



Foto: agrar-press

# Standortangepasste Humusversorgung im Maisanbau

## Bilanzierungsergebnisse zur Fruchtfolgegestaltung nutzen

Eine hohe Bodenfruchtbarkeit basiert gleichermaßen auf günstigen biologischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens. Den Humusstoffen des Bodens kommt hierbei eine zentrale Bedeutung zu. So nutzen die Bodenlebewesen die organische Substanz als Futter zur Energiegewinnung. Durch diese Umsatz- und Abbauprozesse werden u. a. Schleimstoffe gebildet, die entscheidend zur Krümelbildung und -stabilität beitragen. Für die Aufrechterhaltung wichtiger Bodenfunktionen ist die stetige Zufuhr einer genügend hohen Menge an umsetzbarer organischer Substanz erforderlich. Die absoluten Gehalte an Humus an einem Standort geben keine Auskunft über das Versorgungsniveau. Deshalb müssen Bilanzierungsmethoden zum Einsatz kommen, mit denen auch Aussagen zum Umsatz der organischen Substanz getätigt werden können. Dies ist umso wichtiger, je extremer die Standort- und Anbauverhältnisse einzuschätzen sind.

Hartmut Kolbe, Nossen

Der Humusgehalt und die Umsetzung der organischen Substanz an den wichtigsten Standorten Mitteleuropas sind im Wesentlichen von Faktoren des Klimas, des Bodens und der Bewirtschaftung abhängig. Folgende Gewichtung kann angenommen werden:

- Klima bzw. Witterung mit meistens über 50 Prozent

- Eigenschaften des Bodens mit 20 bis 30 Prozent
- Maßnahmen der Bewirtschaftung (Fruchtfolge, Düngung etc.) mit 5 bis 30 Prozent der Variationsbreite.

Von den Maßnahmen der Bewirtschaftung wird die Humusbilanz entscheidend dadurch bestimmt, welche Frucht-

arten zum Anbau gelangen (Abb. 1). Die Humuswirkung wird durch Koeffizienten (Humusäquivalente, HÄQ, in kg C/ha) dargestellt, bei denen u. a. die Anbaudauer und die Ernte- und Wurzelrückstände (EWR) der Fruchtarten berücksichtigt werden (Balkenlänge = Variationsbreite der Standorte). Aufgrund der hohen EWR-Mengen und der Boden-

ruhe entstehen beim Anbau von Feldfutter, Körnerleguminosen und Untersaaten auf allen Standorten deutlich positive Salden (sogenannte „Humusmehrer“). Je größer der Anteil an Getreide und vor allem an Mais und Hackfrüchten als „Humuszehrer“ in der Fruchtfolge ist, umso negativer wird der Saldo ausfallen. Ein hohes Ertragsniveau führt über ansteigende EWR-Mengen zu einer Verbesserung der Versorgung.

Die auf den Betrieben verfügbaren oder von außen zugeführten organischen Materialien weisen auch eine stark unterschiedliche Humuswirkung auf. Auf Frischmasse (FM) bezogen, kommt dem Kompost und dem Stroh eine relativ hohe Wirkung 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. In Bezug auf die ausgebrachte Trockenmasse (TM) verbleiben bei der Gründüngung sowie meistens auch beim Stroh nur geringe Mengen als Humus im Boden zurück (Abb. 2). Dagegen weisen wiederum die verschiedenen Kompostarten sowie Stallung und auch Gärrückstände eine hohe Humusanreicherung im Vergleich zur TM-Zufuhr auf. Folgende Rangfolge der Reproduktionsleistung organischer Materialien kann formuliert werden: Kompost > Stallung > Gülle > Stroh > Gründüngung.

