 % Getreide + Stroh + R.-Gülle 10 % Getr. + Stroh + R.-Gülle +Stopp.fr. + GD aus Nr. 11 20 % S.-Mais + R.- Gülle 20 % Kartoffeln + R.-Gülle	248 C	181 C	74 C	198 C	91 C	-20 C	455 D	277 C	370 C
F6 1,7 GV /ha	1 9 (18) 18 (11) 18 31 31 (33) 37	20 % Klee gras + R.- Gülle aus Nr. 18 10 % Getreide-GPS + R.-Gülle aus Nr. 18 + So.-Blanksaat +R.-Gülle aus Nr. 18 20 % Getr. + Stroh + R.-Gülle + Stopp.fr. + GD aus Nr. 11 10 % Getreide + Stroh + R.-Gülle 20 % S.-Mais + R.-G. 10 % S.-Mais + R.- Gülle + U.-Saat + GD aus Nr. 33 10 % Kartoffeln + R.-Gülle	391 C	315 C	188 C	345 C	217 C	89 C	642 E	433 D	543 D

¹⁾ VDLUFA-Bewertungssystem: A = sehr niedrig, B = niedrig, C = optimal, D = hoch, E = sehr hoch; ²⁾ STG = Standortgruppe (siehe Tab. 1)

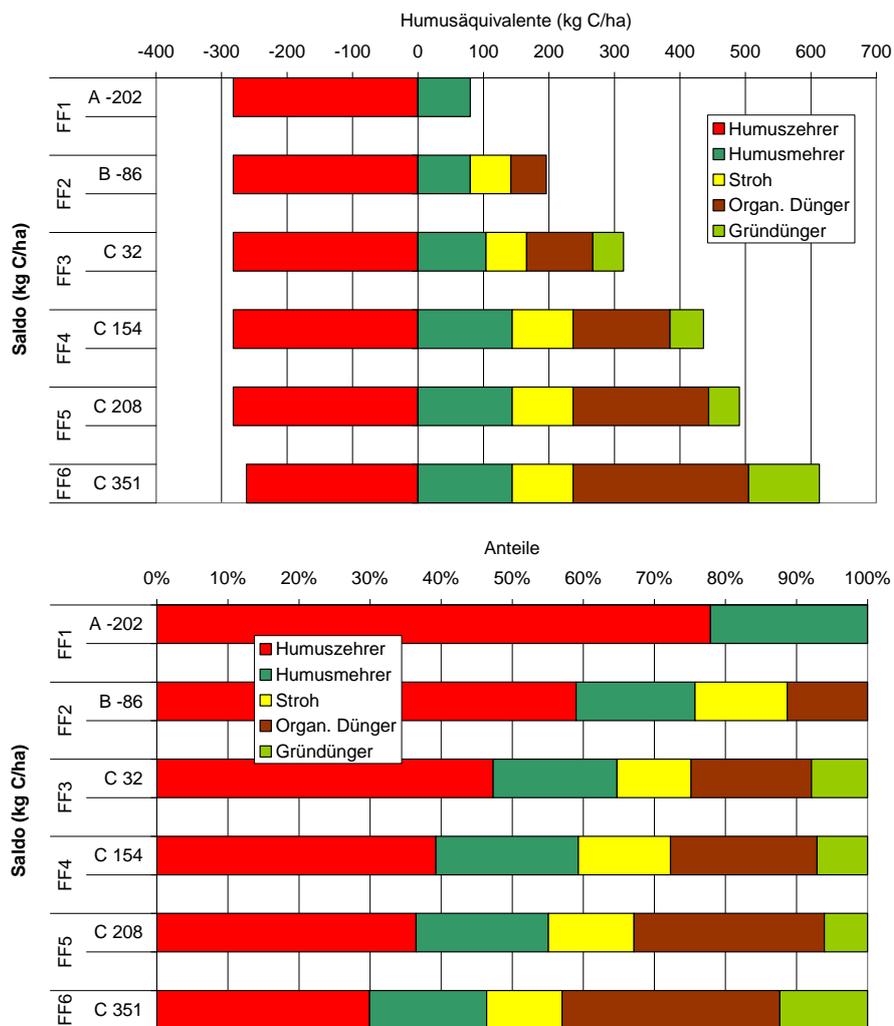


Abb. 15: Humusmehrende und -zehrende Komponenten der Fruchtfolgen mit steigender Gülledüngung aus der Rinderhaltung in absoluten (oben) und relativen (unten) Werten im Durchschnitt der dargestellten Standorte (Fruchtfolgen FF1 – FF6: siehe Tab. 4; A - C: Humusversorgungsstufen)

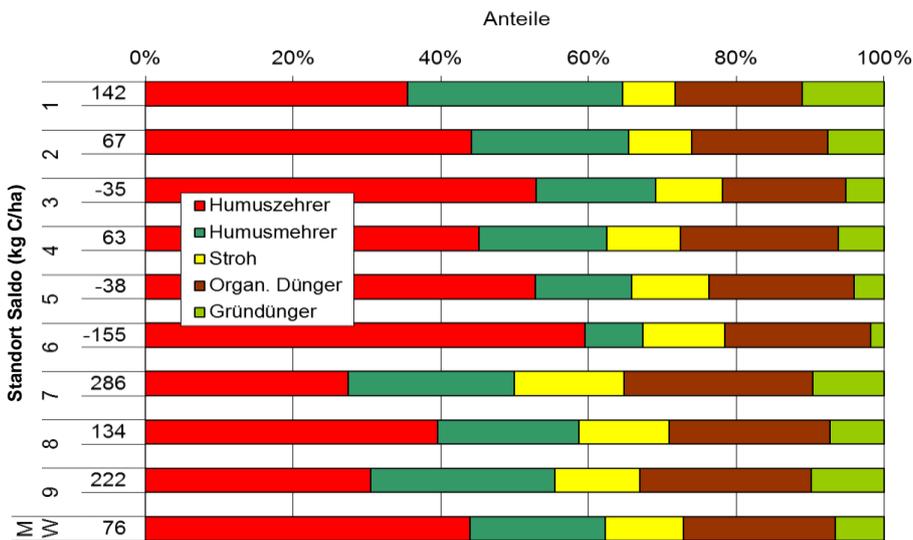
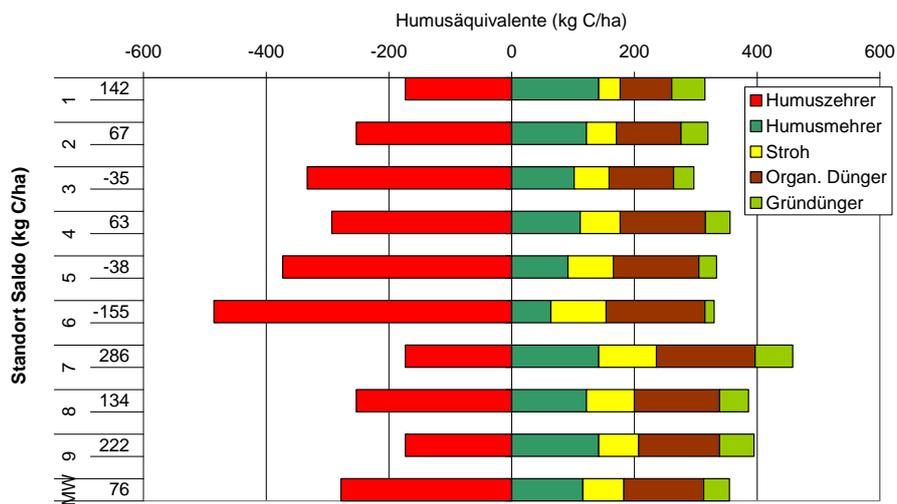


Abb. 16: Humusmehrende und -zehrende Komponenten der ausgewiesenen Standorte in absoluten (oben) und relativen (unten) Werten im Durchschnitt der Fruchtfolgen mit steigender Rindergülldüngung (Standorte 1 – 9: siehe Tab. 4; MW = Mittelwert)

Abbildung 16 veranschaulicht die unterschiedliche Bedeutung der dargestellten Komponenten der organischen Substanz für die Humusversorgung der einzelnen Standorte. Es wird deutlich, dass im Durchschnitt der untersuchten Fruchtfolgen die Humuszehrer auf den umsetzungsaktiven Böden an Relevanz gewinnen, während der absolute und relative Einfluss der Humusmehrer abnimmt (und anders herum auf den umsetzungsträgeren Standorten). Bei gleicher Fruchtfolgezusammensetzung verlieren deshalb auf den Standorten 3, 5 und 6 die Humusmehrer und die Zwischenfrüchte für die Sicherung der Humusversorgung an Bedeutung, während der Einfluss der organischen Düngemittel und auch der Strohversorgung etwas ansteigt. Der humusmehrende Beitrag des Strohs in diesen Flüssigmistensystemen sollte hierbei nicht unterschätzt werden (siehe auch Abb. 18).



