



# Standortangepasste Humusbilanzierung im konventionellen Ackerbau

Informationen für Praxis, Beratung und Schulung



# Anwendungsbeispiele zur standortangepassten Humusbilanzierung im konventionellen Ackerbau

Informationen für Praxis, Beratung  
und Schulung

Dr. Hartmut Kolbe

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>4</b>
	Einfluss des Standortes .....	4
	Einfluss der Fruchtarten .....	6
	Einfluss der organischen Materialien .....	7
	Bodenuntersuchung und Humusbilanzierung .....	9
	Erstellung einer Humusbilanz .....	9
	Prinzip des Humusumsatzes .....	11
	Untersuchte Anbaukonzepte und Ergebnisdarstellung .....	12
<b>3</b>	<b>Bilanzierungsergebnisse für einzelne Fruchtarten</b> .....	<b>13</b>
	Getreide und Raps .....	13
	Mais und Hackfrüchte .....	13
	Zwischenfrüchte, Körnerleguminosen und Ackerfutter .....	14
<b>4</b>	<b>Fruchtfolgebeispiele</b> .....	<b>17</b>
	Fruchtfolgen mit Körnerfrüchten und Schweinehaltung .....	17
	Fruchtfolgen mit Hackfruchtanbau .....	24
	Energiefruchtfolgen und Gärsubstratzufuhr .....	32
	Silomais-Fruchtfolgen sowie Rinder- und Milchviehhaltung .....	34
	Kalkulation einer Veränderung des Bewirtschaftungssystems .....	40
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>46</b>

# 1 Einleitung

Der Humusgehalt des Bodens ist für die Bodenstruktur, als Nährstoffspeicher und für die Nährstoffdynamik des Ackerlandes von großer Bedeutung. Aufgrund der positiven Wirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit und das Ertragspotenzial des Standortes sollte auf eine gute Versorgung der Ackerflächen mit organischer Substanz Wert gelegt werden. Auf jeden Fall muss verhindert werden, dass die Humusgehalte abnehmen. Besonders gefährlich ist hierbei ein schleichender Verlust, der oft zu spät bemerkt wird, weil negative Auswirkungen erst nach langer Zeit durch abnehmende Ertragsfähigkeit und Verschlechterung der Bodenstruktur sichtbar werden.

In diesem Beitrag steht daher die praxisorientierte Anwendung der Humusbilanzierung im Mittelpunkt. Für die hauptsächlich angebauten Fruchtarten werden zunächst Anbauverfahren für ein breites Standortsspektrum definiert. Humusbilanzen werden dann separat für jeden Standort sowohl für einzelne Fruchtarten als auch für stark unterschiedlich intensive Marktfrucht- und Futterbausysteme berechnet. Die Ergebnisse werden aus Gesichtspunkten der Betriebsoptimierung und auch 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**

Der Humusgehalt und die Umsetzung der organischen Substanz sind im Wesentlichen von Faktoren des Klimas, des Bodens und der Bewirtschaftung abhängig (siehe Abb. 1). Zusammenfassend kann folgende Gewichtung angenommen werden:

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

Ein Anstieg der Umsetzung und Abbaurate an Humusstoffen findet mit steigendem Tongehalt bzw. enger werdenden C/N-Verhältnissen des Bodens bis zu den sehr aktiven Lehmstandorten statt (Ausnahmen: schwere Tonböden und Schwarzerden). Die Umsetzung der organischen Substanz ist hierbei auch 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.

Darüber hinaus wird der Humusumsatz und -abbau mit ansteigenden Temperaturen stark positiv beeinflusst und durch hohe Wasserversorgung des Bodens über entsprechende Niederschläge gewöhnlich verringert. Abbildung 2 zeigt eine ausgeprägte Wechselwirkung zwischen steigenden Feinanteilen (Ton + Feinschluff) des Bodens und den Niederschlägen auf die Humusgehalte. Durch die aufgezeigten Prozesse haben sich mit der Zeit ganz unterschiedlich hohe Gehalte an Humus auf den verschiedenen Standorten eingestellt.

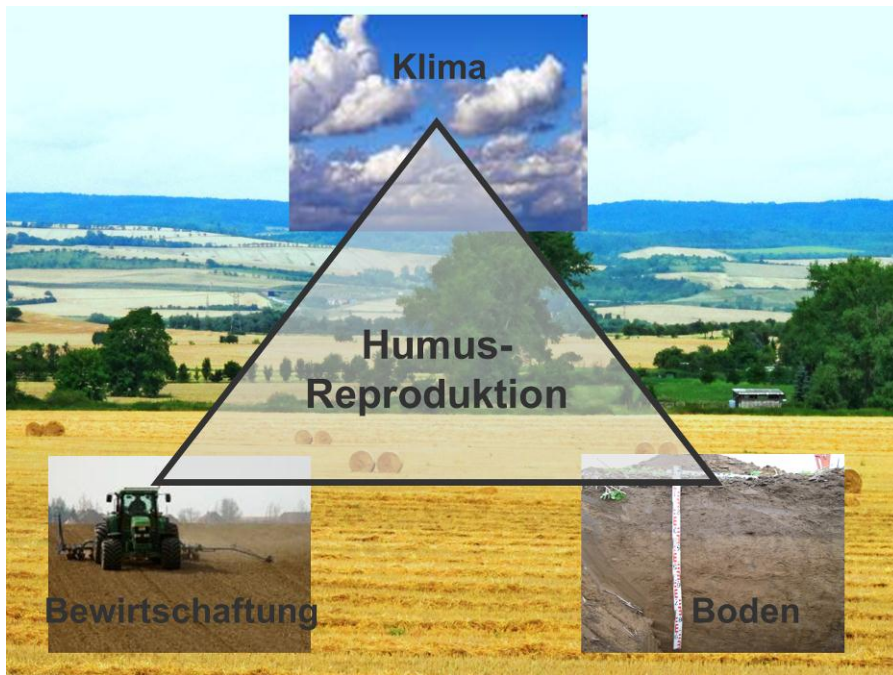


Abb. 1: Die Einflussfaktoren Klima, Boden und Bewirtschaftung sind für den Humusumsatz der Standorte entscheidend.

Quelle: Duan; Motiv: Thiel, LfULG

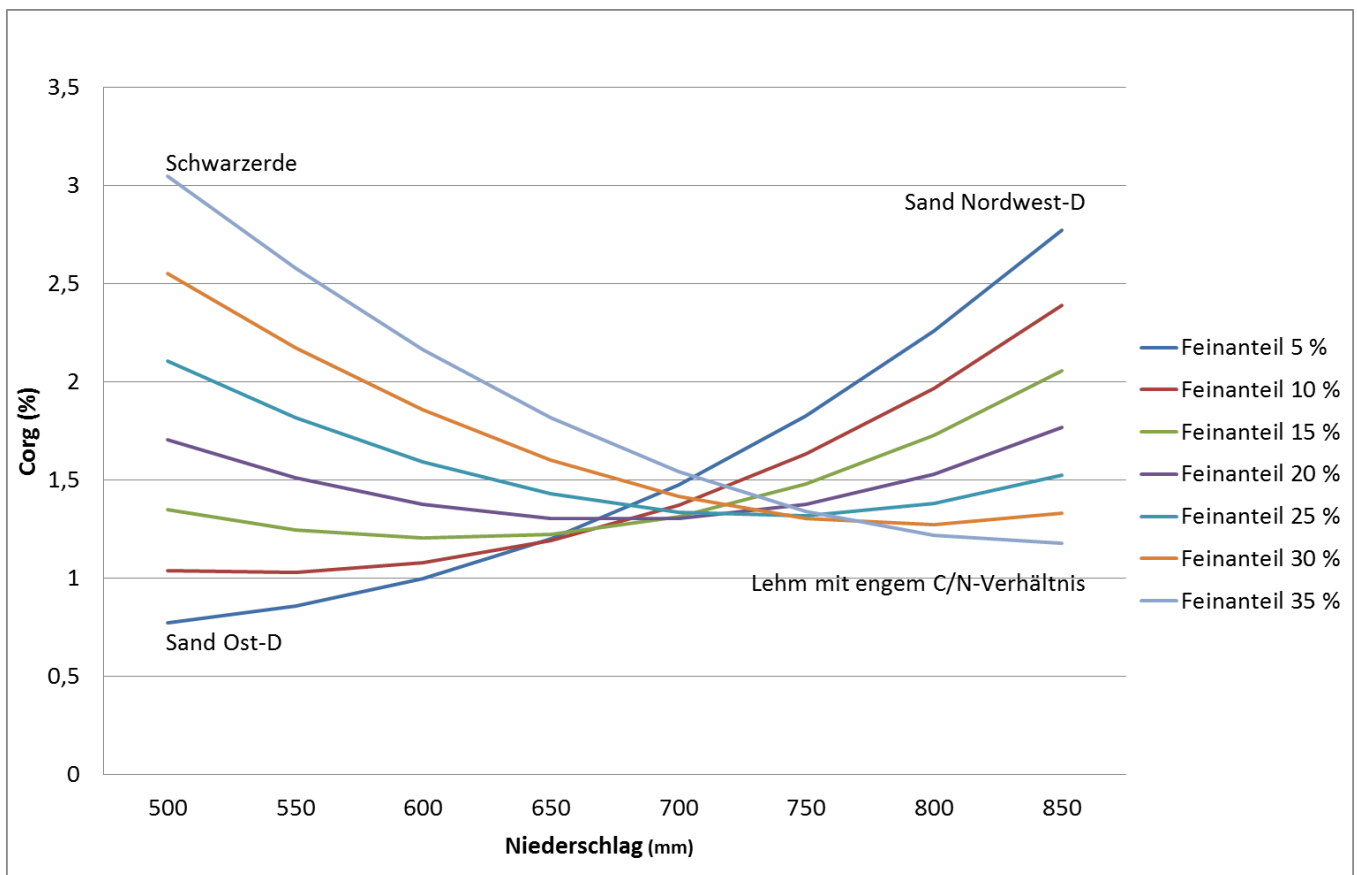


Abb. 2: Einfluss der Feinanteile und der Niederschläge auf die Humusgehalte des Bodens

### Einfluss der Fruchtarten

Von den Maßnahmen der Bewirtschaftung wird die Humusbilanz entscheidend dadurch bestimmt, welche Fruchtarten zum Anbau gelangen (Abb. 3). Der Einfluss der Fruchtart wird als Koeffizient in Humusäquivalenten (HÄQ) dargestellt, der als integrale Summenwirkung zwischen Anbaudauer, Bodenruhe, Menge und C/N-Verhältnis der Ernte- und Wurzelreste (EWR) in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Standortes (Boden, Klima) angesehen werden kann (Balkenlänge = Variationsbreite der Standorte).

Bei Anbau von Feldfutter, Körnerleguminosen und Untersaaten entsteht auf allen Standorten ein positiver Saldo. 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. Einige Fruchtarten, wie das Sudangras oder Kurzumtriebsplantagen mit schnellwachsenden Baumarten, können in ihrer Humuswirkung noch nicht sicher genug eingeschätzt werden (siehe Abb. 4).

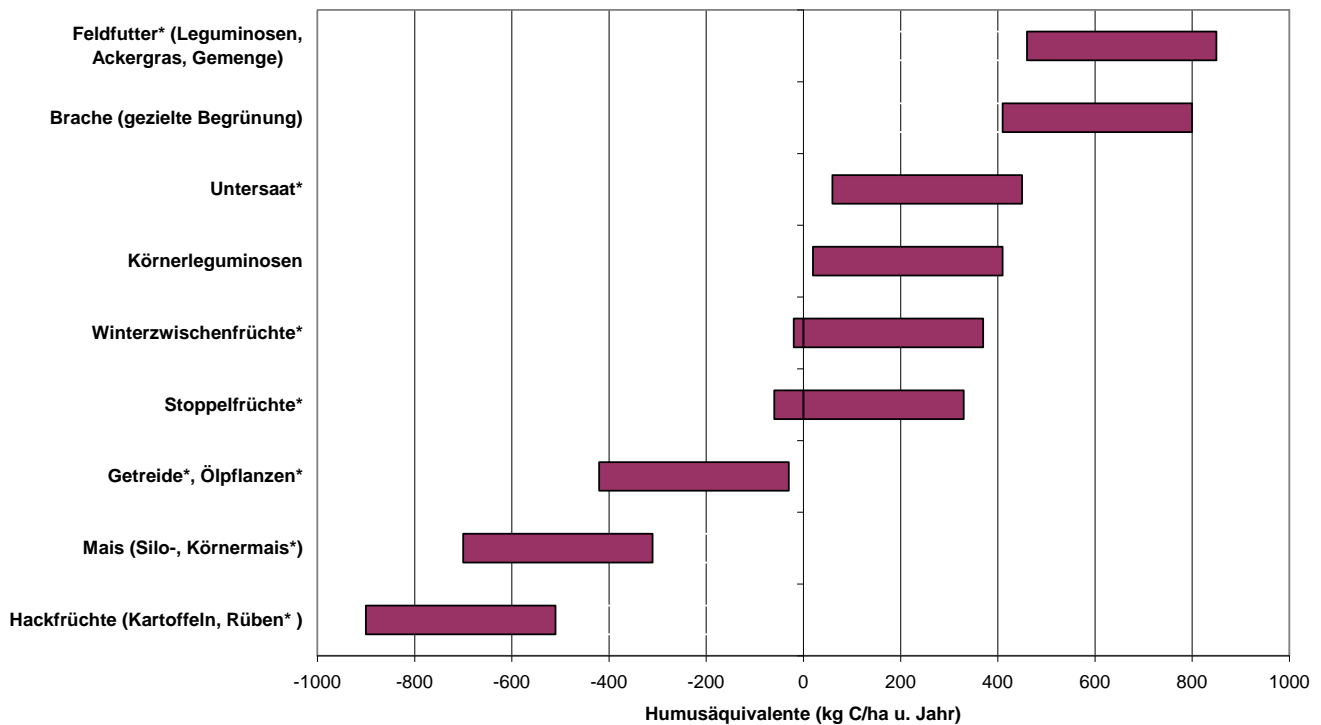


Abb. 3: Bandbreite der Humifizierungskoeffizienten der Fruchtarten (\* Koppelprodukte bzw. Aufwuchs abgefahren)



**Abb. 4:** Unter Kurzumtriebs-Plantagen wird gewöhnlich eine günstige Humusentwicklung erwartet, zur Berechnung fehlen jedoch noch abgesicherte Humifizierungs-Koeffizienten.

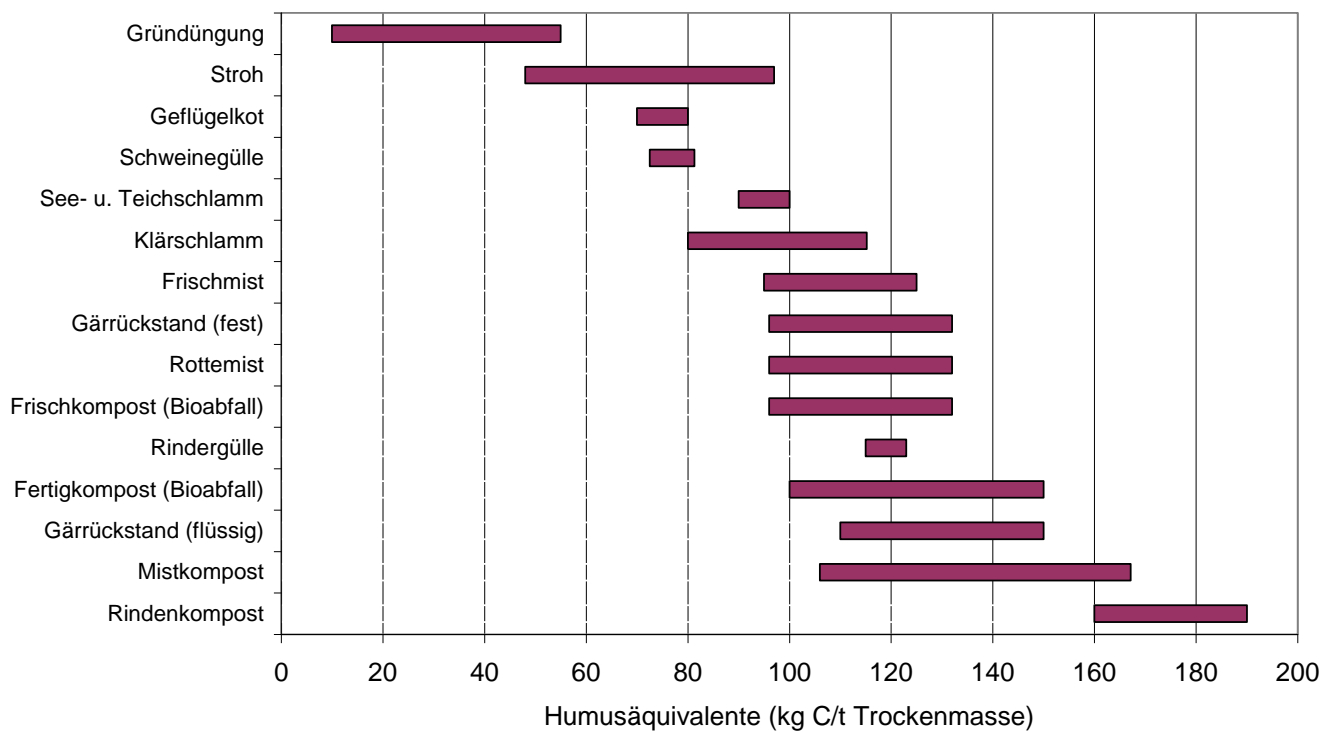
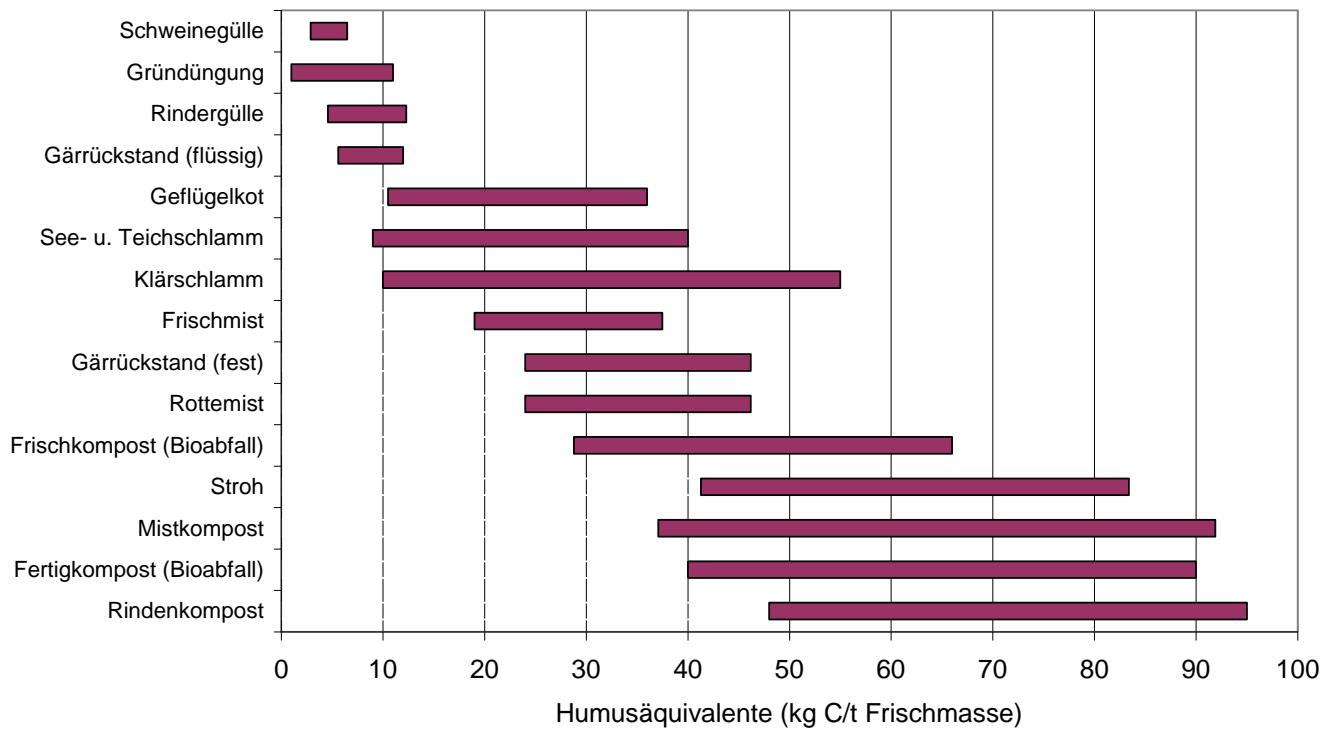
Quelle: Grunert, LfULG

### **Einfluss der organischen Materialien**

Die auf den Betrieben verfügbaren oder von außen zugeführten organischen Materialien weisen eine stark unterschiedliche Humuswirkung auf, die ebenfalls durch Humifizierungskoeffizienten dargestellt werden kann (Abb. 5). Auf Frischmasse (FM) bezogen kommt den Komposten und dem Stroh eine relativ hohe Bedeutung zu, während die Humifizierung je aufgebrachter Gewichtseinheit bei den Flüssigmisten sowie bei der Gründüngung am geringsten ist. So muss mit den Flüssigdüngern eine um bis zu zehnfach höhere Menge 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 Humuswirkung angenommen werden kann als bei kleineren Zufuhrmengen.