Die ausgewiesenen Gärrückstände beziehen sich vor allem auf Produkte aus der Vergärung von Rindergülle. Für die

Abb. 1: Bandbreite der Humifizierungskoeffizienten der Fruchtarten

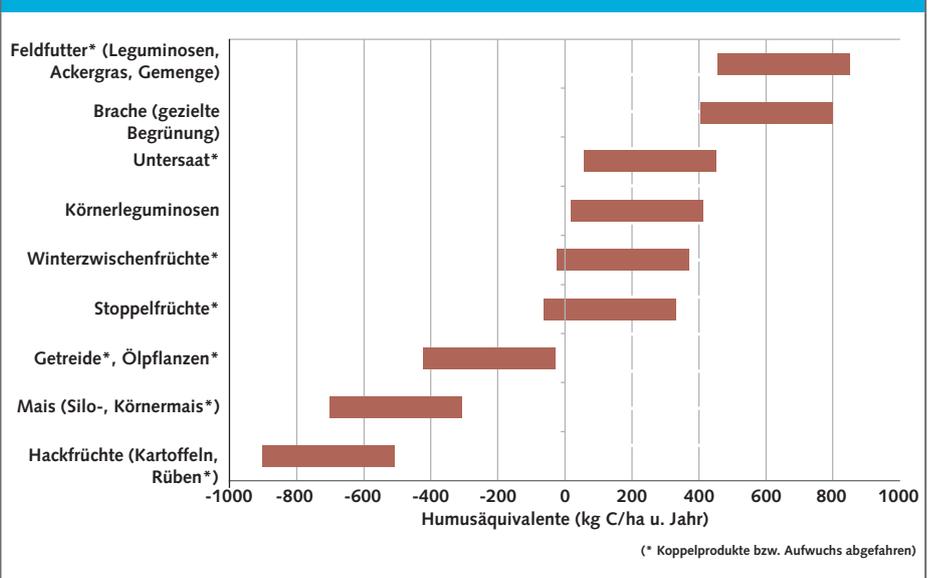
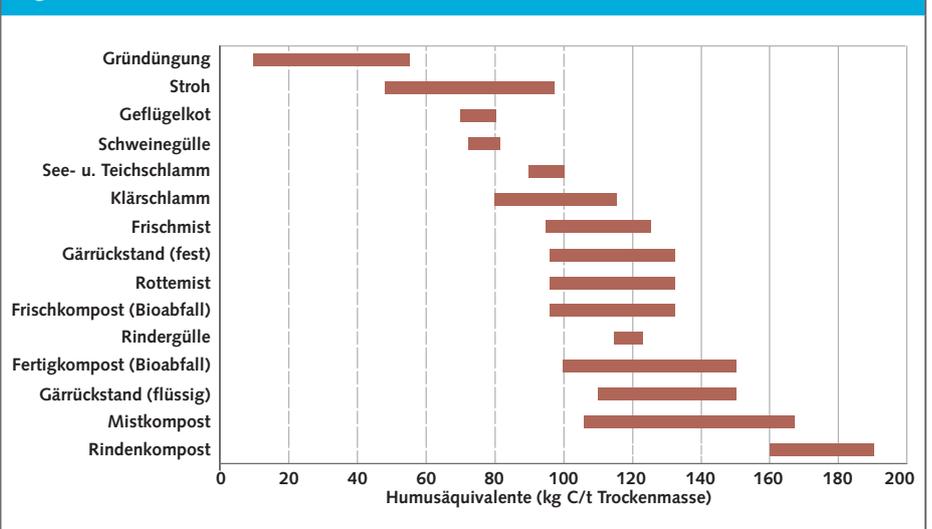


Abb. 2: Rangfolge und Variationsbreite der Humusreproduktion der organischen Materialien



Tab. 1: Standortbeschreibung sowie Erträge und organische Düngung einzelner Fruchtarten