Abb. 17: Neben den geringen Ernte- und Wurzelrückständen um 14 dt TM/ha bei Kartoffeln tragen die häufigen Bodenbewegungen insbesondere bei den Auspflanz- und Erntearbeiten zu den deutlich negativen Humusbilanzen der Hackfrüchte bei.

Quelle: Stephan, BLE, Oekolandbau.de



Abb. 18: Strohmulch-Auflagen verringern die Bodenerosion, binden den Stickstoff aus der Güllezufuhr, fördern die Regenwurm-tätigkeit und können nach einer gewissen Verzögerung von ½ Jahr in gleicher Weise als humusmehrende Komponente angerechnet werden wie nach sofortiger Einarbeitung

Quelle: Stephan, BLE, Oekolandbau.de

Im Durchschnitt dieser Anbauserie bestand die Aufteilung der humusmehrenden Komponenten aus 33 % Humusmehrer, 19 % Stroh, 37 % organischen Düngern und 12 % Gründüngern (Tab. 5). Mit steigender Bodenbonität nimmt die relative Vorzüglichkeit der Humuswirkung von Stroh und Gülle bis zum Standort 6 zu, während die der Humusmehrer und der Gründüngung abfällt. Auf den Sonderstandorten 7 – 9 werden durch alle Komponenten mittlere Werte der Humusanreicherung festgestellt.

Tab. 5: Anteile der humusmehrenden Komponenten (%) der Standorte im Durchschnitt der Fruchtfolgen mit Güllewirtschaft aus Rinderhaltung (Standorte 1 – 9: siehe Tab. 4)

Standort (Nr.)	Humusmehrende Fruchtarten	Stroh	Organische Dünger	Gründünger	Summe
1	45	11	27	17	100
2	38	15	33	14	100
3	34	19	36	11	100
4	32	18	39	11	100
5	27	22	42	9	100
6	19	27	49	5	100
7	31	21	35	13	100
8	32	20	36	12	100
9	36	17	33	14	100
Mittelwerte	32	19	37	12	100

Fruchtfolgen mit steigender Intensität der Festmistdüngung

Damit ein Vergleich zwischen den beiden Systemen mit Flüssig- bzw. Festmist hergestellt werden kann, wurden im Prinzip für beide Systeme ähnliche Konstellationen an Fruchtarten und in der Düngungshöhe angenommen (vgl. Tab. 4 u. Tab. 6). Unterschiede bestehen lediglich im Ausmaß der Strohbehandlung. Während das Stroh in der Regel bei der Güllewirtschaft auf dem Feld verbleibt, ist es bei der Festmistwirtschaft meistens abzufahren, da es über den Stall als Einstreu für die Stallmist-erzeugung verwendet wird.

Zunächst stehen Fruchtfolgen mit jeweils 20 % Körner- und Futterleguminosen, 40 % Getreide, 20 % Silomais und 20 % Zuckerrüben zur Bewertung an (Tab. 6). In Systemen mit geringer Viehhaltung von 0,2 GV/ha ist, ähnlich den Ergebnissen bei den Flüssigmistssystemen, die Absicherung einer genügend hohen Humuswirtschaft auf den Böden der STG 1 und STG 2 bereits gegeben, denn es werden schon durchweg positive Salden der Versorgungsgruppe C ermittelt (Tab. 6, F2). Auf den mittleren Böden und den umsetzungsstarken Standorten reicht dagegen die Zufuhr an organischer Substanz noch nicht aus, um eine ausgeglichene Humusversorgung zu gewährleisten. Auf den am meisten vertretenen Standorten 2 – 5 sind Dungwirtschaften mit 0,5 – 1,0 GV/ha an Stallmist (oder Kompost) als ausreichend anzusehen (Tab. 6, F3 – F4). Auf den Böden der Standorte 5 und besonders auf Standort 6 ist es jedoch erforderlich, unter den vorgegebenen Anbaukonstellationen eine Festmistwirtschaft von ungefähr 1,3 GV/ha anzustreben (F5), um einen ausgeglichenen Humushaushalt auf Dauer sicherzustellen (siehe Abb. 19).

Bei gleicher Düngungshöhe kann mit der Festmistwirtschaft und Strohabfuhr eine etwas bessere Versorgungslage an organischer Substanz aufrechterhalten werden als im Vergleich zur Flüssigmistwirtschaft und Strohverbleib (vgl. jeweils F5 in Tab. 4 u. Tab. 6). Das trifft besonders für die leichteren Standorte 1 – 3 zu, auf denen die festen organischen Düngemittel zu einer deutlich besseren Versorgung führen, während auf den fruchtbaren Böden der Standorte 4 – 9 kaum noch Vorteile der Festmistwirtschaft gegenüber der Flüssigmistwirtschaft bestehen.

Bei weiter ansteigender Tierhaltung (auch über die gewöhnlich vorgeschriebenen Grenzen der EU-Öko-Verordnung hinaus), ist zunächst durch die Festmistwirtschaft mit einer deutlichen Anreicherung an organischer Bodensubstanz zu rechnen, die schließlich den Versorgungsgruppen D – E zuzuordnen ist (Tab. 6, F6). In diesen Fruchtfolgebeispielen mit hohem Viehbesatz steigen die Umsetzung des Humus und damit auch die Freisetzung an Stickstoff mit der Zeit z. T. deutlich an. Dies hat insbesondere dann eine Bedeutung, wenn in ein bis zwei Jahrzehnten die Anreicherungs- und Festlegungsphase an organischer Substanz und damit auch an Nährstoffen im Boden zu Ende geht.

In beiden Düngungssystemen dürfte dann auf Grund erhöhter Nährstoffmineralisation insbesondere auf den leichteren zur Auswaschung neigenden Böden die Gefahr der Stickstoffverluste und der abnehmenden Nährstoffeffizienz deutlich ansteigen, so dass sie nicht mehr als ordnungsgemäße ökologische Anbausysteme angesehen werden können (vgl. F6 in Tab. 4 u. Tab. 6). Aus diesem Grund sollten auf Dauer keine Humussalden im Durchschnitt der Fruchtfolgen akzeptiert werden, die über die Versorgungsgruppe D hinausgehen.

Die Abbildungen 20 und 21 zeigen die absolute und relative Zuordnung der einzelnen Komponenten der organischen Substanz der untersuchten Fruchtfolgen auf Festmistbasis. Aus der relativen Zuordnung ist zu erkennen, dass auch in diesen Beispielen ähnliche Konstellationen als optimal anzusehen sind, wie sie schon bei den Flüssigdüngern gefunden worden sind. Der Anteil an Humuszehrern sollte nach Möglichkeit 60 % der gesamten Komponenten nicht übersteigen. Ab einem Anteil von 20 % an Humusmehrern (Leguminosengras, Zwischenfrüchte) können optimale Anbaubedingungen gewährleistet werden, wenn die humuszehrenden Komponenten zwischen 60 % und ungefähr 35 % liegen (vgl. Abb. 15 u. 20).

Bei diesen geprüften Nutzungssystemen kann zunächst die Bedeutung der organischen Dünger in Form von Stallmist oder Kompost als humusmehrnde Komponente klar hervorgehoben werden (siehe Abb. 22). Die festen organischen Düngemittel übernehmen mit steigender Viehhaltung einen immer größer werdenden Anteil an der Humusabsicherung, wodurch in der Regel auch ein Anstieg der Fruchtarterträge verbunden ist. Deutlich größer als 40 – 50 % sollte aber dieser Anteil von den Gesamtkomponenten der organischen Substanz nicht anwachsen, da sonst die Gefahr von einer auf Dauer zu starken Umsetzung und Freisetzung an Nährstoffen besteht, die durch die Ertragsbildung nicht mehr verwendet werden kann, so dass mit einem Anstieg von Nährstoffverlusten gerechnet werden muss (Abb. 20).