In Bezug auf die ausgebrachte Trockenmasse (TM) verbleiben bei der Gründüngung sowie meistens auch beim Stroh nur geringe Mengen als Humus im Boden zurück. Dagegen weisen wiederum die verschiedenen Kompostarten sowie auch Gärrückstände und Stalldung bei stetiger Zufuhr eine hohe Humusanreicherung im Vergleich zur TM-Zufuhr auf. Bei der Auswahl eines entsprechenden Düngers sollten neben betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten auch diese Zusammenhänge berücksichtigt werden, wenn die Einrichtung eines neuen Betriebszweiges ansteht, ein Zukauf erfolgen muss oder lange Wegstrecken zu den Ackerflächen zu bedenken sind.

Folgende Rangfolge der Reproduktionsleistung organischer Materialien kann formuliert werden: Kompost > Stalldung > Gülle > Stroh > Gründüngung. Die ausgewiesenen Gärrückstände beziehen sich vor allem auf Produkte aus der Vergärung von Rindergülle. Für die Vergärung pflanzlicher Substrate liegen bisher noch keine verlässlichen Koeffizienten vor. Sie dürften auf TM-Basis zwischen Gärrückstand (flüssig) und Klärschlamm einzuordnen sein. Die ausgewiesenen Beträge sind daher als vorläufige Werte anzusehen.



**Abb. 5: Rangfolge und Variationsbreite der Humusreproduktion der organischen Materialien (oben: Angabe i. d. Frischmasse; unten: Angabe i. d. Trockenmasse)**



### Bodenuntersuchung und Humusbilanzierung

Zur Bestimmung der Humusversorgung können Methoden der Bodenuntersuchung und der Humusbilanzierung angewendet werden. Durch die Bodenuntersuchung auf die Gehalte an  $C_{org}^{1)}$  und  $N_t^{2)}$  sowie das C/N-Verhältnis des Bodens werden Informationen über die allgemeine Höhe der Humusgehalte und der -qualität des Standortes ermittelt. Zur Kenntnis des Versorgungsgrades und der zeitlichen Entwicklung der Humusgehalte sind Bodenuntersuchungen allerdings meistens nicht das richtige Mittel, da selbst bei jährlichen Analysen auf Grund der hohen Schwankungsbreite und relativ langsamen Veränderungen der Gehalte erst nach 10 Jahren ein einigermaßen sicherer Trend abgeleitet werden kann. Für die 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 Verwendung von Schlagkarteiaufzeichnungen können zu erwartende Veränderungen des Versorgungsgrades mit organischer Substanz und der Humusgehalte des Bodens direkt aus der aktuellen Bewirtschaftung der Ackerflächen abgeleitet werden (siehe Abb. 6).

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

Abb. 6: Das Prinzip der Humusbilanzierung

### Erstellung einer Humusbilanz

Die Genauigkeit von Bilanzierungsmethoden ist inzwischen mehrfach an den Ergebnissen vieler Dauerversuche aus Mitteleuropa überprüft worden. Dabei hat sich herausgestellt, dass Methoden, bei denen Merkmale des Standortes berücksichtigt werden können, deutlich bessere Ergebnisse zeigten als Methoden, bei denen das nicht möglich ist. Entsprechend den Jahrzehnte langen Erfahrungen bei der Entwicklung von Verfahren zur Stickstoff- und Grunddüngung sind daher auch in dieser Arbeit standortangepasste Methoden zur Humusbilanzierung eingesetzt worden. Erläuterungen zur Anwendung der Methoden sowie die zu verwendenden Humifizierungskoeffizienten und das VDLUFA-Bewertungssystem für die Bilanzierungsergebnisse können dem Internet entnommen werden: <http://orgprints.org/13626/>.

Für die Erstellung von Humusbilanzen ist es zunächst erforderlich, aus einer tabellarischen Aufstellung (Tab. 1) die Standortgruppe (STG) auszusuchen, die mit den Standortgegebenheiten der Ackerfläche, des Betriebes oder der Region am besten übereinstimmt. Ist man sich nicht sicher, welche Werte zutreffen, 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 sowie für einige Gruppen auch das C/N-Verhältnis des Bodens und die klimatische Einstufung (Niederschläge, Lufttemperatur, Höhenlage) erforderlich.

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

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

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

\*= Ton + Feinschluff

Die nachfolgenden Angaben können in der Regel aus Schlagkarteiaufzeichnungen entnommen werden. Es erfolgt die Auswahl der Fruchtarten (der Fruchtfolge), die Festlegung des mittleren Ertragsniveaus der Fruchtarten sowie der anfallenden Koppelprodukte (Stroh-, Blattmenge) mit Hilfe der Hauptprodukt-/Nebenprodukt-Verhältnisse (z. B. Korn-/Stroh-Verhältnis bei Getreidearten). Danach erfolgt die Auswahl der Art und Menge der verabreichten organischen Düngung. Die Menge an anfallenden Gärresten kann unter Angabe der Substraterträge und der sog. „Fugatfaktoren“ (Tab. 2) mit folgender Gleichung berechnet werden:

<b>FM-Substratmenge (netto)</b>	<b>x</b>	<b>Fugatfaktor</b>	<b>=</b>	<b>FM-Gärrestmenge</b>
Mais: 50 t/ha	x	0,76	=	38 t/ha

Für die Auswahl der Koeffizienten der organischen Materialien (niedrig, mittel, hoch) sollten die Werte Verwendung finden, die für die Düngungshöhe im Durchschnitt der Fruchtfolge zutreffen. Analog zu den Nährstoffversorgungsklassen sind die Stufen des A-E-Bewertungssystems so ausgerichtet, dass bei Einhaltung der anzustrebenden Versorgungsgruppe C eine ausgeglichene Humuswirtschaft erreicht wird, durch die standort- und bewirtschaftungstypische Humusgehalte und weitgehend optimale Pflanzenerträge gewährleistet werden können.

**Tab. 2: Fugatfaktoren zur Berechnung der Gärrestmengen aus einigen Substraten (t FM-Gewichtseinheit bzw. t FM/ha)**

Gärsubstrat	Fugatfaktor	Gärsubstrat	Fugatfaktor	Gärsubstrat	Fugatfaktor
Festmist frisch	0,93	Rübenblattsilage	0,90	Kleegrass	0,90
Trockenkot (Geflügel)	0,76	Corn-Cob-Mix	0,45	Rotklee	0,88
Maissilage	0,76	Zuckerrüben	0,80	Wiesengras	0,87
Grassilage	0,75	Futterrüben	0,90	Raps (Ganzpflanze)	0,90
Ganzpflanzensilage (Getreide)	0,75	Kartoffeln	0,90	Stroh	0,60
Lieschkolbensilage	0,63	Grünmais	0,80	Wiesenheu	0,48

Quelle: LfULG

An einem Beispiel der Standortgruppe 5 (STG 5 ≈ vergleichbar mit den Ergebnissen der unteren Werte der VDLUFA-Methode) soll der Rechengang erläutert werden (W.-Weizen-Anbau, Düngung mit Schweinegülle, Strohzufuhr; Humifizierungskoeffizienten siehe: <http://orgprints.org/13626/>):

■ Standortmerkmale:	sandiger Lehm, >8,5 °C	= STG 5
■ Fruchtart:	W.-Weizen 8,0 t/ha Kornertrag	= -280 kg C/ha
	6,4 t/ha Stroh × 41,3 kg C/ha	= 264 kg C/ha
■ Organische Düngung:	35 m <sup>3</sup> /ha Schweinegülle × 5,8 kg C/m <sup>3</sup>	= 203 kg C/ha
■ Humusbilanz:		= <u>187 kg C/ha</u>
■ Einstufung Versorgungsgruppe:		= D

### Prinzip des Humusumsatzes

Aus Beobachtungen ist bekannt, dass nach bedeutenden Änderungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen zunächst deutliche und in den folgenden Jahren dann immer geringer werdende Einflüsse auf die Humusgehalte festzustellen sind. Bei Annahme einer jährlich gleichbleibenden Zufuhr an z. B. Stallmist kommt es daher nicht zu einer stetigen Anreicherung an resistenten Humusformen, wie man bisher angenommen hat. Sondern es erfolgt eine von Jahr zu Jahr geringer werdende Anreicherung an Humus (Abb. 7). Hierbei verhält sich die abgebaute Menge proportional zum gesamten Vorrat an Humus im Boden. Bei Zufuhr bzw. Vorhandensein einer hohen Menge an organischer Substanz erfolgt somit auch ein hoher Abbau. Nach einer Zeitperiode von ungefähr 20 – 30 Jahren steigen die Humusgehalte jedoch nicht weiter an. Das Ausmaß der Anreicherung ist abhängig vom Humifizierungskoeffizienten und der ausgebrachten Substratmenge. Danach wird ein Gleichgewicht erreicht, wobei die Zufuhrmenge an Stallmist dann genau der Menge an über die Mineralisation wieder abgebauter organischer Substanz entspricht. Zu diesem Zeitpunkt ist die organische Substanz des Stalldunges aus dem ersten Applikationsjahr vollständig abgebaut worden.

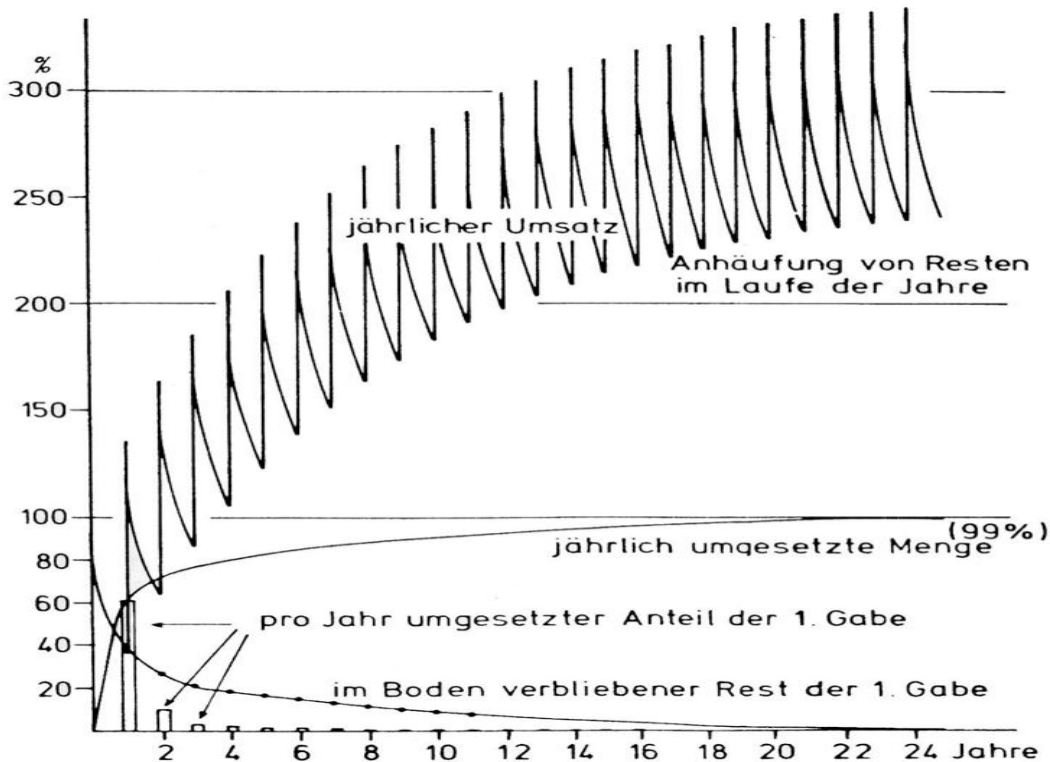
Die Ergebnisse der hier angewendeten Methode zur Humusbilanzierung sind daher im Allgemeinen folgendermaßen zu interpretieren. Eine Düngung von z. B. 10 t/ha Stallmist führt bei einem Humifizierungskoeffizient von 37,5 kg C/t zu einer Humusbilanz von 375 kg HÄQ/ha:

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

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<sub>org</sub>-Differenzen ausgewiesen werden. Unter Beibehaltung der postulierten Bewirtschaftung kann daher eine Erhöhung der C<sub>org</sub>-Gehalte um 0,21 % erwartet werden:

Humussaldo	x	Umrechnungs-Faktor	=	C <sub>org</sub> -Differenz
375 kg C/ha u. Jahr	x	0,0005672	=	0,21 % C <sub>org</sub>

Dieser Wert kann bei stetiger (jährlicher) Beibehaltung dieser Maßnahme für den Zeitpunkt veranschlagt werden, wenn das Gleichgewicht zwischen Zufuhr und Abbau in etwa erreicht wird. 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<sub>2</sub>) in die Atmosphäre, die freiwerdenden Nährstoffe (N, P, S, etc.) können für die Ertragsbildung der angebauten Fruchtarten Verwendung finden.



Quelle: nach Sauerbeck (1985)

**Abb. 7: Anhäufung, Abbau und Umsatz nach jährlicher Zufuhr einer gleichbleibenden Menge an organischer Substanz im Boden (Erklärung siehe Text)**

### Untersuchte Anbaukonzepte und Ergebnisdarstellung

In Tabelle A1 (Anhang) werden neun verschiedene Standorte beschrieben, die zu sechs Standortgruppen (STG) komprimiert werden können. Sie umfassen die wichtigsten Boden- und Klimabedingungen Deutschlands. Für jede behandelte Fruchtart sind zunächst Anbaukonzepte erstellt worden, deren Ertragsniveau und Düngungshöhe mit Fest- und Flüssigdüngern entsprechend den abgebildeten Standortbedingungen festgelegt worden sind. 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 der Fruchtarten 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 Düngern wurden durchschnittliche ortsübliche Düngermengen angenommen.

# 3 Bilanzierungsergebnisse für einzelne Fruchtarten

Für die in Tabelle A1 (Anhang) aufgeführten neun Standorte wurden zunächst Humusbilanzen für die einzelnen Fruchtarten erstellt. Vereinfacht ausgedrückt nimmt die Umsetzung an Humus sowie die Bodenbonität und Ertragsfähigkeit der Fruchtarten von STG 1 nach STG 6 zu (Standorte 1 – 6). Bei hoher Umsetzungsaktivität erfolgt von einer zugeführten Menge an organischer Substanz die geringste Humusreproduktion und das höchste Ertragspotenzial (und anders herum). Es kommt zu einer Abnahme der Humussalden trotz steigender Ernte- und Wurzelreste, weil der Humusumsatz überproportional zunimmt. Auch in Regionen mit hohen Umgebungstemperaturen kommt es zu einer geringeren Humusreproduktion (STG 3, 5). Die Schwarzerden, Tonböden und Böden der Höhenlagen werden auf der rechten Seite der Tabelle als „Sonderstandorte“ extra ausgewiesen (Standorte 7 – 9). Auf Grund weiter C/N-Verhältnisse im Boden und ungünstiger Klimlagen ist der Humusumsatz dieser Standorte geringer.

## Getreide und Raps

Beim Anbau von Getreidearten treten heute Anbaukonzepte mit Ganzpflanzenverwertung (Energieerzeugung, Ganzpflanzensilage, Körnerproduktion inkl. Strohverkauf) zusehends in den Vordergrund. Bei diesen Fruchtarten werden dann entsprechend der Standortgruppe negative Humussalden zwischen -30 kg C bis -420 kg C/ha vorgefunden (Tab. A1, Nr. 1, 6). Die zugeführten Wurzel- und Stoppelreste von Getreide und auch von Raps reichen somit alleine nicht aus, um den durchschnittlichen Humusabbau der Standorte auszugleichen (siehe Abb. 8). Durch eine Zufuhr organischer Flüssigdünger (Gülle) können die Humusbilanzen verbessert werden (z. B. Nr. 5 u. 7 in Tab. A1).

Oft ist der Stroheinsatz für die Humusbilanz von großer Bedeutung, wobei eine erhebliche Ertragsabhängigkeit auf den Standorten zu bedenken ist. Bei Annahme standortüblicher Erträge (z. B. von 4,0 t/ha Getreide-Korn auf den leichten Böden bis 9,0 t/ha auf den besten Böden), werden keine großen Unterschiede in den Humussalden zwischen den leichten und schweren Böden berechnet. Bei Belassung des Strohs auf der Fläche – im Rapsanbau bisher gängige Praxis – werden dann bereits deutlich positive Salden ermittelt, die auch bei Annahme noch geringerer Humifizierungskoeffizienten für das Stroh erhalten bleiben dürften (Tab. A1, Tab. Nr. 4, 8).

Lediglich auf den Schwarzerden, den Tonböden sowie den Bergstandorten kommt es durch die Belassung des Strohs zu einer ausgeprägten Humuswirkung. Auf diesen Standorten ist es wesentlich einfacher, ein ausreichendes Versorgungsniveau mit organischer Substanz aufrecht zu erhalten. Diese Böden sind auch deswegen bereits durch erhöhte Humusgehalte gekennzeichnet.

## Mais und Hackfrüchte

Von den aufgeführten Fruchtarten kommt es besonders beim Anbau Silomais auf allen Standorten zu deutlich negativen Humussalden (Tab. A1, Nr. 15; Abb. 8). Erfolgt an Stelle des Silomais ein Anbau von Zuckerrüben oder Kartoffeln, die sehr geringe Wurzel- und Erntereste aufweisen, so sind nochmals um 200 kg C/ha niedrigere Humusbilanzen vorzufinden (Tab. A1, Nr. 20, 23). Wird demgegenüber Körnermais angebaut, so können die negativen Salden bereits erheblich abgemildert werden, wenn das Stroh auf dem Feld verbleibt (Tab. A1, Nr. 12). Auf Grund der vergleichsweise engeren C/N-Verhältnisse sollten auch für Maisstroh eher niedrigere Humifizierungskoeffizienten angenommen werden.



Abb. 8a Quelle: Kolbe, LfULG



Abb. 8b Quelle: Kolbe, LfULG

**Abb. 8a, b: Trotz ähnlich hoher EWR-Mengen zwischen 16 – 29 dt TM/ha weisen Silomais (Abb. 8a) deutlich und Getreide (Abb. 8b: W.-Weizen ohne Stroh) geringfügig negative Humussalden auf.**

Durch eine an das jeweilige Ertragsniveau angepassten Güllegabe kommt es bei allen aufgeführten Früchten zu einer z. T. deutlichen Verbesserung der Humussalden (Tab. A1, Nr. 16, 24). Das trifft auch bei Rückführung der Gärrückstände aus der Biogasvergärung von z. B. Maissilage zu (Nr. 17). Die Bestimmung der Humuswirkung von pflanzlichen Gärresten ist noch mit Unsicherheiten verbunden. Die Werte sollten daher eher nach unten korrigiert werden. Mit ansteigenden Erträgen werden auch höhere Mengen an Gärresten erzeugt. Das unterschiedlich hohe Ertragsniveau und die entsprechend angepassten Düngemengen sind also bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen, denn hierdurch kommt es auf lange Sicht gesehen zu einem weitgehenden Ausgleich der Humussalden zwischen den Standorten.

### Zwischenfrüchte, Körnerleguminosen und Ackerfutter

Auch durch einen Anbau von Zwischenfrüchten als Untersaat, Winterzwischenfrucht oder Stoppelsaat inkl. Gründüngung der Aufwüchse können die Humussalden aufgebessert werden (Tab. A1, Nr. 2, 9, 18; siehe Abb. 9). Auf den umsetzungsstarken Standorten reichen auch diese Kombinationen oft noch nicht aus, um ausgeglichene Salden zu gewährleisten. Bereits durch eine mäßig hohe Gabe von z. B. Stalldung oder Kompost werden die Humussalden bei allen Fruchtarten auf z. T. stark positive Werte angehoben, was den Wert der festen organischen Dünger zur Humusreproduktion unterstreicht (Tab. A1, Nr. 3, 10, 19, 25).



**Abb. 9: Zwischenfrüchte weisen oft höhere Mengen an Ernte- und Wurzelrückstände auf als oberirdisch an Pflanzensubstanz zu erkennen ist und tragen auch aus Gründen der Bodenbedeckung und Bodenruhe zu einer positiven Humusbilanz bei. Zur Humuswirkung sind Wurzelreste generell besser geeignet als die oberirdische Biomasse.**

Quelle: Pößneck, LfULG

Auf allen Standorten können positive Salden durch Anbau von Körnerleguminosen berechnet werden. Hierbei wird allerdings der Verbleib des Strohs mit einbezogen (Tab. A1, Nr. 26). Die höchste Anreicherung an organischer Substanz gelingt aber erst durch den Anbau verschiedener Formen an Futterleguminosen und Ackergräsern besonders bei mehrjährigem Anbau oder in Form der begrünter Stilllegung (Nr. 27 – 30). Diese positiven Salden der aufgeführten Früchte und Düngungsregime können dann für defizitäre Kulturen der Fruchtfolge gutgeschrieben werden (siehe Abb. 10).



Abb. 10a Quelle: Stahl, LfULG



Abb. 10b Quelle: Duan

**Abb. 10a, b: Die begrünte Brache und Flächenstilllegung (Abb. 10a) führt zu vergleichbar positiven Wirkungen auf Bodenruhe, Erosionsschutz und der Menge an Ernte- und Wurzelrückständen, wie es auch von mehrjährigem Feldfutter mit Ackergräsern, Klee und Luzerne (Abb. 10b) bekannt ist.**



# 4 Fruchtfolgebeispiele

Die Humusbilanzen wurden zunächst nur für einzelne Fruchtarten berechnet, sie sollten aber immer im Zusammenhang mit der durchschnittlichen Anbauabfolge der Fruchtarten (Fruchtfolge) gesehen werden. Aus diesem Grund werden verschiedene Fruchtfolgen vorgestellt, wobei nachfolgend genannte Schwerpunkte der Betriebsgestaltung untersucht worden sind:

- Anbau von Körnerfrüchten (Getreide, Raps, Körnermais) als Marktfruchtbetrieb ohne Viehhaltung bzw. mit unterschiedlich intensiver Schweinehaltung
- Marktfruchtbetriebe mit steigender Anbaukonzentration verschiedener Hackfrüchte, Schwerpunkt Kartoffeln
- Anbau von Silomais in Energiefruchtfolgen sowie Rinder- und Milchviehhaltung.

## Fruchtfolgen mit Körnerfrüchten und Schweinehaltung

In den Fruchtfolgen F1 – F9 der Tabelle 3 wurden viehlose Betriebe mit Anbau von Körnerfrüchten dargestellt. Bei den Fruchtfolgen F10 – F14 wird in den Getreidebau eine organische Düngung mit steigender Intensität aus der Schweinehaltung integriert. Auch in dieser Tabelle sind von links nach rechts bis zum Standort 6 (STG 6) die Böden entsprechend steigender Bonität und deutlich ansteigender Ertragsfähigkeit ausgewiesen. Die Standorte 7 – 9 auf der rechten Seite repräsentieren die Schwarzerden, Tonböden und Böden der Höhenlagen (Standortbeschreibung siehe Tab. A1).

Ein 100%iger Getreideanbau mit verschiedenen Arten und Abfuhr des gesamten Strohs führt zwar auf allen Standorten zu negativen Humussalden. Diese Unterversorgung mit organischer Substanz ist aber je nach Standort verschieden hoch ausgeprägt (Tab. 3, F1). In Regionen mit höheren Durchschnittstemperaturen findet ein etwas deutlicherer Abfall der Humussalden statt (Standorte 3, 5) als in Regionen mit niedrigeren Temperaturen (Standorte 2, 4). Während auf den leichten und mittleren Böden im gemäßigten Klimabereich noch die VDLUFA-Versorgungsstufe B aufrecht erhalten werden kann, ist dies im Temperaturbereich über 8,5 °C nicht mehr der Fall. Auf diesen Standorten sowie besonders auf den schluffigen Lehmen (Standort 6, STG 6), die zudem durch sehr enge C/N-Verhältnisse gekennzeichnet sind, ist bei Abfuhr aller Strohaufkommen ein Abfall der Humussalden bis auf das Niveau der Versorgungsstufe A zu verzeichnen. In dieser Fruchtfolge ist zu befürchten, dass nach langer Zeit die Humusgehalte absinken werden.

Auf den ganz leichten Sandböden mit weiten C/N-Verhältnissen (Standort 1), den Schwarzerden (7) und den Bergstandorten (9) mit meistens schwereren Böden sowie in abgeschwächter Form auch auf den Tonböden (8) ist der Abfall am geringsten ausgeprägt (Tab. 3, F1). Auf diesen Standorten können durch die Fruchtfolge F1 meistens sogar noch die unteren Bereiche der Versorgungsstufe C gewährleistet werden. Auf Grund der relativ geringen Abbauraten der organischen Substanz sind diese Standorte gleichzeitig durch verhältnismäßig hohe Humusgehalte gekennzeichnet. Zur Aufrechterhaltung der Versorgung mit organischer Substanz ist daher kein hoher Aufwand erforderlich, selbst dann nicht, wenn die gesamten Strohaufkommen abgefahren werden.

Die nächsten Fruchtfolgen (Tab. 3, F2 – F4) sind durch einen 25%igen Verbleib des Strohs auf der Fläche gekennzeichnet. Hierdurch kann die Situation der Humusversorgung auf den Sonderstandorten 7 – 9 soweit verbessert werden, dass durchweg positive Humussalden der Versorgungsstufe C gesichert werden. Auf den am meisten verbreiteten Standorten mit leichten bis schweren Böden (Standorte 1 – 5) ist jedoch eine zufriedenstellende Versorgungslage mit organischer Substanz im Getreideanbau nur dann zu erreichen, wenn in etwa 50 % des Strohs auf der Fläche verbleibt (Tab. 3, F5). Auf dem umsetzungsintensiven Standort 6 sollte demgegenüber besser 75 % des Strohs nicht abgefahren werden (Tab. 3, F6 – F7) oder es besteht sogar gar kein Abfuhrpotenzial, um die Versorgungsstufe C sicher aufrechterhalten zu können (F8). Die Abfuhrpotenziale an Getreidestroh sind also nach diesen Ergebnissen je nach Anbaukonzept und Standort als sehr unterschiedlich hoch anzusehen (siehe Abb. 11).



Abb. 11a Quelle: Kolbe, LfULG



Abb. 11b Quelle: Kolbe, LfULG



Abb. 11c Quelle: Kolbe, LfULG

Abb. 11a – c: Das Strohaufkommen der Fruchtarten ist stark vom Ertragspotenzial des Standortes abhängig. In der Summe erfolgt zudem eine Angleichung der Humuswirkung, da die Getreidearten (Abb. 11a: Weizen) relativ niedrige Stroherträge mit weiten C/N-Verhältnissen, sowie Winteraps (Abb. 11b) und Körnermais (Abb. 11c) hohe Stroherträge mit meistens engeren C/N-Verhältnissen aufweisen.

Der Verbleib eines hohen Anteils des Strohs der Anbaukonzepte F6 – F9 in Tabelle 3 führt auf den meisten Standorten zu einer tendenziellen Überversorgung mit organischer Substanz. Insbesondere auf den Sonderstandorten 7 – 9 kann bereits die Versorgungsstufe E erreicht werden, wodurch die verhältnismäßig hohen  $C_{org}$ -Gehalte dieser Böden noch weiter angehoben werden können. Verschiedene Formen des Anbaus von Zwischenfrüchten (Tab. 3, F7) können zu einer weiteren Verbesserung der Versorgungslage mit organischer Bodensubstanz beitragen, die allerdings auf den umsetzungsstarken Regionen (STG 3, 5, 6) geringer ausgeprägt ist als auf den anderen hier ausgewiesenen Standorten. Die Humuswirkung des Zwischenfruchtanbaus ist also auf den umsetzungsaktiven Standorten am geringsten.

Die Versorgung mit organischer Substanz kann auf den Betrieben noch weiter zunehmen, die in eine Veredlungswirtschaft investiert haben. Dies wird in den Fruchtfolgen F10 – F14 (Tab. 3) durch eine steigende Schweineproduktion bis auf ungefähr 3,6 GV/ha (unabhängig von bestehenden gesetzlichen Beschränkungen) veranschaulicht. Diese Betriebe führen Fruchtfolgen mit vorwiegender Getreideproduktion durch, wobei das Korn auch als Futter im eigenen Betrieb verwertet wird. Dagegen besteht keine Verwendungsmöglichkeit für das Stroh, da sie meistens Flüssigmistsysteme betreiben und die anfallende Gülle ebenfalls im eigenen Betrieb verwenden.

In den Fruchtfolgen dieser Betriebe kommt es bei vorwiegendem Getreideanbau und relativ geringem Anfall an Gülle aus 0,3 – 0,7 GV/ha Schweineproduktion zu einer weiteren deutlichen Anhebung der Versorgung mit organischer Substanz (Tab. 3, F10, F11). Dies trifft besonders dann zu, wenn das Stroh aus dem Getreideanbau auf dem Acker verbleibt. Auf Dauer können günstige Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit erwartet werden. Auch die erosionsverringemde Wirkung der Strohaufgaben ist zu bedenken. Bei mittleren Viehbesatzstärken von bis zu 1,5 GV/ha (F12) werden dann durchweg hohe positive Humussalden auf allen Standorten erreicht, die den Versorgungsstufen D und E zugeordnet werden. In diesen Systemen werden bis zu 50 % der Flächen mit Gülle gedüngt. Eine bedarfsgerechte Düngung kann noch weitgehend aufrechterhalten werden.

**Tab. 3: Humusbilanzen (kg C/ha; Versorgungsgruppen<sup>1)</sup>) von Fruchtfolge-Beispielen mit unterschiedlichen Anteilen an Getreide, Raps und Körnermais sowie Schweinehaltung**

Fruchtfolge	Nummer (s.Tab.A1)	Standort / STG <sup>2)</sup> : Anbauverfahren	1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1
			Leichte Böden	Mittlere bis	schwere Böden	Schwarz-erden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.			
F1 0,0 GV/ha	1	100 % Getreide – Stroh	-30 C	-130 B	-230 A	-180 B	-280 A	-420 A	-30 C	-130 B	-30 C
F2 0,0 GV/ha	12	75 % Getreide – Stroh 25 % K.-Mais + Stroh	-23 C	-185 B	-207 A	-152 B	-247 A	-377 A	14 C	-97 B	-18 C
F3 0,0 GV/ha	4	75 % Getreide – Stroh 25 % Getr. + Stroh	24 C	-62 C	-149 B	-85 B	-171 B	-298 A	92 C	-21 C	58 C
F4 0,0 GV/ha	8	75 % Getr. – Stroh 25 % W.-Raps + Stroh	43 C	-44 C	-128 B	-65 C	-149 B	-276 A	114 D	1 C	86 C
F5 0,0 GV/ha	8	50 % Getr. – Stroh 25 % Getr. + Stroh 25 % W.-Raps + Stroh	97 C	25 C	-47 C	31 C	-41 C	-154 B	237 D	110 D	174 D
F6 0,0 GV/ha	4	25 % Getr. – Stroh 75 % Getreide + Stroh	133 D	74 C	15 C	105 D	46 C	-53 C	337 E	196 D	235 D
F7 0,0 GV/ha	4	25 % Getr. – Stroh + W.-Zwischenfr. + GD 75 % Getr. + Stroh	241 D	158 D	73 C	176 D	92 C	-42 C	445 E	280 D	343 E
F8 0,0 GV/ha	4	100 % Getreide + Stroh	187 D	142 D	96 C	200 D	155 D	69 C	459 E	305 E	323 E
F9 0,0 GV/ha	9	75 % Getr. + Stroh 25 % W.-Raps + Stroh + Stoppelfr. + GD ohne S.-Gülle	300 E	230 D	161 D	278 D	209 D	88 C	576 E	397 E	445 E
F10 0,3 GV/ha	4	25 % Getr. + Stroh + 1/2 S.-Gülle 75 % Getr. + Stroh	198 D	153 D	114 D	218 D	180 D	94 C	484 E	330 E	341 E
F11 0,7 GV/ha	4	25 % Getr. + Stroh + S.-Gülle									
	(2)	25 % Getr. + Stroh + W.-Zwischenfr. + GD aus Nr. 2									
	8	25 % Getr. + Stroh 25 % W.-Raps + Stroh	336 E	267 D	211 D	328 E	274 D	153 D	640 E	461 E	495 E
F12 1,5 GV/ha	12	50 % Getr. + Stroh + S.-Gülle 25 % K.-Mais + Stroh									
	(2)	25 % Getr. + Stroh + W.-Zwischenfr. aus Nr. 2	292 D	214 D	169 D	277 D	227 D	103 D	590 E	415 E	428 E
F13 2,5 GV/ha	4	75 % Getr. + Stroh + S.-Gülle 25 % Getr. + Stroh + W.-Zwischenfr. + GD aus Nr. 2	361 E	291 D	263 D	380 E	353 E	232 D	720 E	541 E	540 E
F14 3,6 GV/ha	(2)	100 % Getr. + Stroh + S.-Gülle + 2mal W.-Zwischenfr. aus Nr. 2	491 E	396 E	358 E	487 E	450 E	294 D	879 E	675 E	685 E

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

Bei weiter ansteigender Gülledüngung wird das Aufkommen an organischer Substanz auf den Betrieben derart erhöht, dass fast durchweg E-Versorgungsgrade erreicht werden (Tab. 3, F13 – F14). Diese intensiven Schweinemastbetriebe sind dadurch gekennzeichnet, dass sie die anfallende organische Substanz aus dem Strohaufkommen und der Güllewirtschaft nicht mehr sinnvoll im eigenen Betrieb verwerten können. Die Situation kann besonders dann prekär werden, wenn die Anreicherungsphase mit organischer Substanz nach 20 – 30 Jahren Betriebsdauer beendet ist, weil dann die durchschnittlich zugeführten Nährstoffe aus der organischen Düngung auf Grund der erhöhten Mineralisation jedes Jahr auch wieder frei werden. Diese Nährstoffmengen können leicht das zur Ertragsbildung nötige Maß übersteigen und erhöhen durch Verlagerung und Auswaschung das Potenzial an Nährstoffverlusten. Auch werden in diesen Nutzungssystemen zusehends Probleme bei der Einhaltung gesetzlicher Vorgaben z. B. aus der Düngeverordnung auftreten.

In den nachfolgenden Abbildungen 12 und 13 wurden die berechneten Mittelwerte der Humusbilanzen zu dieser Fruchtfolge mit Getreideanbau und Schweineproduktion in absoluten und relativen Zahlenwerten graphisch dargestellt. Hierbei werden als Humuszehrer die Fruchtarten mit negativen Humifizierungskoeffizienten, sowie mit positiven Koeffizienten die humusmehrenden Früchte, das Stroh, die organischen Düngemittel und die Gründünger des Zwischenfruchtanbaus aufgeführt.