Quelle: Stephan, BLE, Oekolandbau.de

Abb. 19: In Gemischtbetrieben mit Tierhaltung und Ackerbau ist eine optimale Humuswirtschaft einfacher aufrecht zu erhalten als bei einseitigen Betriebsstrukturen oder viehlosen Marktfruchtssystemen.

Tab. 6: Humusbilanzen (kg C/ha; Versorgungsgruppen¹⁾) der Fruchtfolgen mit Festmistwirtschaft aus steigender Tierhaltung

Fruchtfolge Nummer (s.Tab.A1)	Boden:	Leichte Böden			Mittlere bis schwere Böden			Schwarzerden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.	
		Standort / STG ²⁾ : 1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1	
Anbauverfahren											
F1 0,0 GV /ha	2	10 % Klee gras-Abf.									
	6	10 % Körnerleguminosen + Stroh									
	8	40 % Getr. – Stroh									
	30	20 % S.-Mais	-70	-170	-270	-220	-320	-460	-70	-170	-70
	41	20 % Z.-Rübe - Blatt	C	B	A	A	A	C	A	C	
F2 0,2 GV /ha	2	10 % Klee gras-Abf.									
	6	10 % Körnerleguminosen + Stroh									
	15	10 % Getreide – Stroh + Stalldung									
	8	10 % Getr. – Stroh									
	16	20 % Getr. + Stroh									
	30	20 % S.-Mais	47	-41	-133	-76	-168	-293	101	-14	74
	41	20 % Z.-Rübe - Blatt	C	C	B	B	B	A	C	C	
F3 0,5 GV /ha	4	10 % Klee gras + Mulchen									
	2	10 % Klee gras-Abf.									
	8	20 % Getr. – Stroh + Stalldung a. Nr. 15									
	8	10 % Getr. – Stroh									
	16	10 % Getr. + Stroh									
	30	20 % S.-Mais	170	83	-10	49	-43	-166	227	109	195
	43	20 % Z.-Rübe + Blatt	C	C	C	C	C	B	C	C	
F4 1,0 GV /ha	1	20 % Klee gras-Abf.									
	10	10 % Getreide – Stroh + U.-Saat									
	8	20 % Getr. – Stroh + Stalldung a. Nr. 15									
	8	10 % Getr. – Stroh									
	30	20 % S.-Mais									
	39	20 % Kartoffeln + 1/2 Stalldung	277	181	71	140	30	-110	319	195	291
			C	C	C	C	C	B	C	C	
F5 1,3 GV /ha	1	20 % Klee gr.-Abfuhr									
	14	10 % Getreide-GPS + Stalldung + So.-Blanksaat aus Nr. 9									
	(9)	20 % Getreide – Stroh + Stalldung									
	15	10 % Getr. – Stroh + Stoppelfr. + GD									
	11	20 % S.-Mais + Geflügel-Stallm.									
	34	20 % S.-Mais + Geflügel-Stallm.									
	39	20 % Kartoffeln + 1/2 Stalldung	383	277	166	240	139	-6	462	319	406
			C	C	C	C	C	C	D	C	D
F6 1,8 GV /ha	1	10 % Klee gr.-Abfuhr + Stalldung a. Nr. 15									
	(15)	10 % Klee gras-Abf.									
	1	10 % Getreide-GPS + Stalldung + So.-Blanksaat aus Nr. 9									
	15	20 % Getreide – Stroh + Stalldung + W.-Zwischenfr. +GD aus Nr. 12									
	(9)	10 % Getr. – Stroh + Stoppelfr. + GD									
	14	20 % S.-Mais + Geflügel-Stallm.									
	(12)	10 % S.-Mais + Fertig-Kompost + U.-Saat aus Nr. 33									
	11	10 % Getr. – Stroh + Stoppelfr. + GD									
	34	20 % S.-Mais + Geflügel-Stallm.									
	35	10 % S.-Mais + Fertig-Kompost + U.-Saat aus Nr. 33									
	(33)	10 % Kartoffeln + Stallm.-Kompost									
	40		754	614	484	554	432	245	791	642	764
			E	E	D	D	D	C	E	E	E

¹⁾ VDLUFA-Bewertungssystem: A = sehr niedrig, B = niedrig, C = optimal, D = hoch, E = sehr hoch; ²⁾ STG = Standortgruppe (siehe Tab. 1)

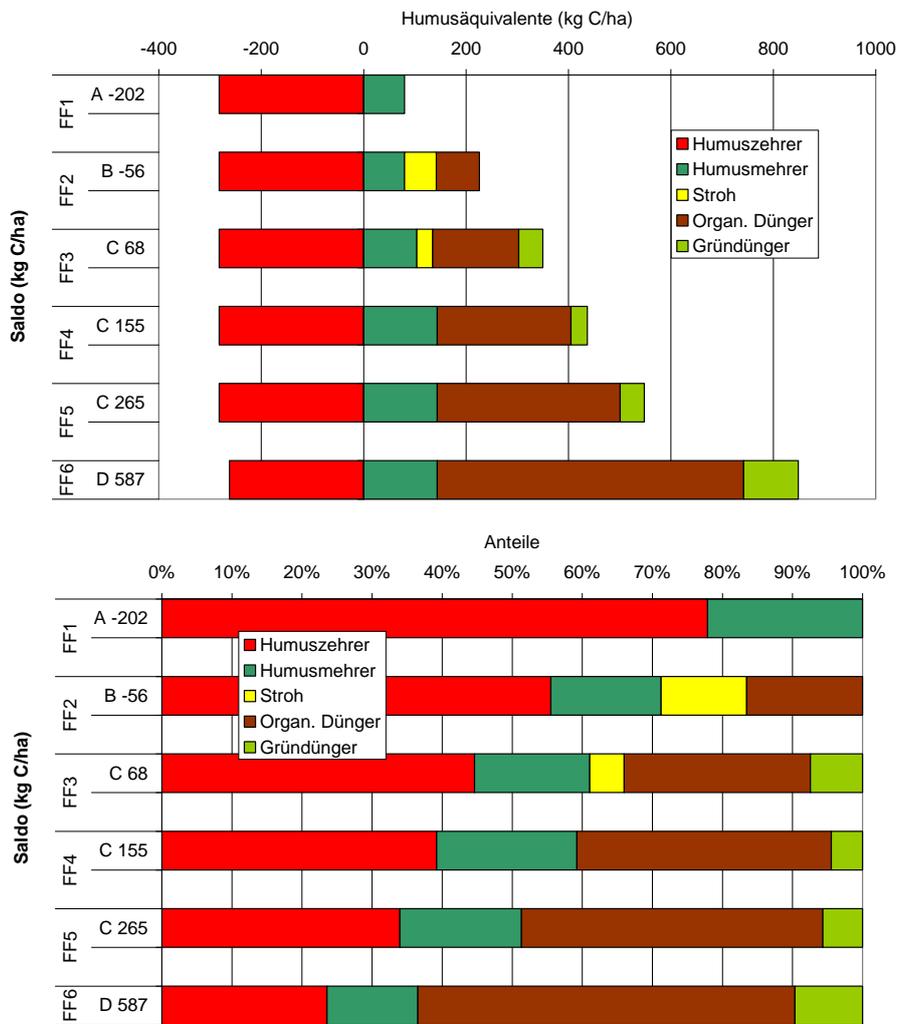


Abb. 20: Humusmehrende und -zehrende Komponenten der Fruchtfolgen mit Festmistwirtschaft in absoluten (oben) und relativen (unten) Werten im Durchschnitt der dargestellten Standorte (Fruchtfolgen FF1 – FF6: siehe Tab. 6; A – D: Humusversorgungsgruppen)

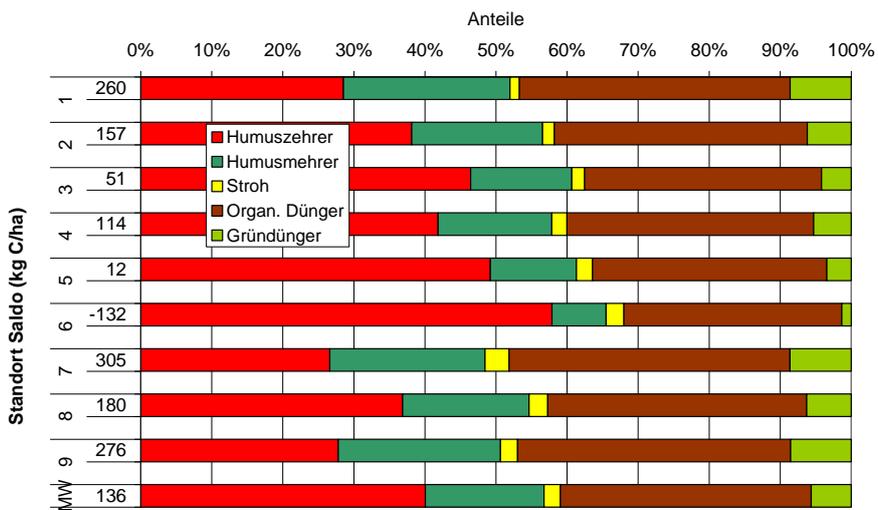
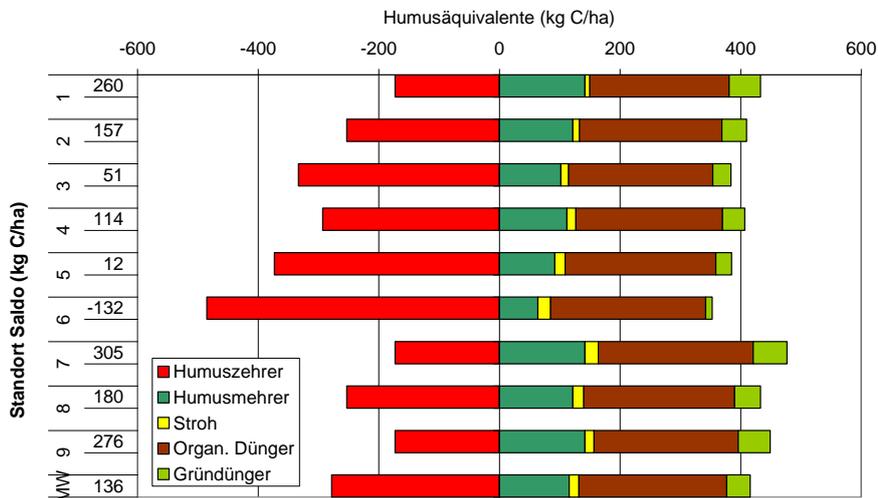


Abb. 21: Humusmehrende und -zehrende Komponenten der untersuchten Standorte in absoluten (oben) und relativen (unten) Werten im Durchschnitt der Fruchtfolgen mit Festmistwirtschaft (Standorte 1 – 9: siehe Tab. 6; MW = Mittelwert)



Abb. 22: Die festen organischen Dünger Stallmist und Kompost lohnen sich nicht nur wegen der guten humusmehrenden Eigenschaften. Auf Grund ihrer hohen TM-Gehalte können auch die Transport- und Ausbringungskosten niedrig gehalten werden. Eine mit Stallmist vergleichbare Humuswirkung wird von Gülle erst dann erreicht, wenn das Stroh auf dem Acker verbleibt.

Quelle: Grunert, LfULG

Bei den Fruchtfolgen mit Festmist weisen die untersuchten humusmehrenden Komponenten folgende relative Bedeutung auf (Tab. 7):

- Humusmehrende Fruchtarten 28 %
- Stroh + organische Dünger 63 %
- Gründünger + Zwischenfrüchte 9 %.

Im Vergleich zum Festmist wird bei der Flüssigmistwirtschaft durch die Komponenten Stroh und organische Dünger lediglich ein Anteil von 56 % erreicht (vgl. Tab. 5 u. 7). Auf Grund der ausgewiesenen Unterschiede zwischen den humusmehrenden Komponenten zeigt der Einsatz organischer Düngemittel auf den tätigen Böden der Standorte 5 und 6 im Vergleich zu den leichteren Böden der Standorte 1 und 2 sowie der Sonderstandorte 7 – 9 eine deutlichere Wirkung. Auf den Böden der STG 1 und STG 2 kommt demgegenüber dem Anbau humusmehrender Fruchtarten und der Gründüngung eine vergleichsweise höhere Bedeutung zu.

Tab. 7: Humusmehrende Komponenten (%) der Standorte im Durchschnitt der Fruchtfolgen mit Festmistwirtschaft (Standorte 1 – 9: siehe Tab. 6)

Standort (Nr.)	Humusmehrende Fruchtarten	Stroh	Organische Dünger	Gründünger	Summe
1	33	2	53	12	100
2	30	3	57	10	100
3	27	3	62	8	100
4	27	4	60	9	100
5	24	4	65	7	100
6	18	6	73	3	100
7	30	4	54	12	100
8	28	4	58	10	100
9	32	3	53	12	100
Mittelwerte	28	4	59	9	100

5 Kalkulation einer Veränderung der Bewirtschaftungsintensität

An einem konkreten Beispiel aus Tabelle 6 sollen die möglichst genauen Auswirkungen einer (geplanten) Änderung der Bewirtschaftung auf die Humusbilanzen und die C_{org} - und N_t -Werte im Boden aufgezeigt und diskutiert werden. Hierzu wird angenommen, dass auf den Betrieben oder den zu bewertenden Flächen bisher seit längerer Zeit (ca. 20 Jahre) entsprechend der in Tabelle 6 ausgewiesenen Fruchtfolge F2 gewirtschaftet worden ist. Für diese Nutzungsintensität werden zunächst Humusbilanzen erstellt, um den Ist-Zustand für die ausgewiesenen Standorte zu fixieren (Tab. 8, F2).

Ausgehend von diesem Anbausystem ist dann eine Veränderung der Bewirtschaftung durch eine starke Aufstockung der Viehhaltung und Anpassung der Fruchtfolge entsprechend dem Beispiel F5 aus Tabelle 6 als ein Szenario auszugestalten und durchzurechnen (siehe Abb. 23). Hierzu werden dann ebenfalls Humusbilanzen erstellt. Damit die Auswirkungen dieser neuen Anbaufolgen langfristig abgeschätzt werden können, werden in einem weiteren Rechengang die Ergebnisse der beiden Humusbilanzserien miteinander in Beziehung gesetzt.

Entsprechend den unterschiedlichen Humifizierungsraten auf den Standorten sind die erhaltenen Differenzwerte in den Humusalden und den C_{org} -Gehalten nicht gleich hoch. Die höchsten Differenzen sind auf Standorten mit relativ geringem Humusabbau zu erkennen (Tab. 8, F5 – F2: STG 1 u. 2). So treten die Schwarzerden mit den höchsten Werten hervor. Auf Böden mit steigendem Humusumsatz fallen diese Werte dann bis zu den aktiven Lehm Böden (STG 6) ab, die durch die niedrigsten Differenz-Werte gekennzeichnet sind. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist allerdings darauf zu achten, dass die berechneten Werte einer statistischen Streuung unterliegen. Daher kann die rechnerisch ausgewiesene zweite Kommastelle bei den C_{org} -Gehalten nicht mehr mit Sicherheit angegeben werden.

Tab. 8: Berechnungsbeispiele für den mittel- bis langfristigen Einfluss einer Nutzungsänderung auf die Humusbilanzen und die Änderung der C_{org} -Gehalte im Boden (Fruchtfolgen F2 u. F5: siehe Tab. 6; Erklärung siehe Text)

Fruchtfolge/ Szenario (s. Tab. 6)	Böden: Standort / STG ¹⁾ :	Leichte Böden			Mittlere bis schwere Böden			Schwarzerden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.
		1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1
F2 0,2 GV/ha Ist-Zustand	HÄQ (kg C/ha) ²⁾	47	-41	-133	-76	-168	-293	101	-14	74
	C_{org} -Differenz (%) ³⁾	0,03	-0,02	-0,08	-0,04	-0,10	-0,17	0,057	-0,01	0,04
F5 1,3 GV/ha Szenario	HÄQ (kg C/ha)	383	277	166	240	139	-6	462	319	406
	C_{org} -Differenz (%)	0,22	0,16	0,09	0,14	0,08	-0,00	0,26	0,18	0,23
F5-F2	HÄQ (kg C/ha)	336	318	299	316	307	287	361	333	332
	C_{org} -Differenz (%)	0,19	0,18	0,17	0,18	0,17	0,16	0,21	0,19	0,19

¹⁾ STG = Standortgruppe (siehe Tab. 1); ²⁾ HÄQ = Humusäquivalente; ³⁾ Berechnung C_{org} -Differenz (siehe Kap. Grundlagen)



Abb. 23a Quelle: Kolbe, LfULG



Abb. 23b Quelle: Hänsel, LfULG

Abb. 23a, b: Eine reichhaltige Fruchtfolge mit Gemengesaaten (Abb. 23a: Ackerfutter; Abb. 23b: Zwischenfrüchte) erhöhen die Erfolgsaussichten auch im Hinblick auf optimale Durchwurzelung und Humuswirkung. So trägt bei Trockenheit die tief wurzelnde Luzerne deutlicher zur Substanzbildung bei als die Gräser (und anders herum bei wüchsiger, feuchter Witterung).