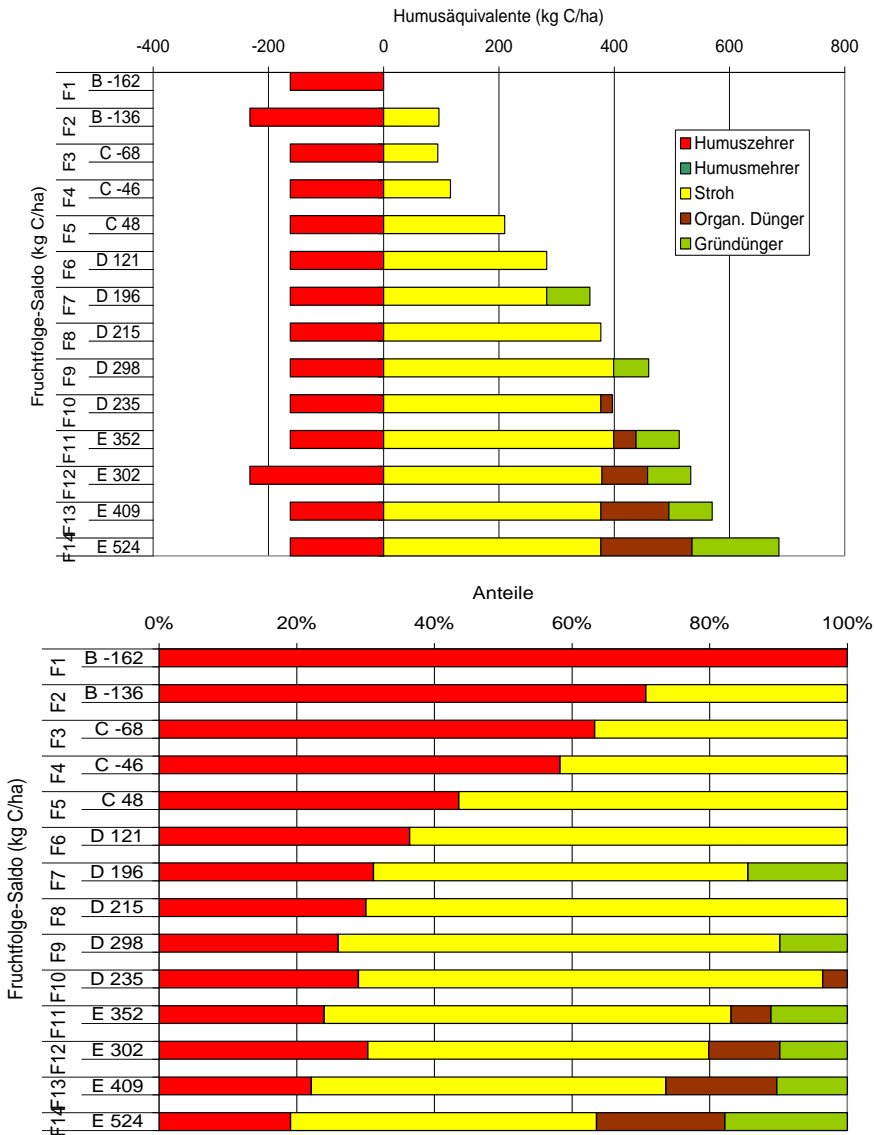
Günstige Kombinationen sind durch ein relativ ausgeglichenes Verhältnis zwischen den Humuszehrern auf der einen Seite und den humusmehrenden Komponenten auf der anderen Seite gekennzeichnet. Immer dann, wenn der Anteil an Humuszehrern ungefähr  $\frac{2}{3}$  der Gesamtwerte übersteigt, werden ungünstige Einstufungen der Versorgungsgruppen B (– A) ermittelt. Auf der anderen Seite wird in Folge eines steigenden Versorgungsgrades mit organischer Substanz die Gruppe D erreicht, wenn die Humuszehrer  $\frac{1}{3}$  des Gesamt-Versorgungsbereichs unterschreiten.

Nach diesen Ergebnissen können im Durchschnitt der Standorte (Abb. 12) ungefähr die Fruchtfolgen F3 – F6 als optimal ausgewiesen werden. Alle anderen Anbaukombinationen sind in zunehmendem Maß als ungünstig anzusehen, einerseits auf Grund von zu geringer und andererseits durch eine z. T. deutlich zu hohe Versorgung mit organischer Bodensubstanz. Auf den meisten Standorten wäre es daher für die intensiven viehhaltenden Betriebe sinnvoll, die Getreidefruchtfolgen durch Erhöhung des Humuszehreranteils entsprechend anzupassen oder das Stroh abzufahren und einer energetischen Verwertung zuzuführen.

In den Betrieben dient das Stroh auch dazu, den verfügbaren Stickstoff aus der Güllezufuhr kurzfristig zu binden. Es ist hierbei jedoch zu bedenken, dass bei insgesamt zu hoher Zufuhr es auf lange Sicht gesehen zu einer verstärkten Freisetzung an Stickstoff kommen kann. Durch die außerbetriebliche Strohverwertung kann die Versorgungslage je nach Standort um 217 – 489 kg C/ha entlastet werden (Fruchtfolge F8 in Beziehung zu F1), was die Bilanzen in Fruchtfolge F13 auf den meisten Standorten und in F14 auf einigen Standorten in der Weise verbessern könnte, dass die Gruppe E nicht mehr erreicht wird (Tab. 3, Abb. 12).

In Abbildung 13 wurden die humusmehrenden und -zehrenden Komponenten der neun Standorte als Mittelwerte über die Fruchtfolgen dargestellt. Es ist zu sehen, dass die humuszehrenden Fruchtarten neben den Gründüngern durch eine deutlich unterschiedliche Ausprägung auf den dargestellten Standorten gekennzeichnet sind. Den angebauten Fruchtarten kommt daher auf den Standorten eine unterschiedliche Bedeutung zu. Auf den Sonderstandorten 7 – 9 weisen mit 10 – 30 % die Humuszehrer verhältnismäßig geringe Anteile und die Gründüngung relativ hohe Anteile auf. Demgegenüber kommen den Humuszehrern auf den abbauintensiveren Standorten 3, 5 und 6 oft Werte von über 40 % zu, während die Gründüngung hier kaum von Bedeutung ist.

Im Durchschnitt der Getreidefruchtfolgen wurden keine humusmehrenden Hauptfrüchte angebaut und auch die organische Düngung hat nur eine untergeordnete Bedeutung (Abb. 13, Tab. 4). Im Durchschnitt beruhen 80 % der aufgeführten Komponenten auf dem Stroh, wodurch die Bedeutung des Nebenprodukts als humusmehrende organische Substanz unterstrichen wird. Mit Zunahme der Bonität des Bodens nimmt zudem die Wirkung des Strohs von Standort 1 nach Standort 6 noch zu, während die Vorzüglichkeit des Anbaus von Zwischenfrüchten und der Gründüngung abnimmt. Die humusmehrende Wirkung der Gründüngung ist daher auf den tätigen Böden der Standorte 5 und 6 wesentlich geringer ausgeprägt als auf den leichten Böden der Standorte 1 und 2. Die mittleren Böden und die Sonderstandorte weisen dagegen durchschnittlich hohe Werte auf.



**Abb. 12: Humusmehrende und -zehrende Komponenten der Fruchtfolgen mit Getreide und Schweinehaltung in absoluten (oben) und relativen (unten) Werten im Durchschnitt der dargestellten Standorte (Fruchtfolgen F1 – F14: siehe Tab. 3; B – E = Humusversorgungsstufen)**

Nach diesen Ergebnissen kann eine intensive Schweineproduktion auf diesen umsetzungsstarken Standorten viel leichter etabliert werden, als auf den anderen Standorten. Diese Regionen sind deshalb besonders prädestiniert, weil die Humuszehrer (und das Stroh bei Abfuhr) eine relativ höhere Bedeutung aufweisen. Gleichzeitig sorgt das hohe Ertragspotenzial dieser Böden für eine sinnvolle Nutzung der anfallenden Mengen an organischen Düngern (Gülle).

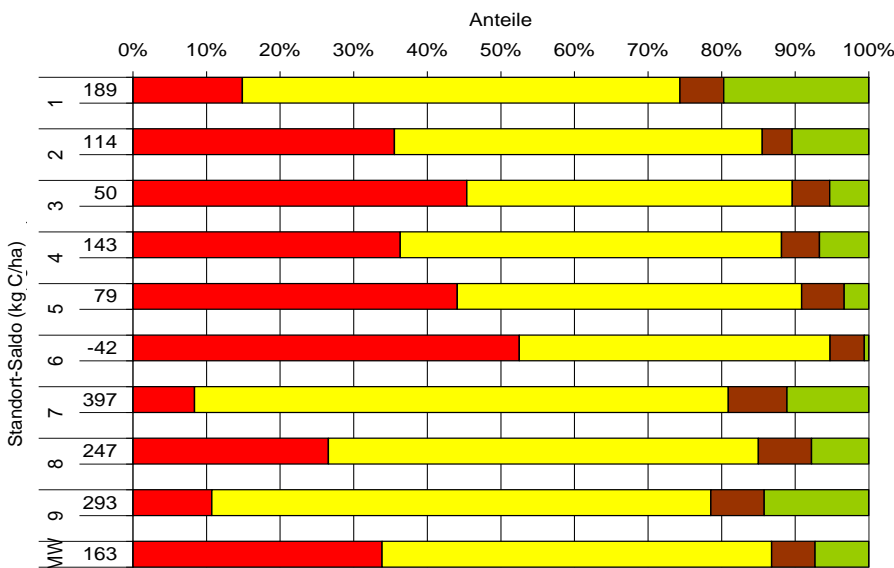
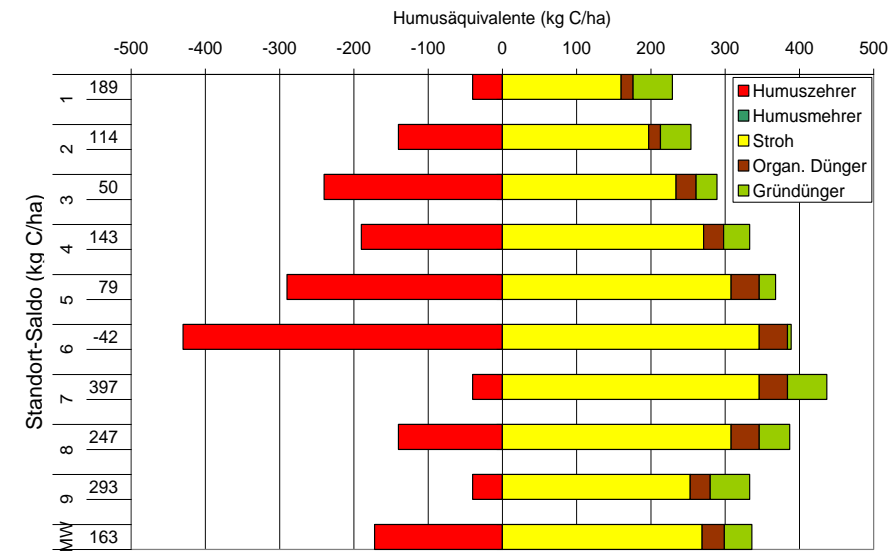


Abb. 13: Humusmehrende und -zehrende Komponenten der ausgewiesenen Standorte in absoluten (oben) und relativen (unten) Werten im Durchschnitt der Fruchtfolgen mit Getreide und Schweinehaltung (Standorte 1 – 9: siehe Tab. 3; MW = Mittelwert)



Quelle: Grunert, LfULG

Abb. 14: In viehlosen Betrieben ist Stroh meistens die wichtigste humusmehrende Komponente um die Humusversorgung und Bodenfruchtbarkeit zu sichern. Die Abfuhrmenge ist vom Standort abhängig, wonach auf tätigen Lehmböden kaum ein Potenzial besteht und auf den Schwarzerden und Bergstandorten auch mehr als 50 % des Strohaufkommens außerbetrieblich verwertet werden können.

In diesen getreidereichen Anbausystemen kommt dem Stroh auf allen Standorten eine entscheidende Rolle zu. In viehlosen Betrieben ist es oft die einzige humusmehrende Komponente und trägt damit deutlich zur Absicherung der Humusversorgung bei. Im Durchschnitt der Standorte ist eine Abfuhr und außerbetriebliche Verwertung von mehr als 50 % des Strohanfalls meistens nicht zu befürworten (siehe Abb. 14). Erst bei Einbringung weiterer humusmehrender Komponenten (Zwischenfruchtanbau, Gründüngung, organische Dünger) kann ein höherer Anteil abgefahren werden. In Systemen mit intensiver Viehhaltung auf Güllebasis kann demgegenüber die außerbetriebliche Verwertung des Strohs entscheidend zur Entlastung des Humussaldos beitragen, damit auf Dauer keine deutliche Überversorgung entstehen kann (Versorgungsgruppe E).

**Tab. 4: Aufteilung der humusmehrenden Komponenten (%) auf den untersuchten Standorten im Durchschnitt der Getreidefolgen (Standorte 1 – 9: siehe Tab. 3)**

Standort (Nr.)	Humusmehrende Fruchtarten	Stroh	Organische Dünger	Gründünger	Summe
1	0	70	7	23	100
2	0	78	6	16	100
3	0	81	9	10	100
4	0	81	8	11	100
5	0	84	10	6	100
6	0	89	10	1	100
7	0	79	8	12	100
8	0	79	10	11	100
9	0	76	8	16	100
<b>Mittelwerte</b>	<b>0</b>	<b>80</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>100</b>

### Fruchtfolgen mit Hackfruchtanbau

Diese Anbauserie repräsentiert Marktfruchtbetriebe, die vor allem auf einen ausgedehnten Hackfruchtanbau gesetzt haben. Hier stehen Kartoffeln im Mittelpunkt des Anbaus (Tab. 5). Die Hackfrüchte werden bis auf 50 % der Fruchtfolge ausgedehnt. Es können auch andere Hackfrüchte, wie z. B. Zuckerrüben oder Fruchtarten des Feldgemüseanbaus mit vergleichbaren Humifizierungskoeffizienten zum Anbau kommen. In diesen Betrieben spielt der Getreideanbau oft eine untergeordnete Rolle, organische Düngemittel stehen aus dem Betriebskreislauf nicht zur Verfügung.

In den ersten Beispielen (Tab. 5, F1 – F3) steht die Kombination aus jeweils 25 % Kartoffeln und Zuckerrüben zur Bewertung an, wobei das Zuckerrübenblatt auf dem Feld verbleibt. Ein 50%iger Hackfruchtanbau, der durch einen weiteren 50%igen Anbau von Getreide mit Strohabfuhr in Kombination steht, führt auf allen hier dargestellten Standorten zu stark negativen Humusbilanzen der Versorgungsgruppe A (siehe Abb. 15). Bei Fortführung derartiger Anbausysteme wird es auf lange Sicht zu einer deutlich ausgeprägten Abnahme der Humusgehalte und der Bodenfruchtbarkeit kommen. Negative Auswirkungen sind hierdurch auch auf die Bodenstruktur, die Nährstoffbereitstellung und die Kationen-Austauschfähigkeit zu erwarten.

Auf einigen Böden, die zu keinem starken Humusabbau neigen (insbesondere Schwarzerden, Bergstandorte), ist demgegenüber bereits ein ordnungsgemäßer Anbau möglich, wenn das gesamte Stroh sowie das Rübenblatt auf dem Feld verbleiben (Tab. 5, F3) oder zumindest 25 % des Strohs nicht abgefahren und eine Winterzwischenfrucht in die Fruchtfolge eingebaut werden (F2).





Abb. 15a Quelle: Kolbe, LfULG



Abb. 15b Quelle: Kolbe, LfULG

**Abb. 15a, b: In Betrieben mit ausgedehntem Hackfruchtanbau (Beispiel Zuckerrübe) kann auf Grund der geringen Ernte- und Wurzelrückständen um 14 dt TM/ha und der Bodenlockerung bei den Pflanz- und Erntearbeiten die Humusbilanz leicht ins Minus rutschen.**

Auf den anderen Standorten (3 – 6) mit mittlerem und hohem Humusumsatz ist bei 50 % Hackfrüchten in der Fruchtfolge ein ordnungsgemäßer Anbau nur möglich, wenn zusätzliche organische Düngemittel eingesetzt werden. So könnten bereits durch einmalige Integration einer durchschnittlichen Stallmistgabe (von 25 – 40 t/ha) mit 700 – 1120 kg C/ha die Humussalden so deutlich angehoben werden (vgl. Tab. A1, Nr. 25: Kartoffeln), dass auf allen Standorten die Versorgungsstufe C erreicht wird (nicht abgebildet). Bei weiterer Ausdehnung des Hackfruchtanteils wäre auch eine zweite organische Düngung in der Fruchtfolge angebracht. Hierdurch kann eindrucksvoll die Bedeutung der festen organischen Düngemittel zur Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit bei intensivem Hackfruchtanbau veranschaulicht werden (siehe Abb. 16).