Am Beispiel der Lehm Böden sollen die verschiedenen Verrechnungsmöglichkeiten näher erläutert werden (Tab. 8, STG 6). Aus einer Laboranalyse am Ende der bisherigen Bewirtschaftung (Tab. 8, F2, Ist-Zustand) ist außerdem von diesem Standort ein C_{org} -Gehalt von 1,50 % mit einem C/N-Verhältnis von 8,5:1 ermittelt worden. Bei der Berechnung des Ist-Zustandes wurde ein stark defizitärer Humussaldo von -293 kg C/ha festgestellt (Versorgungsgruppe A), der mit der Zeit ebenfalls zu einer Verringerung der Gehalte um 0,17 % C_{org} geführt hat (Tab. 8, F2, Ist-Zustand).

Durch Kenntnis des C/N-Verhältnisses des Bodens kann ebenfalls die Differenz-Menge an Stickstoff berechnet werden, die durch diese Bewirtschaftung im Boden über einen Zeitraum von ca. 20 Jahren bis zur Erreichung eines neuen Gleichgewichtes durch den postulierten Humusabbau frei geworden ist. Bei größeren Veränderungen kann dieser Zeitraum auch noch länger veranschlagt werden. Bei Unterstellung einer 20jährigen Zeitperiode würden durch die berechnete Abnahme der Humusgehalte in der Fruchtfolge F2 (Tab. 8) N-Mengen von durchschnittlich 45 kg N/ha und Jahr aus dem Bodenfonds freigesetzt. Bei Annahme einer 30jährigen Änderungsperiode würde eine N-Menge von lediglich 30 kg N/ha und Jahr zu veranschlagen sein:

- Berechnung C_{org}-Menge bei 0,17 % C_{org} (0,3 m Ackerkrume, spezifisches Gewicht 1,5):

$$4\,500 \text{ t Boden/ha} \times 0,17 \% \text{ C}_{\text{org}} / 100 \% = 7,65 \text{ t C}_{\text{org}}/\text{ha} \times 1000 = 7\,650 \text{ kg C}_{\text{org}}/\text{ha}$$

- Berechnung N-Menge bei 20 Jahren:

$$7\,650 \text{ kg C}_{\text{org}}/\text{ha} / 8,5 \text{ C/N-Verhältnis} = 900 \text{ kg N} / 20 \text{ Jahre} = 45 \text{ kg N/ha u. Jahr}$$

- Berechnung N-Menge bei 30 Jahren:

$$7\,650 \text{ kg C}_{\text{org}}/\text{ha} / 8,5 \text{ C/N-Verhältnis} = 900 \text{ kg N} / 30 \text{ Jahre} = 30 \text{ kg N/ha u. Jahr}$$

Aus der Kenntnis der Ist-Analyse kann jetzt auch der an diesem Standort typische Humus- bzw. C_{org}-Gehalt berechnet werden. Da die bisherige Bewirtschaftung zu einem deutlich negativen Humussaldo und deshalb auch zu einer Abnahme der C_{org}-Gehalte des Bodens geführt hat, muss die ermittelte Differenz im C_{org}-Gehalt dem Laborwert an C_{org} hinzuaddiert werden. Der durchschnittliche C_{org}-Gehalt vor Beginn der defizitären Fruchtfolge ist daher in etwa mit 1,67 % C_{org} anzusetzen:

$$\text{Bodengehalt an C}_{\text{org}} 1,50 \% + 0,17 \% \text{ C}_{\text{org}} = 1,67 \% \text{ C}_{\text{org}}$$

Zur Aufrechterhaltung dieses Wertes würde also der Einsatz der standortangepassten Methode auf der STG 6 immer zu einem weitgehend ausgeglichen Humussaldo um 0 kg C/ha und Jahr führen. Die erhaltenen Ergebnisse sind dann als durchschnittliche standort- und bewirtschaftungsbedingte Werte der Versorgungsgruppe C anzusehen. Die Methode ist also auf diese mittleren Verhältnisse des Standortes eingestellt. Nur bei Vorlage eines mittleren standortangepassten Versorgungsgrades mit organischer Substanz als Ist-Zustand kann auf die nachfolgend ausgeführte Verrechnung mit einem Szenario verzichtet werden.

Die Humusbilanzierung der zukünftigen Bewirtschaftung durch das Nutzungssystem F5 (Tab. 8, Szenario) hat auf dem Lehm-boden mit -6 kg C/ha zu einem weitgehend ausgeglichen Humussaldo geführt. Bei Vorlage nur dieser Information würde dann durch das neue Bewirtschaftungssystem lediglich eine geringfügige Veränderung der Gehalte von rechnerisch -0,003 % C_{org} und eine jährliche N-Freisetzung von ca. 0,8 kg N/ha und Jahr zu verzeichnen sein, wodurch der Laborwert an Humus sich kaum verändern würde (1,50 – 0,003 = 1,497 % C_{org}). Aus diesen Berechnungen könnte dann zunächst abgeleitet werden, dass die eingeplante Verbesserung der Bewirtschaftung auf diesem Standort zu einem weitgehend ausgeglichen Humussaldo führt und der durchschnittliche typische C_{org}-Gehalt des Standortes davon kaum verändert wird. Diese Schlussfolgerungen würden aber nur dann einen realistischen Hintergrund aufweisen, wenn die Bewirtschaftung vor der geplanten Änderung bereits zu weitgehend ausgeglichenen Humusbilanzen geführt hätte. Dies war aber nicht der Fall, wie das Beispiel F2 zur Ermittlung des Ist-Zustandes gezeigt hat.

Zur möglichst genauen Berechnung der zu erwartenden Veränderung in der Versorgung mit organischer Substanz muss daher die Ist-Analyse mit dem Zukunfts-Szenario nach folgender Gleichung verrechnet werden (Tab. 8, F5–F2):

Humusbilanz Szenario	–	Humusbilanz Ist-Zustand	=	Humusbilanz-Differenz
- 6	–	- 293	=	287 HÄQ (kg C/ha)
- 0,003	–	- 0,17	=	0,16 % C _{org}

Diese Ergebnisse zeigen jetzt, dass die Humusbilanz sich dann deutlich verbessert (+287 kg C/ha u. Jahr) und der ermittelte Humusgehalt um +0,16 % auf ungefähr 1,66 % C_{org} ansteigen wird:

$$\text{Bodengehalt an C}_{\text{org}} 1,50 \% + 0,16 \% \text{ C}_{\text{org}} = 1,66 \% \text{ C}_{\text{org}}$$

Zu beachten ist, dass über eine Zeitperiode von ca. 20 Jahren mit Zunahme der Humusgehalte auch eine durchschnittliche jährliche Festlegung an Stickstoff um ca. 43 kg N/ha zu berücksichtigen ist. In Zeitperioden mit starker Humusanreicherung (bzw. starkem Humusabbau) kann es daher zu einer nicht unbedeutenden Festlegung (bzw. Freisetzung) an Stickstoff und anderen Nährstoffen kommen, wodurch die aktuellen Erträge der Fruchtarten auch über viele Jahre hinweg beeinflusst werden können. In starken Anreicherungsperioden, die sich durch deutliche Humusbilanz-Überschüsse zu erkennen geben, kann es vorübergehend sogar zu akuten Mangelzuständen für einige wichtige Pflanzennährstoffe kommen.

Aus den aufgeführten Beispielen über die Kalkulation einer Betriebsänderung wird deutlich, dass je nach Vorgehensweise unterschiedliche Ergebnisse erlangt werden. Für genaue Berechnungen zur Betriebsentwicklung und anderen Fragestellungen mit bedeutenden Veränderungen in der zukünftigen Intensität und Ausgestaltung der Fruchtfolgen sind daher jeweils zwei Untersuchungen zu erstellen, die dann miteinander verrechnet werden müssen. Die realen Verhältnisse können durch diese Vorgehensweise deutlich besser beschrieben werden. Außer zu den Humussalden können hierzu auch Berechnungen zur Veränderung der C_{org} -Gehalte und zu einigen wichtigen Pflanzennährstoffen angestellt werden.