Abb. 16a Quelle: Grunert, LfULG



Abb. 16b Quelle: Pößneck, LfULG

**Abb. 16a, b: Die festen organischen Dünger Kompost (Abb. 16a) und Stallmist (Abb. 16b) eignen sich besonders gut zur Aufbesserung der Humussalden in den Fruchtfolgen. Auf Grund der hohen TM-Gehalte sind zudem die Transportkosten vergleichsweise niedrig.**

**Tab. 5: Humusbilanzen (kg C/ha; Versorgungsgruppen<sup>1)</sup>) von Fruchtfolgen mit Kartoffeln und anderen Hackfrüchten**

Fruchtfolge	Nummer (s.Tab.A1)	Standort / STG <sup>2)</sup> : Anbauverfahren	1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1
			Leichte Böden	Leichte Böden	Mittlere bis	schwere Böden	Schwarzerden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.		
F1	23	25 % Kartoffeln									
	22	25 % Z.-Rübe + Blatt	-242	-341	-440	-387	-484	-618	-228	-337	-245
	1	50 % Getr. – Stroh	A	A	A	A	A	A	A	A	A
F2	23	25 % Kartoffeln									
	22	25 % Z.-Rübe + Blatt									
	2	25 % Getr. – Stroh + W.-Zwischenfr. + GD									
4	25 % Getr. + Stroh	-79	-189	-299	-221	-329	-485	3	-144	-44	
			B	B	A	A	A	C	B	C	
F3	23	25 % Kartoffeln									
	22	25 % Z.-Rübe + Blatt	-134	-205	-276	-197	-266	-375	17	-119	-64
	4	50 % Getr. + Stroh	B	A	A	B	A	A	C	B	C
F4	23	25 % Kartoffeln									
	12	25 % K.-Mais + Stroh									
	2	25 % Getr. – Stroh + W.-Zwischenfr. + GD									
4	25 % Getr. + Stroh	20	-86	-187	-106	-212	-363	124	-25	59	
			C	B	B	B	A	A	D	C	
F5	23	25 % Kartoffeln									
	12	25 % K.-Mais + Stroh									
	4	50 % Getr. + Stroh	-34	-102	-164	-82	-149	-252	138	1	39
			C	B	B	B	B	A	D	C	
F6	23	25 % Kartoffeln									
	2	25 % Getr. – Stroh + W.-Zwischenfr. + GD									
	4	50 % Getr. + Stroh	67	-31	-129	-39	-137	-285	203	51	135
			C	C	B	C	B	A	D	C	
F7	23	25 % Kartoffeln	13	-46	-106	-15	-74	-173	217	76	115
	4	75 % Getr. + Stroh	C	C	B	C	C	B	D	C	D
F8	23	25 % Kartoffeln									
	8	25 % W.-Raps + Stroh									
	4	50 % Getr. + Stroh	32	-28	-85	6	-52	-151	239	98	142
			C	C	B	C	C	B	D	C	
F9	23	25 % Kartoffeln									
	4	75 % Getr. + Stroh + W.-Zwischenfr. aus Nr. 2	121	38	-47	56	-28	-162	325	160	223
	(2)		D	C	C	C	C	B	E	D	D
F10	23	25 % Kartoffeln									
	9	25 % W.-Raps + Stroh + Z.-Frucht + GD (ohne Gülle)									
	4	50 % Getr. + Stroh + 1/2 W.-Zwischenfr. aus Nr. 2	235	126	18	134	26	-143	442	251	345
			D	D	C	D	C	B	E	D	E
F11	24	25 % Kartoffeln + Gülle	64	25	-35	56	-3	-82	308	147	186
	4	75 % Getr. + Stroh	C	C	C	C	C	B	E	D	D
F12	25	25 % Kartoffeln + Stalldung									
	2	25 % Getr. – Stroh + W.-Zwischenfr. + GD									
	4	50 % Getr. + Stroh	242	180	82	206	109	-5	483	296	345
			D	D	C	D	D	C	E	D	E

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

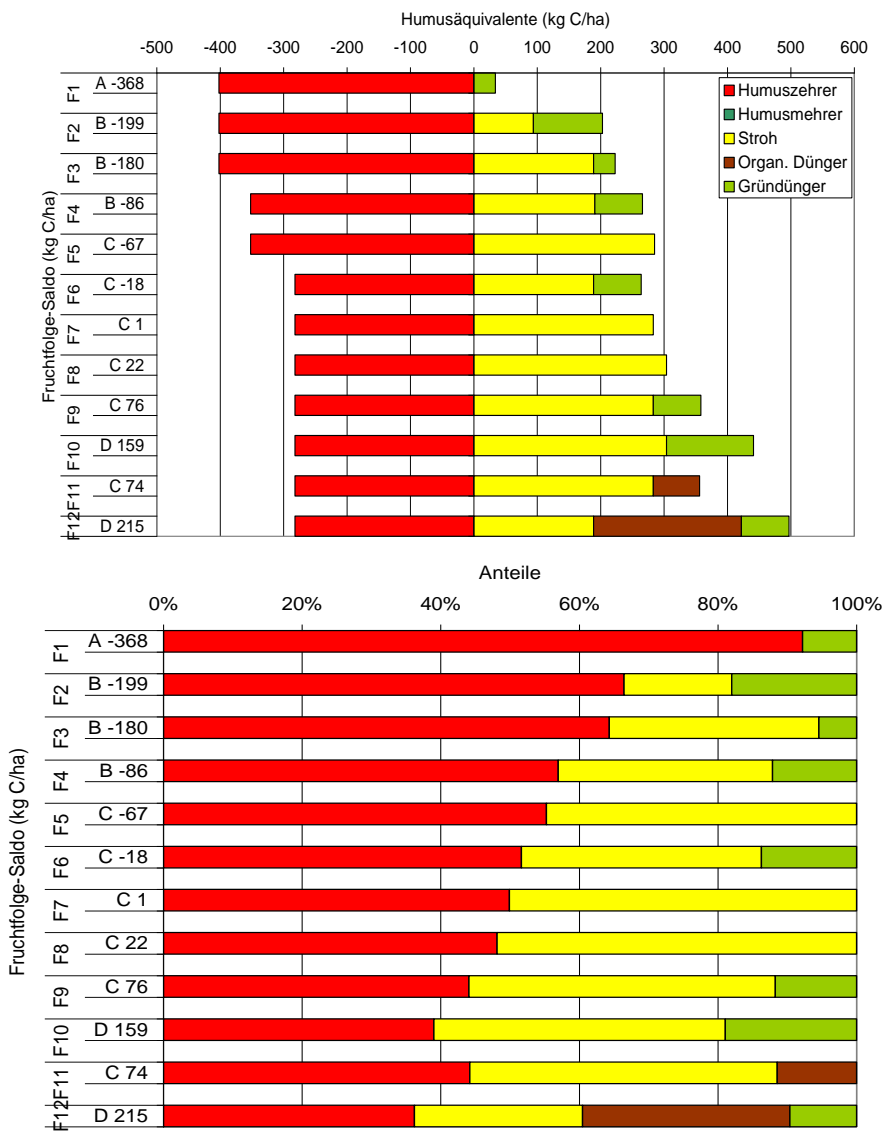
Stehen keine vergleichbaren Düngemittel zur Verfügung, so muss die Fruchtfolge in der Weise verändert werden, dass der Hackfruchtanbau reduziert wird. Dies ist in den folgenden Beispielen F4 – F8 (Tab. 5) durch Anbau von 25 % Kartoffeln nachvollzogen worden, indem eine Ausdehnung anderer Körnerfrüchte erfolgt ist (Getreide, Raps, Körnermais). Alle berechneten Humussalden verändern sich hierdurch in Richtung ausgeglichene Werte und es wird mindestens die Versorgungsstufe C erreicht, wenn das gesamte Stroh auf dem Acker verbleibt (F8). Durch Einfügung verschiedener Formen des Zwischenfruchtanbaus kommt es dann auf den meisten Standorten zu einer weiteren Verbesserung der Humuswirtschaft, so dass die Stufe D zum vorherrschenden Kennzeichen des Versorgungsgrades wird.

Nur auf den fruchtbaren Lehmböden (Standort 6) reichen diese Anbaukombinationen noch nicht aus. Auf diesem Standort führt eine zusätzliche Düngung mit einer üblichen Güllegabe inkl. Strohverbleib lediglich zur Erreichung der Versorgungsstufe B (Tab. 5, F11). Die Sicherung eines ausgeglichenen Saldos gelingt erst in einem Anbaukonzept, das aus 25 % Kartoffeln und 75 % Getreide (25 % Strohabfuhr) und der Hinzufügung einer Stallung- oder Kompostgabe besteht (F12). Auf den anderen Standorten kommt es hierdurch allerdings schon zu einer latenten Überversorgung mit organischer Substanz (Versorgungsstufen D – E).

Charakteristikum des Anbaus von Hackfrüchten ist das Auftreten von hohen Anteilen an Humuszehrem in der Anbausequenz. Hierdurch ist es nicht einfach, diese negativ wirkenden Komponenten durch Anbau und Düngung mit Humus mehrenden Komponenten auszugleichen, so dass deutlich negative Humussalden auftreten können (Abb. 17 u. 18). Von diesen Anbaukonzepten kann die Humusversorgung und Bodenfruchtbarkeit nachhaltig gefährdet werden, was oft erst nach langer Zeit durch aufkommende Probleme mit der Bodenstruktur und stagnierenden Erträgen sichtbar wird.

Wenn keine organischen Düngemittel zur Verfügung stehen, können diese negativen Salden oft nur durch positiv wirkende Komponenten z. B. aus dem Getreideanbau kompensiert werden, indem das Stroh auf dem Acker verbleibt. Hierbei ist wiederum darauf zu achten, dass dieser Anteil inkl. der Gründüngung dann mindestens 1/3 des Komponentenumfangs betragen muss, damit ein ausgeglichener Saldo mit der Versorgungsstufe C erreicht werden kann. Auch in hackfruchtbetonten Anbausystemen kommt daher der Strohzufuhr aus dem (geringen) Getreideanbau eine wichtige bilanzausgleichende Aufgabe zu.

Im intensiven, viehlosen Hackfruchtanbau ist es daher wesentlich schwieriger, eine zumindest ausgeglichene bis leicht positive Bilanz hinzubekommen. Können organische Düngemittel zugekauft werden, so ist das wesentlich leichter zu erreichen. Eine Überversorgung mit organischer Substanz ist bei diesen Anbaukonzepten in der Regel nicht zu befürchten (siehe Abb. 19).



**Abb. 17: Humusmehrende und -zehrende Komponenten der Fruchtfolgen mit intensivem Hackfruchtanbau in absoluten (oben) und relativen (unten) Werten im Durchschnitt der untersuchten Standorte (Fruchtfolgen F1 – F12: siehe Tab. 5; A – D = Humusversorgungsstufen)**

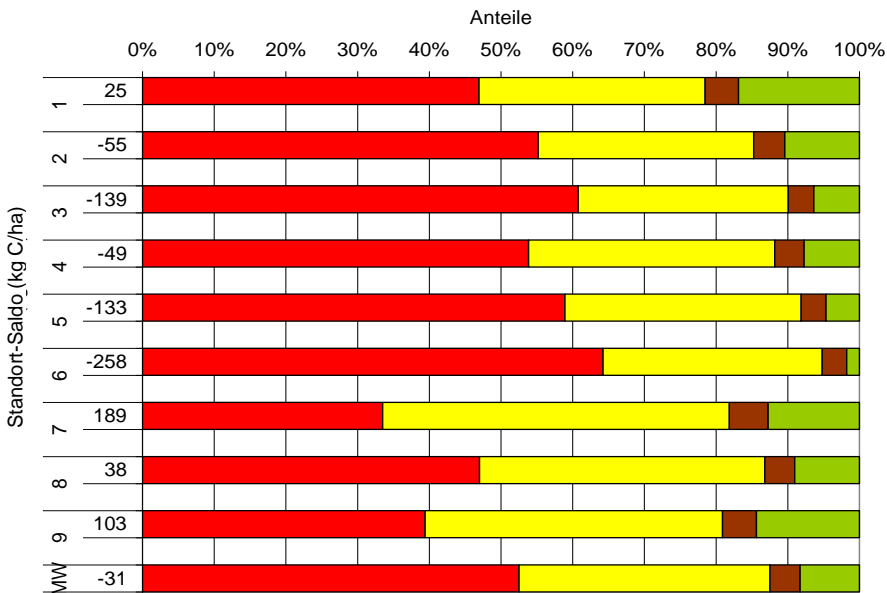
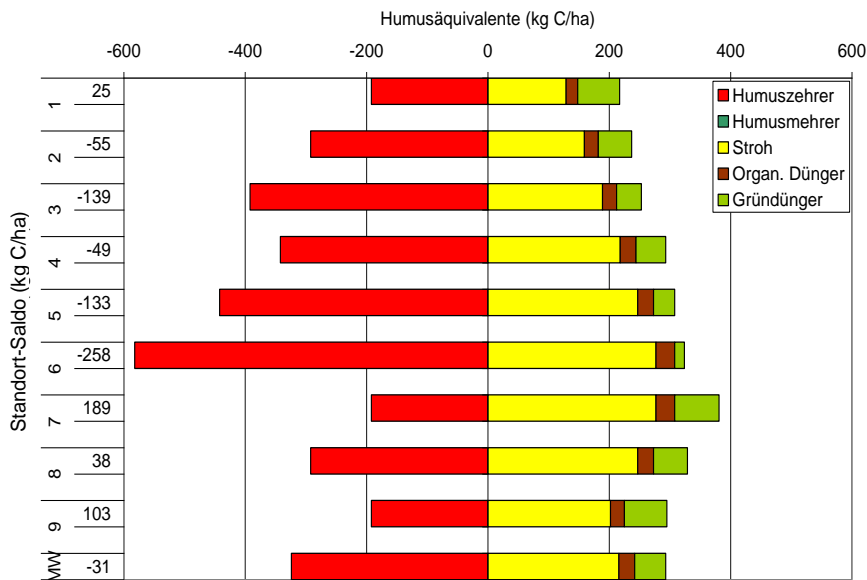


Abb. 18: Humusmehrende und -zehrende Komponenten der ausgewiesenen Standorte in absoluten (oben) und relativen (unten) Werten im Durchschnitt der Fruchtfolgen mit intensivem Hackfruchtanbau (Standorte 1 – 9: siehe Tab. 5; MW = Mittelwert)



Abb. 19a Quelle: Grunert, LfULG



**Abb. 19a, b: Eine mit Stallmist vergleichbare Humuswirkung wird mit Gülle erst dann erreicht, wenn das Stroh auf dem Acker verbleibt.**

Abb. 19b Quelle: Grunert, LfULG

In dieser Fruchtfolgeserie werden keine humusmehrenden Früchte angebaut. Daher weist die Strohzufuhr im Durchschnitt mit 74 % eine überragende Bedeutung als humusmehrende Komponente auf (Tab. 6). Hiervon profitieren die besseren Böden der Standorte 5 und 6 deutlicher als die Sandböden der Standorte 1 und 2. Dagegen kommt der Gründüngung eine höhere Bedeutung auf den leichteren Böden sowie auf den Sonderstandorten 7 – 9 zu.

**Tab. 6: Anteile der humusmehrenden Komponenten (%) auf den untersuchten Standorten im Durchschnitt der Kartoffelfruchtfolgen (Standorte 1 – 9: siehe Tab. 5)**

Standort (Nr.)	Humusmehrende Fruchtarten	Stroh	Organische Dünger	Gründünger	Summe
1	0	59	9	32	100
2	0	67	10	23	100
3	0	75	9	16	100
4	0	74	9	17	100
5	0	80	8	11	100
6	0	86	10	5	100
7	0	73	8	19	100
8	0	75	8	17	100
9	0	69	8	24	100
<b>Mittelwerte</b>	<b>0</b>	<b>74</b>	<b>9</b>	<b>17</b>	<b>100</b>

### Energiefruchtfolgen und Gärsubstratzufuhr

In den folgenden Anbausequenzen wurden Konzepte mit hohem Umfang an Fruchtarten realisiert, die zur Energieerzeugung Verwendung finden und somit vom Feld abgeerntet werden. Teilweise findet eine Gärsubstratgewinnung statt, wodurch die Biogasgülle wieder als Düngemittel auf den Flächen ausgebracht werden können (Tab. 7, F1 – F6). Bei der Anbaukombination aus 50 % Silomais, 25 % Zuckerrüben und 25 % Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS) werden alle Koppelprodukte vom Feld abgeerntet und es erfolgt keine Rückführung in Form von Gärsubstraten oder ähnlichen Düngemitteln (Tab. 7, F1). In dieser Fruchtfolge werden auf allen Standorten stark defizitäre Humussalden ermittelt (siehe Abb. 20).

Auf den Böden mit geringer Neigung zum Humusumsatz (Sandböden mit weitem C/N-Verhältnis, Schwarzerden, Tonböden, Bergstandorte mit schwereren Böden) werden zwar nur schwach negative Salden vorgefunden, sie sind aber durchweg bereits der Versorgungsgruppe A zuzuordnen. Für die weit verbreiteten Standorte 2 – 5 werden dagegen stark negative Werte ermittelt, so dass unter diesen Anbaukonzepten keine Aufrechterhaltung der Humusgehalte gelingen wird. Sie werden auf den mittleren bis schweren Böden der STG 5 und 6 auf Dauer auch deutlich abnehmen.

Durch zusätzliche Gründungsmaßnahmen, wie den Anbau von Zwischenfrüchten und Verbleib des Zuckerrübenblatts auf dem Acker, kommt es zu einer gerichteten Differenzierung der Versorgung mit organischer Substanz (Tab. 7, F2). Während auf den Standorten 1 sowie 7 – 9 mit geringerem Humusumsatz bereits die Versorgungsgruppen C – D erreicht werden, erfolgt auf den tätigen Böden der Standorte 5 und 6 nur eine geringe Verbesserung des Versorgungsgrades.

Durch Hinzufügung von leicht abbaubarer organischer Substanz, die z. B. in Form der Gründüngung über relativ enge C/N-Verhältnisse aufweist, wird der Humusumsatz stark angeregt. Auf den umsetzungsintensiven Standorten kann dies wahrscheinlich über sog. „Priming-Effekte“ dann dazu führen, dass auch weitere Humusvorräte des Bodens angegriffen werden. Der Anbau einer größeren Menge an zur Gründüngung bestimmter Pflanzen ist daher auf diesen Böden nicht immer sinnvoll und kann unter bestimmten Umständen auch kontraproduktiv wirken im Hinblick auf die Schonung der Humusreserven und den Wasserschutz. Auch eine hohe mineralische N-Düngung kann auf sensiblen Böden zu dem Humusabbau beitragen, wie durch Auswertungen von Dauerversuchen experimentell belegt werden konnte (Abb. 21).





**Abb. 20: Je höher der Silomais-Anteil in der Fruchtfolge ist, umso genauer muss auf eine optimale Humuswirtschaft geachtet werden, weil zu niedrige Humussalden über lange Zeiträume die Humusgehalte und Bodenstruktur auf vielen Standorten gefährden können.**

Quelle: Kolbe, LfULG



**Abb. 21: Durch Gründüngung (C/N-Verhältnisse von 12 – 20) werden das Bodenleben, die Mineralisation und Nährstoffbereitstellung für die Nachfrucht so stark angeregt, dass nur eine schwache positive Humuswirkung bleibt und auf manchen Standorten sogar ein Humusabbau eintreten kann.**

Quelle: Hänsel, LfULG

Dagegen führt die verstärkte Gründüngung auf Böden mit weiteren C/N-Verhältnissen und durchschnittlicher bis geringer Umsatzaktivität zu einer mäßigen bis deutlichen Verbesserung der Humusversorgung. Hierbei ist allerdings zu bedenken, dass ein Anbau von Zwischenfrüchten nicht immer gelingt. So ist in den meisten Fällen auf den Schwarzerden wegen Wassermangels oft kein Anbau von Zwischenfrüchten möglich. In den Bergregionen kann die kurze Vegetationsperiode durch zu niedrige Temperaturen ebenfalls die Anbauwürdigkeit begrenzen.