Unter Nutzung der Tabelle 8 können noch weitere Beispiele in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Standortbedingungen studiert werden. Mit Hilfe der Tabellenwerke in der Broschüre „Standortangepasste Humusbilanzierung im konventionellen Ackerbau“ und den hier vorgestellten Ergebnissen können Umstellungsszenarien aufgestellt und deren Auswirkungen auf die Humussalden und C_{org} -Gehalte des Bodens berechnet werden.

6 Fazit

Hintergrund jeglicher Überlegungen ist die Sicherung der Fruchtbarkeit der ackerbaulich genutzten Böden. Aufgrund der Bedeutung der organischen Substanz für die Nachhaltigkeit der Betriebe muss für jeden Ackerschlag mindestens eine ausgeglichene Humusbilanz in der Fruchtfolgerotation angestrebt werden. Auf der einen Seite sollten unterversorgte Flächen auf ein optimales Versorgungsniveau (VDLUFVA-Versorgungsgruppe C₂) angehoben werden. Auf der anderen Seite können Flächen mit relativer Überversorgung durch eine bessere Verteilung der organischen Materialien auf alle Betriebsflächen ausgeglichen werden. Ein gewisses zusätzliches Abfuhrpotenzial für die immer wertvoller werdenden Reststoffe könnte dann einer außerbetrieblichen Verwertung zugeführt und dem Betriebseinkommen angerechnet werden.

Die Berechnungsbeispiele haben z. T. deutliche Unterschiede in der Humusdynamik der Standorte aufgezeigt. Aus diesen Ergebnissen können daher durch spezifische Veränderung der Fruchtfolgen, der Bodenbearbeitung und der organischen Düngung standortgerechte Anbaustrategien abgeleitet werden (siehe Abb. 24). Eine Art der Anpassung könnte so vorgenommen werden, dass auf den leichteren Böden sowie auch besonders in Bergregionen mit geringerem Humusumsatz vorzugsweise die Zufuhr von leicht abbaubarer organischer Substanz (insbesondere Gründüngung) erfolgen sollte. Auch Marktfruchtbetriebe profitieren von einer genügend hohen Zufuhr an organischen Materialien mit relativ engen C/N-Verhältnissen. Auf Standorten mit höherem Humusumsatz könnten dagegen bestimmte Fruchtfolgeglieder mit nur geringen negativen bis deutlich positiven Humussalden (wie z. B. den Getreidearten bzw. den Kleegräsern) von Vorteil sein. Auch eine Zufuhr von schwerer umsetzbarer organischer Substanz mit weiten C/N-Verhältnissen (Stroh, feste organische Dünger) könnte auf diesen fruchtbaren Standorten dazu beitragen, den vorherrschenden deutlichen Abbau an Humusstoffen zu begrenzen.

Entsprechend den Standortverhältnissen geben Ergebnisse der Humusbilanzierungen Hinweise zur optimalen Fruchtfolgegestaltung und Verteilung von organischen Düngemitteln unterschiedlicher Art. Darüber hinaus können für die Bedingungen des Ökolandbaus untere und obere Grenzen der Fruchtfolgegestaltung aufgezeigt werden. Zwischen diesen Grenzen sind je nach Standort Betriebsausgestaltungen mit stark unterschiedlichen Kombinationen an spezifischen optimalen Intensitäten möglich. Aus den aufgeführten umfangreichen Anbau- und Fruchtfolgebeispielen können zudem für die individuellen Bedürfnisse weitere eigene Berechnungsergebnisse zur Humusbilanzierung zusammengestellt und einer Auswertung zugeführt werden.

Ihrem Ziel der Praktikabilität entsprechend, werden bei der Berechnung der Humusbilanz nur relativ leicht zu erhebende Bewirtschaftungsdaten benötigt, die normalerweise in landwirtschaftlichen Betrieben verfügbar sind (Schlagkarteiaufzeichnungen). Neben einer manuellen Berechnung von Humusbilanzen (zur Beschreibung der Methoden und Berechnungsunterlagen siehe: <http://orgprints.org/13626>) steht heute die Nutzung des Personalcomputers im Vordergrund. Geeignete Methoden können mit dem Kalkulationsprogramm BEFU gerechnet werden. Dieses Programm kann über das Internet heruntergeladen und auf dem eigenen PC installiert werden: <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/befu/>. Die Humusbilanzierung sollte dann nach folgendem Muster durchgeführt werden:

- die für die Aufgabenstellung passende Methode zur Humusbilanzierung aussuchen, für genauere Analysen sollte eine standortangepasste Methode verwendet werden, wodurch ein optimales Ertragsniveau der Fruchtarten auf Dauer gesichert werden kann

- vor jeder Planung alternativer Betriebskonzepte, wie z. B. der Umstellung auf Ökolandbau, Änderungen der Fruchtfolgen, Verwertung der Haupt- und Nebenprodukte, der organischen Düngung etc., sollten möglichst genaue standortgerechte Berechnungen zur Humusbilanzierung u. U. mit Hilfe der Beratung erstellt werden
- für genaue Analysen sind zwei Bilanzansätze erforderlich die miteinander in Beziehung gesetzt werden: eine Bilanzierung z. B. zur Ermittlung des Ist-Zustandes und eine Bilanzrechnung entsprechend der zukünftigen Anbauerwartung
- in den Fruchtfolgen sollte ein genügend hoher Anteil an humusmehrenden Komponenten Beachtung finden, die auch einen angemessen hohen Leguminosenbestand enthalten müssen
- besondere Beachtung von einseitigen Fruchtfolgen mit hohen Anteilen an Humuszehrern und nachwachsenden Rohstoffen
- Bilanzierungen immer über mindestens eine bis zwei vollständige Fruchtfolgerotationen erstellen
- Für jeden Acker Schlag mindestens eine ausgeglichene Humusbilanz anstreben (Versorgungsgruppe C)
- Die Bewertung der Humussalden entsprechend dem Anbausystem des Betriebes vornehmen.



Abb. 24a Quelle: Hänsel, LfULG



Abb. 24b Quelle: Hänsel, LfULG

Abb. 24a, b: Im Vergleich zur Pflugarbeit (Abb. 24a) wird die Nährstoffmineralisation und humusabbauende Wirkung der Unkrautregulierung (Abb. 24b) gewöhnlich überschätzt, da durch die geringe Arbeitstiefe nur wenige Zentimeter Boden gelockert werden.

7 Literatur

„Einfache Verfahren zur Berechnung der Humusbilanz für konventionelle und ökologische Anbaubedingungen“ Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig, <http://orgprints.org/13626/>

„Berechnung des Fugataufkommens“ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/7147.htm> → Tabelle zur Fugatberechnung für verschiedene Einsatzstoffe

„Standortangepasste Humusbilanzierung im konventionellen Ackerbau“ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/12183>

„Bodenfruchtbarkeit im Öko-Betrieb“ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, <http://orgprints.org/19532/>

8 Anhang

Tab. A1: Standortbeschreibung, Anbauverfahren und Ergebnisse der Humusbilanzierung (kg C/ha) der einzelnen Fruchtarten