Die nachfolgenden Fruchtfolgen F3 – F6 (Tab. 7) sind durch eine steigende Zufuhr an Gärsubstraten gekennzeichnet. Hierzu ist zunächst anzumerken, dass es noch Unsicherheiten bei der Berechnung der Gärsubstratmengen gibt. Darüber hinaus stehen bisher keine experimentell belegten Humifizierungskoeffizienten für Gärsubstrate pflanzlichen Ursprungs zur Verfügung. Daher sind die dargelegten Berechnungswerte mit Vorbehalt zu betrachten. Sie gelten streng genommen nur für Substrate aus vergorener Gülle. Es gibt Hinweise, dass die Koeffizienten für Maissubstrate deutlich geringer ausfallen können und vielleicht auch im

Bereich der Klärschlämme anzusiedeln sind (siehe Abb. 5). Die Berechnungen haben ergeben, dass die Rückführung der Gärsubstrate aus dem Maisanbau alleine in der Regel nicht ausreicht, um einen Ausgleich der Humussalden zu bewirken. Es ist auf jeden Fall zusätzlich z. B. noch eine Untersaat im Mais oder zu einer anderen Fruchtart im Rahmen der Fruchtfolge erforderlich (vgl. Tab. A1: Silomais; siehe Abb. 22).

Bei vorwiegendem Anbau von Silomais inkl. Rückführung der Gärsubstrate kann es nur dann zu einer Verbesserung der Versorgungslage mit organischer Substanz auf den tätigen Böden kommen (insbesondere Standort 6), wenn gleichzeitig der Anbau von stark zehrenden Pflanzenarten reduziert wird (Tab. 7, F3 – F5). Durch Ersetzen der Zuckerrübe durch eine zusätzliche Ausdehnung des Maisanbaus kann der negative Saldo auf den tätigen Lehmböden allerdings nur halbiert werden.

Auch der Körnermaisbau trägt nur geringfügig dazu bei, dass negative Humussalden weiter abgebaut werden. Mit diesen Anbaukonzepten ist es daher auf den umsetzungsstarken Böden kaum möglich, die Versorgungsstufe A zu verlassen. Auf allen anderen Standorten wird mit diesen Anbaufolgen (Tab. 7, F4, F5) bereits die Versorgungsstufe C erreicht und auf den Sonderstandorten 7 – 9 sogar überschritten. Bei einem Silomaisanbau von 75 % in der Fruchtfolge kann auf den schluffigen Lehmböden erst durch eine zusätzliche organische Düngung, z. B. mit Kompost (1/2 Gabe), annähernd ein ausgeglichener Humussaldo erreicht werden (F6).

### Silomais-Fruchtfolgen sowie Rinder- und Milchviehhaltung

In Tabelle 7 zeigen die Fruchtfolgen F7 – F14 Maisfolgen auf, bei denen in steigendem Maße Rindergülle bis zu einer Tierhaltung von ca. 3,7 GV/ha integriert worden sind. Bei den Anbaukombinationen F7 und F8 mit jeweils 25 % Silomais, Zuckerrüben inkl. Blatt-Gründüngung sowie Getreide mit und ohne Strohverbringung kann bereits eine geringe Tierhaltung vorhanden sein. Es folgt aber nicht immer eine Zuführung von Gülle-Düngemitteln. Durch diese Ackerbewirtschaftung kommt es auf den Sonderstandorten 7 – 9 bereits zu einer zufriedenstellenden Bereitstellung an organischer Substanz, so dass meistens die Versorgungsstufe C erreicht wird. In Regionen mit höheren Temperaturen und verstärktem Humusumsatz reicht das Versorgungsniveau aber bei weitem nicht aus, um ausgeglichene Humussalden zu gewährleisten (Standorte 3, 5, 6).

In Systemen mit Rindergülle aus ca. 0,7 GV/ha, zusätzlicher Verwertung des Rübenblatts als Futtermittel sowie Strohverbleib auf der Fläche, kann die Situation auf den meisten Standorten soweit verbessert werden, dass die Versorgungsgruppe C gesichert werden kann (Tab. 7, F9). Auf den umsetzungsstarken Standorten reicht das Aufkommen an organischer Substanz jedoch noch nicht aus, um die Versorgungsgruppe A zu verlassen. Bei Anhebung der Güllebereitstellung auf über 1,0 GV/ha kann sich auf diesen Standorten 5 und 6 die Versorgungslage sogar wieder verschlechtern, wenn der Silomaisanbau zur Futterbereitstellung zulasten des Getreideanbaus ausgedehnt werden muss (Tab. 7, F10, F11).



Quelle: Schmidt, LfULG

**Abb. 22: Bei intensiven Maisfolgen zur Biogaserzeugung und Rückführung der Gärsubstrate können ausgeglichene Humussalden auf den meisten Standorten erst durch Integration einer Untersaat gewährleistet werden.**

Erst durch Herausnahme der Zuckerrübe, verstärktem Anbau von Getreide oder Ausdehnung des Silomaisanbaus auf 75 % der Fläche und weiter steigender Rinderhaltung kann auch auf diesen fruchtbaren Lehmstandorten ein zufriedenstellender Versorgungsgrad mit organischer Bodensubstanz gewährleistet werden (Tab. 7, F12, F13). Bei diesem Intensitätsniveau wird dann auf den meisten anderen Standorten schon ein gewisser Grad an Überversorgung mit organischer Substanz sichtbar (Versorgungsstufe E). Die Überversorgung nimmt in Folge einer weiteren Erhöhung der Güllezufuhr bis auf über 3,5 GV/ha deutlich zu (F14). Auf diesen reinen Futterbaubetrieben erfolgt dann ein Anbau von 75 % Silomais und eine Integration von 25 % intensiv gedüngtes Ackerfutter.

In defizitären Fruchtfolgen ist ein Anbau von Ackerfutter in Form von Gras- und Kleearten sowie von Luzerne hervorragend geeignet, eine deutliche Saldoaufbesserung zu erreichen (vgl. Tab. A1, Futterleguminosen und Ackergras, u. Tab. 7, F14). Hierzu trägt auch die zeitweilige Bodenruhe durch den über- bis mehrjährigen Anbau bei. Auf Betrieben mit intensiver Tierhaltung kann demgegenüber ein zusätzlicher Anbau von Ackerfutter zu einer weiteren Zunahme der Überversorgung mit organischer Substanz führen. Hierbei ist eventuell zu überlegen, ob eine Umwidmung eines Teils der Ackerflächen zu Dauergrünland nicht sinnvoller ist.

**Tab. 7: Humusbilanzen (kg C/ha; Versorgungsgruppen<sup>1)</sup>) von Energiefruchtfolgen mit Silomais sowie Rinder- und Milchviehhaltung**

Fruchtfolge Nummer (s.Tab.A1)	Standort / STG <sup>2)</sup> :	1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1		
		Leichte Böden									Mittlere bis schwere Böden	Schwarz- erden
Anbauverfahren												
F1	15	50 % S.-Mais (ohne Gärsubstrat)										
	20	25 % Z.-Rübe – Blatt										
	1	25 % Getr.-GPS – Stroh	-290 A	-390 A	-490 A	-440 A	-540 A	-680 A	-290 A	-390 A	-290 A	
F2	18	50 % S.-Mais (ohne Gärsubstrat) + U.-Saat + GD										
	22	25 % Z.-Rübe + Blatt										
	2	25 % Getr.-GPS – Stroh + W.-Zwischenfr. + GD	96 C	-78 B	-252 A	-162 B	-334 A	-573 A	110 D	-74 C	97 C	
F3	18	50 % S.-Mais + Gär- substrat + U.-Saat + GD										
	22	25 % Z.-Rübe + Blatt										
	2	25 % Getr.-GPS – Stroh	180 D	13 C	-154 B	-50 C	-208 A	-419 A	264 D	52 C	195 D	
F4	18	50 % S.-Mais + Gär- substrat + U.- Saat + GD										
	17	25 % S.-Mais + Gär- substrat										
	4	25 % Getr. + Stroh	189 D	64 C	-63 C	47 C	-68 C	-223 A	362 E	157 D	244 D	
F5	18	25 % S.-Mais + Gär- substrat + U.- Saat + GD										
	12	25 % K.-Mais + Stroh										
	2	25 % Getr. – Stroh + W.-Zwi.fr. + GD										
	4	25 % Getr. + Stroh	237 D	109 D	-14 C	87 C	-37 C	-209 A	376 E	188 D	283 D	
F6	18	50 % S.-Mais + Gär- substrat + U.- Saat + GD										
	19	25 % S.-Mais + Kom- post										
	4 (17)	25 % Getr. + Stroh + Gärsubstrat aus Nr. 17	402 E	276 D	150 D	260 D	144 D	-10 C	575 E	369 E	457 E	
F7	15	25 % S.-Mais										
	0,0	25 % Z.-Rübe + Blatt										
	2	25 % Getr. – Stroh + W.-Zwischenfr. + GD										
	4	25 % Getr. + Stroh	-29 C	-139 B	-249 A	-171 B	-279 A	-435 A	53 C	-94 B	6 C	
F8	16	25 % S.-Mais + 1/2 R.- Rülle										
	0,3	25 % Z.-Rübe + Blatt										
	2	25 % Getreide – Stroh + W.-Zwischenfr. + GD										
	4	25 % Getr. + Stroh	11 C	-99 B	-199 B	-120 B	-218 A	-374 A	114 D	-33 C	57 C	
F9	16	25 % S.-Mais + R.- Gülle										
	0,7	25 % Z.-Rübe – Blatt										
	20	25 % Getr. + Stroh										
	4 (2)	25 % Getr. + Stroh + W.-Zwischenfr. + GD aus Nr. 2	78 C	-20 C	-97 B	-8 C	-85 B	-233 A	255 D	103 D	166 D	

Tab. 7: (Fortsetzung)

Frucht- Folge Nummer (s.Tab.A1)	Standort / STG <sup>2)</sup> :	1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1	
		Leichte Böden			Mittlere bis	schwere Böden	Schwarz- erden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.		
Anbauverfahren											
F 10 1,0 GV /ha	16	25 % S.-Mais + R.- Gülle									
	15	25 % S.-Mais + 1/2 R.- Gülle									
	20	25 % Z.-Rübe – Blatt	-114	-201	-257	-193	-249	-375	15	-99	-50
	4	25 % Getr. + Stroh	B	A	A	B	A	A	C	B	C
F 11 1,5 GV /ha	16	50 % S.-Mais + R.- Gülle									
	20	25 % Z.-Rübe – Blatt									
	4	25 % Getr. + Stroh + W.-Zwischenfr. + GD aus Nr. 2	35	-77	-148	-72	-142	-303	184	46	109
	(2)		C	B	B	C	B	A	D	C	D
F 12 2,3 GV /ha	16	50 % S.-Mais + R.- Gülle									
	4	25 % Getr. + Stroh									
	5	25 % Getr. + Stroh + Gülle + W.-Zwi- schenfr. aus Nr. 2	231	133	90	180	138	-10	477	325	354
	(2)		D	D	C	D	D	C	E	E	E
F 13 3,0 GV /ha	16	75 % S.-Mais + R.- Gülle									
	2	25 % Getr.-GPS + W.- Zwischenfr. + GD + Gülle a. Nr. 24	162	58	-7	56	-8	-163	325	180	243
	(24)		D	C	C	C	C	B	E	D	D
	18	25 % S.-Mais + U.- Saat + Gülle a. Nr.16									
F 14 3,7 GV /ha	16	50 % S.-Mais + R.- Gülle									
	27	25 % Ackerfutter + Gülle aus Nr. 24	500	436	371	434	370	256	744	558	621
	(24)		E	E	E	E	E	D	E	E	E

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

In viehhaltenden Betrieben tragen die organischen Düngemittel deutlich zur Verbesserung der Versorgung mit organischer Substanz bei, wodurch gewöhnlich ausgeglichene bis leicht positive Humussalden wesentlich einfacher gewährleistet werden können (Tab. 7, F9 – F11). Nach diesen Ergebnissen können Rinderhaltungssysteme zwischen 0,7 GV/ha bis ca. 2,0 GV/ha auf den meisten Standorten aus Sicht der Humuswirtschaft als optimal angesehen werden. Auf den Sonderstandorten sind Anbaukonzepte mit einer Rinderhaltung um 1,5 GV/ha noch tragbar. Auf den Böden der Höhenlagen und den Tonböden können auch etwas höhere Werte noch als akzeptabel angesehen werden.

Wie die Beispiele F12 – F14 in Tabelle 7 jedoch zeigen, können bei einem Umfang in der Viehhaltung von z. T. deutlich über 2 GV/ha auch Humussalden auf vielen Standorten auftreten, die der Versorgungsgruppe E zugeteilt werden müssen. Hierdurch kann es zu einer Überversorgung mit organischer Substanz kommen, wodurch auf lange Sicht auch negative Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit des Betriebes entstehen können.

Die Abbildungen 23 und 24 zeigen die Einzelkomponenten der Humusbilanz der Maisanbaufolgen. Aus der relativen Zuordnung geht wiederum hervor, dass im Durchschnitt der Standorte eine ordnungsgemäße Landbewirtschaftung erfolgen kann, wenn die Werte der Humuszehrer zwischen 1/3 und 2/3 der insgesamt aufgeführten Komponenten liegen. Dies trifft sowohl für die maisbetonten Systeme mit Gärsubstrat- als auch auf die Systeme mit Rinderhaltung und Gölledüngung zu. Im Durchschnitt der aufgeführten Fruchtfolgen wird deutlich, dass der relative Anteil an Humuszehrer auf den umsetzungsaktiven Standorten 3, 5 und 6 mit Werten um 60 % relativ hoch ist. Hierbei ist die Zufuhr an humusmehrender organischer Substanz dann oft zu niedrig, damit ausgeglichene Humussalden gewährleistet werden können.

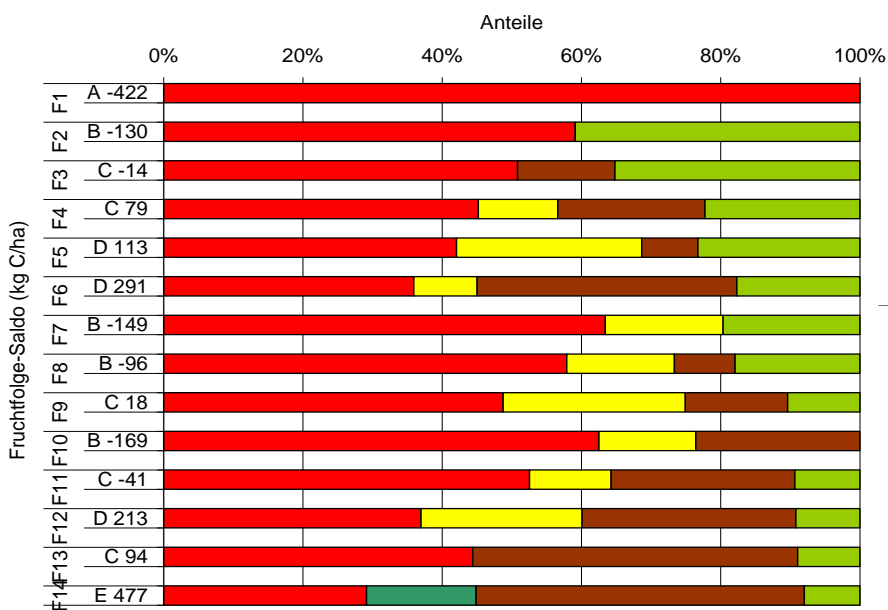
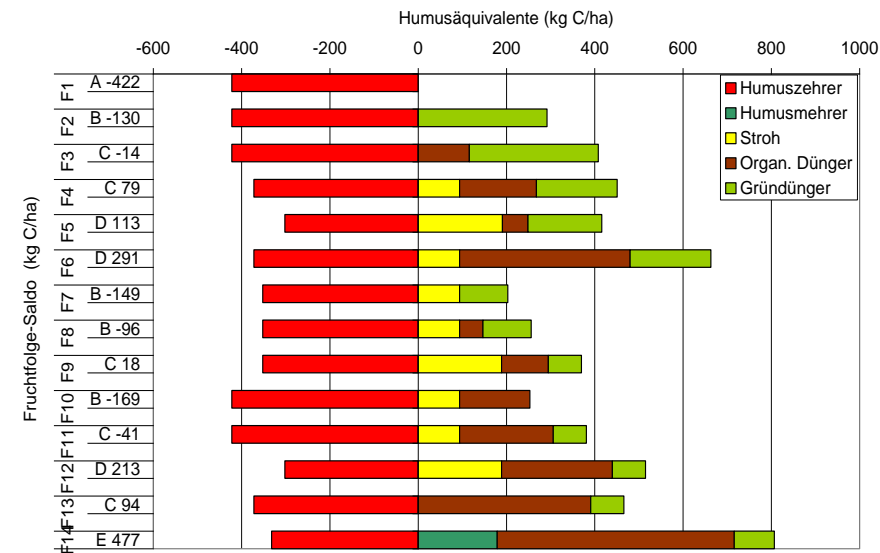
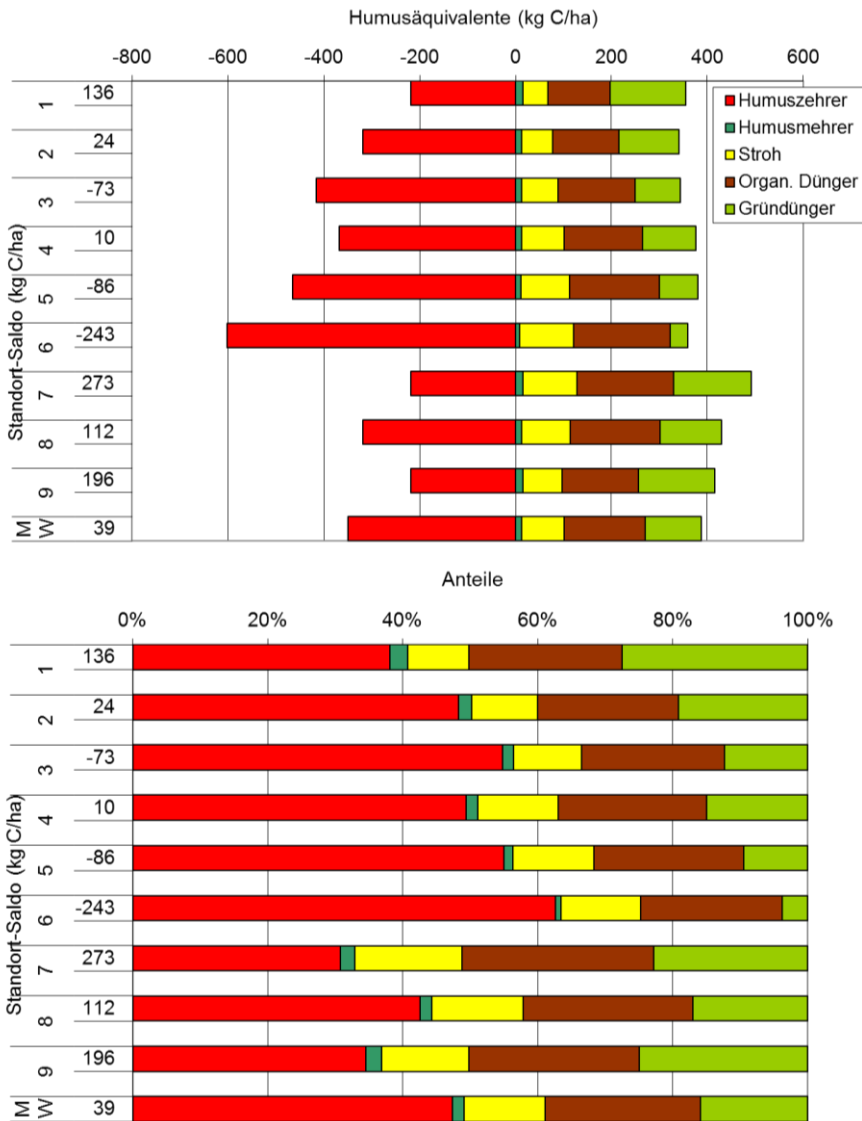


Abb. 23: Humusmehrende und -zehrende Komponenten der Fruchtfolgen mit intensivem Silomaisanbau inkl. Gärsubstrat- bzw. Rindergüllewirtschaft in absoluten (oben) und relativen (unten) Werten im Durchschnitt der Standorte (Fruchtfolgen F1 – F14: siehe Tab. 7; A – E = Humusversorgungsstufen)



**Abb. 24: Humusmehrende und -zehrende Komponenten der ausgewiesenen Standorte in absoluten (oben) und relativen (unten) Werten im Durchschnitt der Fruchtfolgen mit intensivem Silomaisanbau inkl. Gärsubstrat- bzw. Rindergüllewirtschaft (Standorte 1 – 9: siehe Tab. 7; MW = Mittelwert)**

Im Durchschnitt der Fruchtfolgen kommt allen aufgeführten humusmehrenden Komponenten auf den Standorten 3 und 4 und den Sonderstandorten eine mittlere Bedeutung zu (Tab. 8). Stroh, organische Dünger und Gründünger sind daher als humusanreichernde Materialien gleichermaßen geeignet. Dagegen ist auf den tätigen Böden der Standorte 5 und 6 die Zufuhr von Stroh und organischen Düngern besser geeignet als eine Gründüngung. Auf den leichten Böden der Standorte 1 und 2 hat reziprok hierzu der Anbau von Gründüngungspflanzen eine höhere relative humusmehrende Wirkung als das Stroh.