Nummer	Böden:	Leichte Böden			Mittlere bis	schwere Böden		Schwarz-erden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.
		Standort / STG ¹⁾ :	1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2
	Bodenart:	S	S, SI, IS	S, SI, IS	SL, sL	SL, sL	L	(L)	IT, T	(T)
	Feinanteil:	< 8	< 13	< 13	14 – 21	14 – 21	22 – 27	17 – 30	> 28	(> 38)
	Sonstiges:	C/N-Verh. > 14	< 8,5 °C	> 8,5 °C	< 8,5 °C	> 8,5 °C	L, C/N-Verh. > 9	C/N-Verh. < 9		
	Anbauverfahren									
Futterleguminosen und Ackergras										
Erträge	Futterleguminosen u. Ackergras (Hauptnutzungs-jahr) (t/ha):	25	30	35	40	45	55	55	45	40
1	Futterleguminosen u. Ackergras, Hauptnutzungs-jahr, Abfuhr:	850	750	650	700	600	460	850	750	850
2	Futterleguminosen u. Ackergras, Ansaatjahr, Abfuhr:	650	550	450	500	400	260	650	550	650
3	Futterleguminosen u. Ackergras, Hauptnutzungs-jahr:	850	750	650	700	600	460	850	750	850
	+Gründüngung letzter Aufwuchs 20 t/ha (20 % TM, mittlerer Wert):	128	128	128	128	128	128	128	128	128
	Σ:	978	878	778	828	728	588	978	878	978
4	Futterleguminosen u. Ackergras, Ansaatjahr:	650	550	450	500	400	260	650	550	650
	+Aufwuchs-Mulchen/ Gründüngung als Grünschnitt (20 % TM), niedriger Wert:	50	60	70	80	90	110	110	90	80
	Σ:	700	610	520	580	490	370	760	640	730
Gezielte Begrünung										
5	Ab Frühjahr des Brachejahres:	650	550	450	500	400	260	650	550	650
Grünschnitt: niedriger Wert = 2 kg C/t; mittlerer Wert = 6,4 kg C/t; ¹⁾ STG = Standortgruppe (siehe Tab. 1)										
Körnerleguminosen										
Erträge	Körnerleguminosen (t/ha):	1,5	2,0	2,3	2,8	3,3	3,8	3,8	3,2	2,5
6	Körnerleguminosen:	410	310	210	260	160	20	410	310	410
7	Körnerleguminosen:	410	310	210	260	160	20	410	310	410
	+ Untersaat:	450	350	250	300	200	60	450	350	450
	+ Gründüngung 20 t/ha (10 % TM):	64	64	64	64	64	64	64	64	64
	Σ:	924	724	524	624	424	144	924	724	924

Tab. A1: (Fortsetzung)

Nummer	Böden: Standort / STG ¹⁾ :	Leichte Böden			Mittlere bis schwere Böden			Schwarzerden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.
		1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1
Getreidearten										
Erträge / Düngung	Getreideart, Korn-Strohverhältn. 1,1, Kornertrag (t/ha):	2,2	3,0	3,5	4,0	4,5	5,5	5,8	4,8	4,0
	Strohertrag (86 % TM; t/ha):	2,4	3,3	3,9	4,4	5,0	6,1	6,4	5,3	4,4
	Schweinegülle (8 % TM, m ³ /ha):	10	15	15	20	20	25	30	25	20
	Rindergülle (7 % TM; t/ha):	15	20	20	30	30	35	35	30	30
	Grünschnitt (20 % TM; t/ha):	10	15	15	20	20	30	30	20	20
8	Getreide-Ganzpflanzensilage bzw. Getreide-Korn u. Strohabfuhr:	-30	-130	-230	-180	-280	-420	-30	-130	-30
9	Getreide-Ganzpflanzensilage bzw. Getreide-Korn u. Strohabfuhr: +Sommerblanksaat Feldfutter (Aufwuchs abgefahren):	-30 350	-130 250	-230 150	-180 200	-280 100	-420 -40	-30 350	-130 250	-30 350
	Σ:	320	120	-80	20	-180	-460	320	120	320
10	Getreide-Ganzpflanzensilage bzw. Getreide-Korn u. Strohabfuhr: +Untersaat (Aufwuchs abgefahren):	-30 450	-130 350	-230 250	-180 300	-280 200	-420 60	-30 450	-130 350	-30 450
	Σ:	420	220	20	120	-80	-360	420	220	420
11	Getreide-Ganzpflanzensilage bzw. Getreide-Korn u. Strohabfuhr: +Stoppelfrucht: +Gründüngung 15 t/ha (10 % TM):	-30 330 50	-130 230 50	-230 130 50	-180 180 50	-280 80 50	-420 -60 50	-30 330 50	-130 230 50	-30 330 50
	Σ:	350	150	-50	50	-150	-430	330	150	350
12	Getreide-Ganzpflanzensilage bzw. Getreide-Korn u. Strohabfuhr: +Winterzw.-frucht: +Gründüngung 20 t/ha (10 % TM):	-30 370 64	-130 270 64	-230 170 64	-180 220 64	-280 120 64	-420 -20 64	-30 370 64	-130 270 64	-30 370 64
	Σ:	404	204	4	104	-96	-376	404	204	404
13	Getreide-Korn u. Strohabfuhr: +Grünschnitt (20 % TM):	-30 64	-130 96	-230 96	-180 128	-280 128	-420 192	-30 192	-130 128	-30 128
	Σ:	34	-34	-134	-52	-152	-228	162	-2	98
14	Getreide-Korn u. Strohabfuhr: +Stalldung 15 t/ha (frisch, 20 % TM) (½ Stalldungsmenge):	-30 315	-130 315	-230 315	-180 315	-280 315	-420 315	-30 315	-130 315	-30 315
	Σ:	285	185	85	135	35	-105	285	185	285
15	Getreide-Korn u. Strohabfuhr: +Stalldung 30 t/ha (verrottet, 25 % TM):	-30 840	-130 840	-230 840	-180 840	-280 840	-420 840	-30 840	-130 840	-30 840
	Σ:	810	710	610	660	560	420	810	710	810

Tab. A1: (Fortsetzung)

Nummer	Böden: Standort / STG ¹⁾ :	Leichte Böden			Mittlere bis	schwere Böden		Schwarz- erden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.
		1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1
16	Getreide-Korn:	-30	-130	-230	-180	-280	-420	-30	-130	-30
	+Strohzufuhr (86 % TM):	163	224	265	299	340	414	435	360	299
	Σ:	133	94	35	119	60	-6	405	230	269
17	Getreide-Korn:	-30	-130	-230	-180	-280	-420	-30	-130	-30
	+Strohzufuhr (86 % TM):	163	224	265	299	340	414	435	360	299
	+Schweinegülle (8 % TM):	87	87	145	145	203	203	203	203	145
	Σ:	274	229	241	345	358	272	662	508	468
18	Getreide-Korn:	-30	-130	-230	-180	-280	-420	-30	-130	-30
	+Strohzufuhr (86 % TM):	163	224	265	299	340	414	435	360	299
	+Rindergülle (7 % TM):	129	172	172	258	258	301	301	58	258
	Σ:	262	266	207	377	318	295	706	488	527

Stroh: mittlere Werte = 67,9 kg C/t; Gründüngung: mittlere Werte = 3,2 kg C/t; Grünschnitt: mittlere Werte = 6,4 kg C/t; Stalldung: mittlere Werte = 28 kg C/t; Schweinegülle: hohe Werte = 6,5 kg C/t; Rindergülle: hohe Werte = 8,6 kg C/t

Raps

Erträge / Dün- gung	W.-Raps, Korn- Strohverhältnis 2,0 Kornertrag (t/ha): Strohertrag (86 % TM; t/ha): Rindergülle (7 % TM; m ³ /ha): Schweinegülle (8 % TM; m ³ /ha):	1,5	2,0	2,3	2,5	3,0	3,3	3,5	3,0	2,5
				3,0	4,0	4,6	5,0	6,0	6,6	7,0
		20	25	30	35	35	40	40	35	35
		15	20	20	25	25	30	30	25	25

19	Raps-Ganzpflanzen- verwertung (Energiegewinnung):	-30	-130	-230	-180	-280	-420	-30	-130	-30
20	Raps- Ganzpflan- zenverwertung (Energiegewinnung):	-30	-130	-230	-180	-280	-420	-30	-130	-30
	+Rindergülle (7 % TM):	162	203	243	284	284	324	324	284	284
	Σ:	132	73	13	104	4	-96	294	154	254
21	Raps-Korn:	-30	-130	-230	-180	-280	-420	-30	-130	-30
	+Strohzufuhr:	204	272	312	340	407	448	475	407	340
	Σ:	174	142	82	160	127	28	445	277	310
22	Raps-Korn:	-30	-130	-230	-180	-280	-420	-30	-130	-30
	+Strohzufuhr:	204	272	312	340	407	448	475	407	340
	+Schweinegülle (8 % TM):	87	116	116	145	145	174	174	145	145
	Σ:	261	258	198	305	272	202	619	422	455
23	Raps-Korn:	-30	-130	-230	-180	-280	-420	-30	-130	-30
	+Strohzufuhr:	204	272	312	340	407	448	475	407	340
	+Stoppelfrucht:	330	230	130	180	80	-60	330	230	330
	+Gründüngung 15 t/ha (10 % TM):	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	Σ:	552	420	260	388	255	16	823	555	688
24	Raps-Korn:	-30	-130	-230	-180	-280	-420	-30	-130	-30
	+Strohzufuhr:	204	272	312	340	407	448	475	407	340
	+Schweinegülle (8 % TM):	87	116	116	145	145	174	174	145	145
	+Stoppelfrucht:	330	230	130	180	80	-60	330	230	330
	+Gründüngung 15 t/ha (10 % TM):	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	Σ:	639	536	376	533	400	190	997	700	833

Tab. A1: (Fortsetzung)

Nummer	Böden: Standort / STG ¹⁾ :	Leichte Böden			Mittlere bis schwere Böden			Schwarz- erden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.
		1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1
25	Raps-Korn:	-30	-130	-230	-180	-280	-420	-30	-130	-30
	+Strohzufuhr:	204	272	312	340	407	448	475	407	340
	+30 t/ha Stallung (verrottet, 25 % TM):	840	840	840	840	840	840	840	840	840
	Σ:	1014	982	922	1000	967	827	1285	1117	1150

Stroh: mittlerer Wert = 67,9 kg C/t; Gülle: mittlere Werte; Stallung: mittlere Werte; Gründüngung: mittlere Werte

Körnermais

Erträge / Dün- gung	Körnermais, Korn- Stroh-Verhältn. 0,8 Kornertrag (t/ha): Strohertrag (86 % TM, t/ha): Hühnertrockenkot (45 % TM, m ³ /ha):	4,0	4,5	5,5	6,5	7,0	7,5	8,0	7,0	4,5
		3,2	3,6	4,4	5,2	5,6	6,0	6,4	5,6	3,6
		4	4	5	5	6	6	6	6	4
26	Körnermais, Stroh- abfuhr:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
27	Körnermais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
	+Strohzufuhr (86 % TM):	217	244	299	353	380	407	435	380	244
	Σ:	-93	-166	-211	-107	-180	-293	125	-30	-66
28	Körnermais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
	+Strohzufuhr (86 % TM):	217	244	299	353	380	407	435	380	244
	+Untersaat:	450	350	250	300	200	60	450	350	450
	+Gründüngung (10 % TM; 10 t/ha):	32	32	32	32	32	32	32	32	32
	Σ:	389	216	71	225	52	-201	607	352	416
29	Körnermais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
	+Strohzufuhr (86 % TM):	217	244	299	353	380	407	435	380	244
	+Hühnertrockenkot (45 % TM):	144	144	180	180	216	216	216	216	144
	Σ:	51	-22	-31	19	36	-77	341	186	78

Silomais

Erträge / Dün- gung	Silomais/ Frisch- masseertrag (t/ha): Gärrückstand (m ³ /ha): Rindergülle (7 % TM; m ³ /ha): Geflügelstallmist (35 % TM; t/ha):	25,0	28,5	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	40,0	32,5
		20	25	25	30	35	40	45	35	28
		25	30	30	35	35	40	40	35	30
		5	5	6	6	8	9	9	8	6
30	Silomais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
31	Silomais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
	+Rindergülle (7 % TM):	203	243	243	284	284	324	324	284	243
	Σ:	-108	-168	-267	-176	-276	-376	14	-126	-67
32	Silomais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
	+Gärrückstand (4 % TM):	112	140	140	168	196	224	252	196	157
	Σ:	-198	-270	-370	-292	-364	-476	-58	-214	-153
33	Silomais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
	+Gärrückstand (4 % TM):	112	140	140	168	196	224	252	196	157
	+Untersaat:	450	350	250	300	200	60	450	350	450
	+Gründüngung 15 t/ha (10 % TM):	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	Σ:	300	128	-72	56	-116	-368	440	184	345

Tab. A1: (Fortsetzung)

Nummer	Böden: Standort / STG ¹⁾ :	Leichte Böden			Mittlere bis schwere Böden			Schwarz-erden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.
		1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1
34	Silomais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
	+Geflügestallmist (35 % TM):	231	231	277	277	370	416	416	370	277
	Σ:	-79	-179	-233	-183	-190	-284	106	-40	-33
35	Silomais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
	+Fertigkompost 25 t/ha (50 % TM):	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563	1563
	Σ:	1253	1153	1053	1103	1103	863	1253	1153	1253

Stroh: mittlerer Wert = 67,9 kg C/t; R.-Gülle: mittlere Werte, Gärrückstand: mittlere Werte; Hühnertrockenkot u. Geflügestallmist: hohe Werte; Gründüngung: mittlere Werte; Kompost: mittlerer Wert

Kartoffeln

Erträge / Dün- gung	Speise- oder Ver- arbeitungs- ware Knollenertrag (t/ha):	18	22	22	25	25	28	28	25	23
		Rindergülle (7 % TM; m ³ /ha):	20	25	25	30	30	35	35	30
	Stalldung (verrot- tet, 25 % TM; t/ha):	25	30	30	35	35	40	40	35	30
36	Speise- oder Verar- beitungs-Kartoffeln:	-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
37	Speise- oder Verar- beitungs-Kartoffeln:	-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
	+Rindergülle (7 % TM):	162	203	203	243	243	284	284	243	243
	Σ:	-348	-407	-507	-417	-517	-616	-226	-367	-267
38	Speise- oder Verar- beitungs-Kartoffeln:	-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
	+Rindergülle (7 % TM):	162	203	203	243	243	284	284	243	243
	+Stoppelfrucht:	330	230	130	180	80	-60	330	230	330
	+Gründüngung 10 t/ha (10 % TM):	55	55	55	55	55	55	55	55	55
	Σ:	37	-122	-322	-182	-382	-621	-159	-82	-118
39	Speise- oder Verar- beitungs-Kartoffeln:	-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
	+Stalldung (verrot- tet, 25 % TM):	700	840	840	980	980	1120	1120	980	840
	Σ:	190	230	130	320	220	220	610	370	330
40	Speise- oder Verar- beitungs-Kartoffeln:	-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
	+Stalldungskompost 20 t/ha (35 % TM):	946	946	946	946	946	946	946	946	946
	Σ:	436	336	236	286	186	46	436	336	436

Gülle: mittlere Werte; Stalldung: mittlere Werte; Gründüngung: hohe Werte

Tab. A1: (Fortsetzung)

Nummer	Böden: Standort / STG ¹⁾ :	Leichte Böden			Mittlere bis schwere Böden			Schwarz- erden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.	
		1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1	
Rüben (Beispiel Zuckerrübe)											
	Erträge / Dün- gung	Zuckerrüb., Rüben- Blattverhältnis 0,7) Rübenenertrag (t/ha): Blattertrag (10 % TM; t/ha):	3,5	42,5	45,0	50,0	55,0	65,0	65,0	55,0	45,0
			24,5	29,8	31,5	35,0	38,5	45,5	45,5	38,5	31,5
41	Zuckerrüben Zuckerrübenblatt- Abfuhr:		-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
42	Zuckerrüben: +Zuckerrübenblatt- Gründüngung (10 % TM; niedriger Wert): Σ:		-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
			25	30	32	35	39	46	46	39	32
			-485	-580	-678	-625	-721	-854	-464	-571	-478
43	Zuckerrüben: +Zuckerrübenblatt- Gründüngung (10 % TM; hohe Werte): Σ:		-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
			135	164	173	193	212	250	250	212	173
			-375	-446	-537	-467	-548	-650	-260	-398	-334
44	Zuckerrüben: +Zuckerrübenblatt- Gründüngung (10 % TM; hohe Werte): +Rindergülle 15 m ³ /ha (4 % TM): Σ:		-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
			135	164	173	193	212	250	250	212	173
			74	74	74	74	74	74	74	74	74
			-301	-372	-463	-390	-474	-576	-186	-324	-263

Gründüngung: hohe Werte = 5,5 kg C/t; niedrige Werte = 1,0 kg C/t; Rindergülle: hohe Werte

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autor:

Dr. Hartmut Kolbe
Abteilung Pflanzliche Erzeugung
Waldheimer Str. 219, 01683 Nossen
Telefon: +49 35242 631-7103
Telefax: +49 35242 631-7199
E-Mail: Hartmut.Kolbe@smul.sachsen.de

Redaktion:

siehe Autor

Redaktionsschluss:

05.05.2013

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung. Die PDF-Datei kann im Internet unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.