**Tab. 8: Aufteilung der humusmehrenden Komponenten (%) der untersuchten Standorte im Durchschnitt der Silomaisfolgen (Standorte 1 – 9: siehe Tab. 7)**

Standort (Nr.)	Humusmehrende Fruchtarten	Stroh	Organische Dünger	Gründünger	Summe
1	4	15	37	45	100
2	4	19	41	37	100
3	4	22	47	27	100
4	4	23	44	30	100
5	3	27	50	21	100
6	2	32	56	10	100
7	3	23	41	33	100
8	3	24	44	30	100
9	4	20	39	38	100
<b>Mittelwerte</b>	<b>3</b>	<b>23</b>	<b>44</b>	<b>30</b>	<b>100</b>

### Kalkulation einer Veränderung des Bewirtschaftungssystems

An einem konkreten Berechnungsbeispiel können die Auswirkungen einer (geplanten) Änderung der Bewirtschaftung auf die Humusbilanzen und die  $C_{org}$ - und  $N_r$ -Gehalte im Boden aufgezeigt werden. Hierzu wird angenommen, dass auf den Betrieben oder den zu bewertenden Flächen bisher seit längerer Zeit (ca. 20 Jahre) entsprechend der in Tabelle 7 ausgewiesenen Fruchtfolge F11 mit 1,5 GV/ha Rinderhaltung gewirtschaftet worden ist. Für diese Nutzungsintensität werden zunächst Humusbilanzen berechnet, um den Ist-Zustand für die ausgewiesenen Standorte zu fixieren. Danach wird folgendes Szenario über eine geplante Betriebsveränderung erstellt (entsprechend Fruchtfolge F3, Tab. 7):

- Abschaffung der Viehhaltung
- Umstellung auf Biogaserzeugung
- geringfügige Anpassung der Fruchtfolge.

Anschließend werden von diesem Szenario ebenfalls Humusbilanzen berechnet. Damit die Auswirkungen der neuen Anbaufolgen im Vergleich zur Ausgangssituation langfristig abgeschätzt werden können, werden in einem weiteren Rechengang die Ergebnisse der beiden Humusbilanzserien (F3-F11) für alle Standorte miteinander in Beziehung gesetzt (Tab. 9).

Entsprechend den unterschiedlichen Humifizierungsraten auf den Standorten 1 – 9 sind die erhaltenen Ergebnisse in den Humussalden und den  $C_{org}$ -Gehalten nicht gleich hoch. Auf den ersten Blick unterscheiden sich die Berechnungsergebnisse für den Ist-Zustand (F11) und die geplante Betriebsveränderung (F3) nicht sehr stark, da auch eine gewisse Streuung der Werte zu beachten ist. Es ist allerdings zu erkennen, dass es durch das Szenario auf einigen Standorten zu einer Verbesserung der Versorgungslage mit organischer Substanz kommen wird (Standorte 1 – 3, 7, 9), während auf anderen Standorten sogar Verschlechterungen erwartet werden können (Standorte 5 u. 6).



**Tab. 9: Berechnungsbeispiel des mittel- bis langfristigen Einflusses einer Änderung des Bewirtschaftungssystems auf die Humusbilanzen und die C<sub>org</sub>-Gehalte des Bodens der untersuchten Standorte (Erklärung siehe Text)**

Fruchtfolge/Szenario (s. Tab. 7)	Standort / STG <sup>1)</sup> :	1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1
		Leichte Böden			Mittlere bis schwere Böden		Schwarzerden		Tonböden	Böden d. Höhenlg.
F11 1,5 GV/ha Ist-Zustand	HÄQ (kg C/ha)	35	-77	-148	-72	-142	-303	184	46	109
	C <sub>org</sub> -Differenz (%)	0,02	-0,04	-0,08	-0,04	-0,08	-0,17	0,11	0,03	0,06
F3 Szenario	HÄQ (kg C/ha)	180	13	154	-50	-208	-419	264	52	195
	C <sub>org</sub> -Differenz (%)	0,10	0,01	0,09	-0,03	-0,12	-0,24	0,15	0,03	0,11
F3-F11	HÄQ (kg C/ha)	145	90	301	22	-66	-116	79	6	86
	C <sub>org</sub> -Differenz (%)	0,08	0,05	0,17	0,01	-0,04	-0,07	0,05	0,00	0,05

<sup>1)</sup> STG = Standortgruppe (siehe Tab. 1)

Am Beispiel der Lehmböden (Standort 6, Tab. 9) werden die verschiedenen Verrechnungsmöglichkeiten näher erläutert. Aus einer Laboranalyse am Ende der bisherigen Bewirtschaftung (F11, Ist-Zustand) ist außerdem von diesem Standort ein C<sub>org</sub>-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 -303 kg C/ha festgestellt, der mit der Zeit zu einer durchschnittlichen Verringerung der Humusgehalte um 0,17 % C<sub>org</sub> geführt hat.

Bilanzergebnisse von -303 kg C/ha müssen als bedeutende, ungünstige Bewirtschaftungsverhältnisse beschrieben werden. Sie weisen hohe Fehlbeträge an organischer Substanz auf und werden deshalb durch das VDLUFA-Bewertungssystem mit der Versorgungsgruppe A eingestuft. Nach Umrechnung wird eine Differenz von lediglich -0,17 % C<sub>org</sub> ermittelt. Wegen der hohen statistischen Streuung kann die zweite Kommastelle meistens nicht mehr mit Sicherheit ausgewiesen werden, was bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten ist. An diesem Beispiel wird deutlich, dass Versuche, derartige beschriebene Bewirtschaftungsverhältnisse über die alleinige Bodenuntersuchung auf C<sub>org</sub> herleiten zu wollen, meistens zum Scheitern verurteilt sind, da die gewöhnlich vorzufindende Schwankungsbreite der C<sub>org</sub>-Ergebnisse auf Praxisflächen viel zu groß ist.

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 auch ein längerer Zeitraum veranschlagt werden. Bei Unterstellung einer 20jährigen Periode würden durch die berechnete Abnahme der Humusgehalte in der Fruchtfolge F11 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. Nach Erreichen des Gleichgewichtes erfolgt dann keine weitere Nettofreisetzung aus dem Boden:

- Berechnung C<sub>org</sub> -Menge bei 0,17 % C<sub>org</sub> (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 dieser Ist-Analyse kann der an diesem Standort typische Humus- bzw. C<sub>org</sub>-Gehalt berechnet werden. Da die bisherige Bewirtschaftung zu einem deutlich negativen Humussaldo und deshalb auch zu einer Abnahme der C<sub>org</sub>-Gehalte des

Bodens geführt hat, muss die ermittelte Differenz im C<sub>org</sub>-Gehalt dem Laborwert hinzuaddiert werden. Der durchschnittliche Gehalt vor Beginn der defizitären Fruchtfolge ist daher in etwa mit 1,67 % C<sub>org</sub> anzusetzen:

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

Zur Aufrechterhaltung dieses Wertes würde also der Einsatz der standortangepassten Methode zur Humusbilanzierung 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 bewirtschaftungstypische Werte anzusehen. Die Methode ist also auf diese mittleren Verhältnisse des Standortes eingestellt.

Die Humusbilanzierung der zukünftigen Bewirtschaftung durch das Szenario F3 (Tab. 9) hat auf dem Lehmboden mit -419 kg C/ha zu einem negativen Humussaldo geführt, der noch unter dem der Ausgangsbewirtschaftung liegt. Bei Vorlage nur dieser Informationen würde dann durch das neue Bewirtschaftungssystem eine Veränderung der C<sub>org</sub>-Gehalte von sogar -0,24 % und eine jährliche Freisetzung von 42 – 63 kg N/ha und Jahr zu verzeichnen sein, wodurch der Laborwert an Humus sich dann folgendermaßen verändern würde: 1,50 % – 0,24 % = 1,26 % C<sub>org</sub>.

Aus diesen Berechnungen könnte dann zunächst die Schlussfolgerung abgeleitet werden, dass die eingeplante Veränderung der Bewirtschaftung auf diesem Standort zu deutlich negativen Ergebnissen führen würde. Diese Schlussfolgerungen würden aber nur dann einen realistischen Hintergrund aufweisen, wenn die Bewirtschaftung vor der geplanten Änderung zu weitgehend ausgeglichenen Humusbilanzen geführt hätte. Dies war aber nicht der Fall, wie das Beispiel F11 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. 9, F3-F11):

<b>Humusbilanz Szenario</b>	<b>-</b>	<b>Humusbilanz Ist-Zustand</b>	<b>=</b>	<b>Humusbilanz-Differenz</b>
- 419 HÄQ	-	- 303 HÄQ	=	-116 HÄQ (kg C/ha)
- 0,24 C <sub>org</sub>	-	- 0,17 % C <sub>org</sub>	=	-0,07 % C <sub>org</sub>

Diese Ergebnisse zeigen jetzt, dass die Humusbilanz sich dann um -116 kg C/ha und der ermittelte Humusgehalt um nochmals -0,07 % auf dann 1,43 % C<sub>org</sub> verschlechtern wird:

$$\text{Bodengehalt an C}_{\text{org}} \ 1,50 \% \quad - \quad 0,07 \% \ \text{C}_{\text{org}} \quad = \quad 1,43 \% \ \text{C}_{\text{org}}$$

Es ist ebenfalls zu beachten, dass über eine weitere Zeitperiode von ca. 20 – 30 Jahren durch die Abnahme der Humusgehalte auch mit einer durchschnittlichen jährlichen Freisetzung an Stickstoff um 12 – 19 kg N/ha zu rechnen ist.

Die genaue Analyse des Szenarios führt also auch zu einem negativen Ergebnis. Daher sollte die geplante Betriebsveränderung in dieser Form auf dem Lehmlandort nicht durchgeführt werden. Aus dem aufgeführten Beispiel wird deutlich, dass unter Einrechnung der Ist-Bewirtschaftung es zu ganz anderen Ergebnissen kommen kann, woraus wesentlich differenziertere Schlussfolgerungen abgeleitet werden können. Auf jeden Fall können die realen Verhältnisse durch diese Vorgehensweise deutlich besser beschrieben 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. Außer zu den Humussalden können hierzu auch Berechnungen zur Veränderung der C<sub>org</sub>-Gehalte und zu einigen wichtigen Pflanzennährstoffen angestellt werden. So kann es in Zeitperioden mit starkem Humusabbau (bzw. Humusanreicherung) zu einer nicht unbedeutenden Freisetzung (bzw. Festlegung) an Stickstoff und anderen Nährstoffen kommen.

# 5 Schlussfolgerungen

In den weit verbreiteten Marktfruchtbetrieben mit intensivem Getreideanbau ist eine ausgeglichene Humusbilanz heute meistens ohne Probleme zu realisieren (siehe Abb. 25). Das liegt an den nur geringfügig negativen Humifizierungskoeffizienten der Getreidearten und an dem zur Verfügung stehenden Strohaufkommen. Als erosionsverringemde und humusmehrnde Komponente kommt dem Stroh eine hohe Bedeutung zu.

Ein anderes Ergebnis ist zu erwarten, wenn ein wesentlicher Anteil der Ganzpflanzen-Aufwüchse und des Strohs z. B. zur Energiegewinnung abgeerntet werden. Hierbei ist zu beachten, dass zwischen der abgefahrenen Energiemenge aus nachwachsenden Rohstoffen (z. B. Stroh, Silomais) und den durchschnittlichen Humusbilanzen der Flächen in der Regel ausgeprägte negative Beziehungen bestehen. Ein hoher Energieertrag ist daher meistens mit negativen Humusbilanzen verbunden (und anders herum). Auf Grund von Humusbilanzierungen ist daher in diesen Betriebssystemen sicher zu stellen, dass nur so viele nachwachsende Rohstoffe erzeugt und abgefahren werden können, bis ausgeglichene Humussalden erreicht bzw. auf Dauer nicht unterschritten werden.



Quelle: Kolbe, LFULG

**Abb. 25: Auf Grund des relativ hohen Aufkommens an Ernte- und Wurzelrückständen und Stroh ist es in getreidereichen Anbausystemen relativ einfach, einen standort- und bewirtschaftungstypischen Humusspiegel aufrecht zu erhalten.**

Wie die Ergebnisse weiterhin gezeigt haben, ist eine ausgeglichene Humusbilanz in reinen Marktfruchtbetrieben mit intensivem Hackfruchtanbau (Kartoffeln, Zuckerrüben, Feldgemüse) nicht einfach zu realisieren. Das trifft auch für Betriebe mit einem hohen Anbauumfang an Energiepflanzen zu. Es ist daher zu überlegen, wie Humus aufbauende Elemente (Fest- u. Flüssigmiste, Stroh, Zwischenfrüchte, Gründüngung) im Rahmen der gesamten Fruchtfolge integriert werden können.

Die Berechnungsbeispiele haben auch z. T. deutliche Unterschiede in der Humusdynamik der Standorte aufgezeigt. Aus diesen Ergebnissen können spezifische Veränderungen der Fruchtfolgen und der organischen Düngung hin zu zielgerichteten, standortgerechten Anbaustrategien abgeleitet werden. Eine Art der Anpassung könnte so vorgenommen werden, dass auf den leicht-

teren Böden sowie auch besonders in Bergregionen mit geringerem Humusumsatz vorzugsweise die Zufuhr von leicht abbaubarer organischer Substanz (insbesondere Gründüngung) erfolgen sollte.

Auf Standorten mit höherem Humusumsatz könnten dagegen bestimmte Fruchtfolgeglieder mit geringem negativen bzw. deutlich positiven Humussalden (wie z. B. den Getreidearten bzw. den Kleegräsern) von Vorteil sein. Auch eine Zufuhr von schwer umsetzbarer organischer Substanz mit weiten C/N-Verhältnissen (Stroh, feste organische Dünger) könnte auf diesen Standorten dazu beitragen, den vorherrschenden deutlichen Abbau an Humusstoffen zu begrenzen.

Hintergrund jeglicher Überlegungen ist die nachhaltige Sicherung der Fruchtbarkeit der ackerbaulich genutzten Böden. Eine Unterversorgung mit Humus ist dabei genauso zu vermeiden wie eine deutliche Überversorgung. Aufgrund der Bedeutung der organischen Substanz für die Nachhaltigkeit sind nicht nur im Betriebsdurchschnitt, sondern möglichst für jeden Ackerschlag weitgehend ausgeglichene Humusbilanzen im Durchschnitt der Fruchtfolgerotationen anzustreben.

Auf der einen Seite sollten unterversorgte Flächen auf ein optimales Versorgungsniveau (VDLUFVA-Versorgungsgruppe C) 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 Abfuhrpotenzial für die immer wertvoller werdenden Reststoffe, wie z. B. Stroh, können dann einer außerbetrieblichen Verwendung zugeführt werden.

In viehhaltenden Betrieben ist es in der Regel einfacher, den Humusspiegel aufrecht zu halten. Eine Tierhaltung von 0,7 – 2,0 GV/ha kann für die meisten Standorte als optimal angesehen werden. Bei zu hohem Viehbesatz kann es dagegen zu einer Überversorgung mit organischer Substanz kommen (siehe Abb. 26). Dem Problem von zu hohen Humussalden kommt erst in letzter Zeit eine höhere Aufmerksamkeit zu, nachdem nicht nur aus Ergebnissen von Dauerversuchen, sondern auch von Dauertestflächen der Praxis relativ enge positive Beziehungen zwischen den Humus- und Stickstoffsalden des Ackerbaus abgeleitet werden konnten.

Auch ein Zuviel an organischer Bodensubstanz, z. B. auf Grund eines zu hohen Aufkommens an organischen Düngemitteln aus der Tierhaltung, kann daher schädlich sein. Dies hat insbesondere dann eine Bedeutung, wenn in ein bis zwei Jahrzehnten die Anreicherungsphase an Humusstoffen und damit auch an Stickstoff im Boden beendet ist. Unter Beibehaltung sehr hoher Humussalden steigt mit der Zeit die Umsetzung des Humus und damit auch die Freisetzung an Stickstoff deutlich an. Aus diesem Grund sollten im Durchschnitt der Fruchtfolgen keine Humussalden auf Dauer akzeptiert werden, die über der Versorgungsgruppe D liegen, da hierbei dann auch erhöhte Stickstoffverluste, abnehmende N-Effizienzen und weitere ungünstige Umweltwirkungen zu befürchten sind.

In diesen Betrieben ist zudem die mineralische NPK-Düngung weitgehend als Ausgleichsdüngung zu bemessen. Entsprechend der Nährstoffvorgabe aus den organischen Düngemitteln ist gegebenenfalls auch auf eine mineralische Düngung zu verzichten, um eine Überversorgung mit bestimmten Nährstoffen auf Dauer zu verhindern. Notfalls muss auch ein Teil der organischen Düngemittel außerbetrieblich verwertet werden.

Auch auf Flächen mit hoher Nährstoffzufuhr bzw. mit hohem Versorgungsgrad an Grundnährstoffen (Klassen D u. E) und an Stickstoff muss die Zufuhr an organischen Düngemitteln reduziert werden. Dies trifft auch dann zu, wenn entsprechend dem Ergebnis der Humusbilanzierung eigentlich noch ein Bedarf an organischer Substanz vorhanden ist. In diesen Fällen sollten als Fruchtarten die Humusmehrer verstärkt zum Anbau kommen (Ackergras, Zwischenfrüchte), weil hierdurch eine Erhöhung der organischen Substanz stattfindet, ohne dass eine Zufuhr an Nährstoffen erfolgt. Auch eine Stärkung der Getreidearten zulasten der Hackfruchte und Mais in der Fruchtfolge erfüllt diese Aufgabe. Steht Stickstoff nicht im Überfluss zur Verfügung, so kann der Humusspiegel auch durch Anbau von Futter- und Körnerleguminosen aufgebessert werden.

Je nach den betrieblichen Ausgangsbedingungen können auf Grund des hier vorgestellten ausführlichen Zahlenmaterials weitere individuelle Fruchtfolgebeispiele zusammengestellt 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). Daher können mit geringem Aufwand auch eigene Berechnungen angestellt werden.

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:

- Zur Auswahl der Methode sollte deren Genauigkeit beachtet werden, damit betriebsspezifische, standortangepasste Berechnungen erfolgen können
- Vor jeder Planung alternativer Betriebskonzepte mit Änderungen der Fruchtfolge, Verwertung der Haupt- und Nebenprodukte, der organischen Düngung etc. möglichst genaue standortspezifische Berechnungen zur Humusbilanzierung u. U. mit Hilfe der Beratung anstellen
- Für genaue Analysen sind zwei Bilanzansätze erforderlich, die miteinander in Beziehung gesetzt werden: eine Bilanzierung zur Ermittlung der Ausgangslage (Ist-Zustand) und eine Bilanzrechnung entsprechend der geplanten zukünftigen Betriebsausrichtung (Szenario)
- Besondere Beachtung sollten einseitigen Fruchtfolgen mit hohen Anteilen an Hackfrüchten (Humuszehrern) und nachwachsenden Rohstoffen geschenkt werden
- Auch bei hoher organischer Düngung aus intensiver Tierhaltung kann eine Humusbilanzierung nützlich sein
- Rangfolge der Humuswirkung der organischen Materialien: Kompost > Stalldung > Gülle > Stroh > Gründünger
- Faustregel: nicht mehr als 50 % Stroh abfahren
- Zwischen der Humusbilanz und der abgefahrenen Energiemenge aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen in der Regel negative Beziehungen
- Bilanzierungen immer über mindestens eine bis zwei Fruchtfolgerotationen erstellen (~5 Jahre)
- Im Betriebsdurchschnitt sowie möglichst für jeden Ackerschlag eine ausgeglichene Humusbilanz anstreben und langfristig sichern (Versorgungsgruppe C)
- Die Humusbilanzierung sollte auf jedem Betrieb zur Standardausrüstung des Nährstoffmanagements gehören.



Quelle: Albert, LfULG

**Abb. 26:** In Betrieben mit Ackerbau und Tierhaltung wird im Allgemeinen eine optimale Humuswirtschaft gewährleistet. Durch hohe organische Düngung in Folge intensiver Tierhaltung kann jedoch auf Dauer die Umsetzung der organischen Bodensubstanz so stark ansteigen, dass es leicht zu Nährstoffübersorgung und Problemen im Umweltschutz kommen kann.

# 6 Anhang

Tab. A1: Standortbeschreibung sowie Anbauverfahren und Humusbilanzen (kg C/ha) einzelner Fruchtarten

Nummer	Standort / STG <sup>1)</sup> :	1 / 1	2 / 2 Leichte	3 / 3 Böden	4 / 4 Mittlere –	5 / 5 schwere	6 / 6 Böden	7 / 1 Schwarz- erden (L)	8 / 2 Tonböden	9 / 1 Böden d. Höhenlg. (T) (> 38)
	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- Verhältn. > 14	< 8,5 °C	> 8,5 °C	< 8,5 °C	> 8,5 °C	C/N- Verhältn. < 9	C/N- Verhältn. < 9		
	Anbauverfahren									
<b>Getreidearten</b>										
<b>Erträge / Dün- gung</b>	<b>Getreideart., Korn- Strohverhältnis 0,8 Kornertrag (t/ha): Strohertrag (86 % TM; t/ha): Schweinegülle (8 % TM, m<sup>3</sup>/ha):</b>	<b>4,0 3,2 15</b>	<b>5,0 4,0 15</b>	<b>6,0 4,8 25</b>	<b>7,0 5,6 25</b>	<b>8,0 6,4 35</b>	<b>9,0 7,2 35</b>	<b>9,0 7,2 35</b>	<b>8,0 6,4 35</b>	<b>6,5 5,2 25</b>
1	Getreide- Ganzpflanzensilage bzw. Getreide-Korn u. Strohabfuhr:	-30	-130	-230	-180	-280	-420	-30	-130	-30
2	Getreide- Ganzpflanzensilage bzw. Getreide-Korn u. Strohabfuhr: +Winter-Zwi.-frucht: +Gründüngung 20 t/ha (10 % TM):	-30 370 64 <b>404</b>	-130 270 64 <b>204</b>	-230 170 64 <b>4</b>	-180 220 64 <b>104</b>	-280 120 64 <b>-96</b>	-420 -20 64 <b>-376</b>	-30 370 64 <b>404</b>	-130 270 64 <b>204</b>	-30 370 64 <b>404</b>
3	Getreide-Korn u. Strohabfuhr: +Stalldung 15 t/ha (frisch, 20 % TM) (1/2 Gabe):	-30 315 <b>285</b>	-130 315 <b>185</b>	-230 315 <b>85</b>	-180 315 <b>135</b>	-280 315 <b>35</b>	-420 315 <b>-105</b>	-30 315 <b>285</b>	-130 315 <b>185</b>	-30 315 <b>285</b>
4	Getreide-Korn: +Strohzufuhr (86 % TM):	-30 217 <b>187</b>	-130 272 <b>141</b>	-230 326 <b>96</b>	-180 380 <b>200</b>	-280 435 <b>155</b>	-420 489 <b>69</b>	-30 489 <b>459</b>	-130 435 <b>305</b>	-30 353 <b>323</b>
5	Getreide-Korn: +Strohzufuhr (86 % TM): +Schweinegülle (8 % TM):	-30 217 87 <b>274</b>	-130 272 87 <b>229</b>	-230 326 145 <b>241</b>	-180 380 145 <b>345</b>	-280 435 203 <b>358</b>	-420 489 203 <b>272</b>	-30 489 203 <b>662</b>	-130 435 203 <b>508</b>	-30 353 145 <b>468</b>
Stroh: mittlere Werte = 67,9 kg C/t										
<b>Raps</b>										
<b>Erträge / Dün- gung</b>	<b>W.-Raps, Korn- Strohverhältnis 1,7 Kornertrag (t/ha): Strohertrag (86 % TM; t/ha): Rindergülle (7 % TM; m<sup>3</sup>/ha): Schweinegülle (8 % TM; m<sup>3</sup>/ha):</b>	<b>2,5 4,3 30 20</b>	<b>3,0 5,1 30 20</b>	<b>3,5 6,0 40 30</b>	<b>4,0 6,8 40 30</b>	<b>4,5 7,7 50 40</b>	<b>5,0 8,5 50 40</b>	<b>5,0 8,5 50 40</b>	<b>4,5 7,7 50 40</b>	<b>4,0 6,8 40 30</b>
6	Raps-Ganzpflanzen- verwertung (Energiegewinnung):	-30	-130	-230	-180	-280	-420	-30	-130	-30

**Tab. A1: (Fortsetzung)**

Nummer	Standort / STG <sup>1)</sup> :	1 / 1	2 / 2 Leichte Böden	3 / 3	4 / 4 Mittlere bis	5 / 5 schwere Böden	6 / 6	7 / 1 Schwarz- erden	8 / 2 Tonböden	9 / 1 Böden d. Höhenlg.
7	Raps- Ganzpflanz- verwertung (Energiegewinnung): +Rindergülle (7 % TM):	-30 243 <b>213</b>	-130 243 <b>113</b>	-230 324 <b>94</b>	-180 324 <b>144</b>	-280 405 <b>125</b>	-420 405 <b>-15</b>	-30 405 <b>375</b>	-130 405 <b>275</b>	-30 324 <b>294</b>
8	Raps-Korn: +Strohzufuhr:	-30 292 <b>262</b>	-130 346 <b>216</b>	-230 407 <b>177</b>	-180 462 <b>282</b>	-280 523 <b>243</b>	-420 577 <b>157</b>	-30 577 <b>547</b>	-130 523 <b>393</b>	-30 462 <b>432</b>
9	Raps-Korn: +Strohzufuhr: +Schweinegülle (8 % TM): +Stoppelfrucht: +Gründüngung 15 t/ha (10 % TM):	-30 292 116 330 48 <b>756</b>	-130 346 116 230 48 <b>610</b>	-230 407 174 130 48 <b>529</b>	-180 462 174 180 48 <b>684</b>	-280 523 232 80 48 <b>603</b>	-420 577 232 -60 48 <b>377</b>	-30 577 232 330 48 <b>1157</b>	-130 523 232 230 48 <b>903</b>	-30 462 174 330 48 <b>984</b>
10	Raps-Korn: +Strohzufuhr: +30 t/ha Stalldung (verrottet, 25 % TM):	-30 292 720 <b>982</b>	-130 346 720 <b>936</b>	-230 407 720 <b>897</b>	-180 462 720 <b>1002</b>	-280 523 720 <b>963</b>	-420 577 720 <b>877</b>	-30 577 720 <b>1267</b>	-130 523 720 <b>1113</b>	-30 462 720 <b>1152</b>

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

**Körnermais**

Erträge / Dün- gung	Körnermais, Korn- Stroh-Verhältn. 1,0 Kornertrag (t/ha): Strohertrag (86 % TM, t/ha): Hühnertrockenkot (45 % TM, m <sup>3</sup> /ha):	7,5	8,0	9,0	9,5	10,0	11,0	11,0	10,0	8,0
11	Körnermais, Stroh- abfuhr:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
12	Körnermais: +Strohzufuhr (86 % TM):	-310 310 <b>0</b>	-410 330 <b>-80</b>	-510 372 <b>-138</b>	-460 392 <b>-68</b>	-560 413 <b>-147</b>	-700 454 <b>-246</b>	-310 454 <b>144</b>	-410 413 <b>3</b>	-310 330 <b>20</b>
13	Körnermais: +Strohzufuhr (86 % TM; hoher Wert):	-310 626 <b>316</b>	-410 667 <b>257</b>	-510 751 <b>241</b>	-460 792 <b>332</b>	-560 834 <b>274</b>	-700 917 <b>217</b>	-310 917 <b>607</b>	-410 838 <b>428</b>	-310 667 <b>357</b>
14	Körnermais: +Strohzufuhr (86 % TM): +Hühnertrockenkot (45 % TM):	-310 310 216 <b>216</b>	-410 330 216 <b>136</b>	-510 372 252 <b>114</b>	-460 392 252 <b>184</b>	-560 413 288 <b>141</b>	-700 454 288 <b>42</b>	-310 454 288 <b>432</b>	-410 413 288 <b>291</b>	-310 330 216 <b>236</b>

Tab. A1: (Fortsetzung)

Nummer	Standort / STG <sup>1)</sup> :	1 / 1	2 / 2 Leichte Böden	3 / 3	4 / 4 Mittlere bis	5 / 5 schwere Böden	6 / 6	7 / 1 Schwarz- erden	8 / 2 Tonböden	9 / 1 Böden d. Höhenlg.
<b>Silomais</b>										
Erträge / Dün- gung	Silomais FM-Ertrag (t/ha):	35,0	37,5	40,0	45,0	50,0	60,0	60,0	50,0	40,0
	Gärrückstand (m <sup>3</sup> /ha):	30	33	35	40	45	55	55	45	35
	Rindergülle (7 % TM; m <sup>3</sup> /ha):	40	40	50	50	60	60	60	60	50
15	Silomais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
16	Silomais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
	+Rindergülle (7 % TM):	324 14	324 -86	405 -105	405 -55	487 -73	487 -213	487 177	487 77	405 95
17	Silomais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
	+Gärrückstand (4 % TM):	168 -142	182 -228	196 -314	224 -236	252 -308	308 -392	308 -2	252 -158	196 -114
18	Silomais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
	+Gärrückstand (4 % TM):	168	182	196	224	252	308	308	252	196
	+Untersaat:	450	350	250	300	200	60	450	350	450
	+Gründüngung 15 t/ha (10 % TM):	48 356	48 170	48 -16	48 112	48 -60	48 -284	48 496	48 240	48 384
19	Silomais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
	+Kompost 17 t/ha (120 kg N/ha, 40 % TM) (½ Gabe):	850 540	850 440	850 340	850 390	850 290	850 150	850 540	850 440	850 540

Stroh: niedriger Wert = 41,3 kg C/t; hoher Wert = 83,4 kg C/ha; R.-Gülle: mittlere Werte; Hühnertrockenkot: hohe Werte

**Zuckerrüben**

Erträge / Dün- gung	Zuckerrüben, Rüb.- Blattverhältnis 0,7)									
	Rübenenertrag (t/ha): Blattertrag (10 % TM; t/ha):	50,0 35,0	52,5 36,8	55,0 38,5	60,0 42,0	65,0 45,5	75,0 52,5	75,0 52,5	60,0 42,0	52,5 36,8
20	Zuckerrüben Zuckerrübenblatt- Abfuhr:	-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
21	Zuckerrüben:	-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
	+Zuckerrübenblatt- Gründüngung (10 % TM; niedriger Wert):	35 -475	37 -573	39 -672	42 -618	46 -714	53 -847	53 -457	42 -568	37 -473
22	Zuckerrüben:	-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
	+Zuckerrübenblatt- Gründüngung (10 % TM):	112 -398	118 -492	123 -587	134 -526	146 -614	168 -732	168 -342	134 -476	118 -392

Gründüngung: mittlere Werte = 3,2 kg C/t; niedrige Werte = 1,0 kg C/ha



**Tab. A1: (Fortsetzung)**

Nummer	Standort / STG <sup>1)</sup> :	1 / 1	2 / 2 Leichte Böden	3 / 3	4 / 4 Mittlere bis	5 / 5 schwere Böden	6 / 6	7 / 1 Schwarz- erden	8 / 2 Tonböden	9 / 1 Böden d. Höhenlg.
<b>Kartoffeln</b>										
	<b>Erträge / Düngung</b>									
	<b>Speise- oder Verarbeitungsware Knollenertrg. (t/ha):</b>	30	40	40	50	50	55	55	50	40
	<b>Rindergülle (7 % TM; m<sup>3</sup>/ha):</b>	25	35	35	35	35	45	45	35	35
	<b>Stallung (verrottet, 25 % TM; t/ha):</b>	25	30	30	35	35	40	40	35	30
23	Speise- oder Verarbeitungs-Kartoffeln:	-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
24	Speise- oder Verarbeitungs-Kartoffeln: +Rindergülle	-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
	(7 % TM):	203	284	284	284	284	365	365	284	284
		<b>-308</b>	<b>-327</b>	<b>-426</b>	<b>-376</b>	<b>-476</b>	<b>-536</b>	<b>-145</b>	<b>-326</b>	<b>-226</b>
25	Speise- oder Verarbeitungs-Kartoffeln: +Stallung (verrottet, 25 % TM):	-510	-610	-710	-660	-760	-900	-510	-610	-510
		700	840	840	980	980	1120	1120	980	840
		<b>190</b>	<b>230</b>	<b>130</b>	<b>320</b>	<b>220</b>	<b>220</b>	<b>610</b>	<b>370</b>	<b>330</b>
Gülle: mittlere Werte; Stallung: mittlere Werte										
<b>Körnerleguminosen (Ackerbohne, Erbse)</b>										
	<b>Erträge</b>									
	<b>Körnerleguminosen (t/ha):</b>	2,0	2,5	3,2	4,0	4,5	5,0	5,0	4,5	3,0
26	Körnerleguminosen:	410	310	210	260	160	20	410	310	410
<b>Futterleguminosen und Ackergras</b>										
	<b>Erträge</b>									
	<b>Futterleguminosen u. Ackergras (Hauptnutzungs-jahr) (t/ha):</b>	25	30	35	40	45	55	55	45	40
27	Futterleguminosen u. Ackergras, Hauptnutzungs-jahr, Abfuhr:	850	750	650	700	600	460	850	750	850
28	Futterleguminosen u. Ackergras, Hauptnutzungs-jahr: +Gründüngung letzter Aufwuchs 20 t/ha (20 % TM, mittlerer Wert):	850	750	650	700	600	460	850	750	850
		128	128	128	128	128	128	128	128	128
		<b>978</b>	<b>878</b>	<b>778</b>	<b>828</b>	<b>728</b>	<b>588</b>	<b>978</b>	<b>878</b>	<b>978</b>
29	Futterleguminosen u. Ackergras, Ansaatjahr: +Aufwuchs-Mulchen / Gründüng. als Grünschnitt (20 % TM):	650	550	450	500	400	260	650	550	650
		50	60	70	80	90	110	110	90	80
		<b>700</b>	<b>610</b>	<b>520</b>	<b>580</b>	<b>490</b>	<b>370</b>	<b>760</b>	<b>640</b>	<b>730</b>
<b>Gezielte Begrünung</b>										
30	Ab Frühjahr des Brachejahres:	650	550	450	500	400	260	650	550	650

 Grünschnitt: niedrige Werte = 2 kg C/t; mittlere Werte = 6,4 kg C/ha; <sup>1)</sup> STG = Standortgruppe (siehe Tab. 1)

**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/Referat Pflanzenbau  
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:**

22.05.2013

**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.