Fruchtart	Boden:	Leichte Böden		Mittlere Böden		Schwere Böden		Schwarz-erden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.
		1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6			
	Standort / STG <sup>1)</sup> :	1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1
	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			
	Erträge / organ. Düngung									
<b>Silomais</b>										
	FM-Ertrag (t/ha):	35,0	37,5	40,0	45,0	50,0	60,0	60,0	50,0	40,0
	Gärrückstand (m³/ha):	30	33	35	40	45	55	55	45	35
	Rindergülle (7 % TM; m³/ha):	40	40	50	50	60	60	60	60	50
<b>Körnermais (Korn-Stroh-Verhältnis 1,0)</b>										
	Kornertrag (t/ha):	7,5	8,0	9,0	9,5	10,0	11,0	11,0	10,0	8,0
	Strohertrag (86 % TM, t/ha):	7,5	8,0	9,0	9,5	10,0	11,0	11,0	10,0	8,0
	Hühnertrockenkot (45 % TM, m³/ha):	6	6	7	7	8	8	8	8	6

<sup>1)</sup> STG = Standortgruppe (siehe Kasten Methodenwahl zur Humusbilanzierung)

Tab. 2: Standortangepasste Humusbilanzen (kg C/ha) für einige Anbaukonzepte von Silomais

Anbau-konzept	Boden: Standort / STG <sup>1)</sup> : Anbauverfahren	Leichte Böden		Mittlere Böden		Schwere Böden		Schwarz-erden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.
		1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1
S1	Silomais:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
S2	Silomais: + Rindergülle (7 % TM):	-310 324 14	-410 324 -86	-510 405 -105	-460 405 -55	-560 487 -73	-700 487 -213	-310 487 177	-410 487 77	-310 405 95
S3	Silomais: + Gärrückstand (4 % TM):	-310 168 -142	-410 182 -228	-510 196 -314	-460 224 -236	-560 252 -308	-700 308 -392	-310 308 -2	-410 252 -158	-310 196 -114
S4	Silomais: + Gärrückstand (4 % TM): + Untersaat: + Gründüngung 15 t/ha (10 % TM):	-310 168 450 48 356	-410 182 350 48 170	-510 196 250 48 -16	-460 224 300 48 112	-560 252 200 48 -60	-700 308 60 48 -284	-310 308 450 48 496	-410 252 350 48 240	-310 196 450 48 384
S5	Silomais: + Kompost 17 t/ha (120 kg N/ha, 40 % TM) (½ Gabe):	-310 850 540	-410 850 440	-510 850 340	-460 850 390	-560 850 290	-700 850 150	-310 850 540	-410 850 440	-310 850 540

Tab. 3: Standortangepasste Humusbilanzen (kg C/ha) für Körnermais

Anbau-konzept	Boden: Standort / STG <sup>1)</sup> : Anbauverfahren	Leichte Böden		Mittlere Böden		Schwere Böden		Schwarz-erden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.
		1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1
K1	Körnermais: Strohabfuhr:	-310	-410	-510	-460	-560	-700	-310	-410	-310
K2	Körnermais: + Strohzufuhr (86 % TM):	-310 310 0	-410 330 -80	-510 372 -138	-460 392 -68	-560 413 -147	-700 454 -246	-310 454 144	-410 413 3	-310 330 20
K3	Körnermais: + Strohzufuhr (86 % TM; hoher Wert):	-310 626 316	-410 667 257	-510 751 241	-460 792 332	-560 834 274	-700 917 217	-310 917 607	-410 838 428	-310 667 357
K4	Körnermais: + Strohzufuhr (86 % TM): + Hühner trockenkot (45 % TM):	-310 310 216 216	-410 330 216 136	-510 372 252 114	-460 392 252 184	-560 413 288 141	-700 454 288 42	-310 454 288 432	-410 413 288 291	-310 330 216 236

Vergärung pflanzlicher Substrate (z. B. Maissilage) liegen bisher noch keine verlässlichen Koeffizienten vor. Sie dürften auf TM-Basis zwischen Gärrückstand (flüssig) und Klärschlamm einzuordnen sein. Die Menge an anfallenden Gärsubstraten kann unter Angabe der Substraterträge und der sogenannten Fugatfaktoren mithilfe eines Gärrest-Rechners berechnet werden: [http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Biogasquelle\\_neu.xls](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Biogasquelle_neu.xls).

### Standortbeschreibung und Anbaukonzepte

In Tabelle 1 werden neun verschiedene Standorte beschrieben, die zu sechs Standortgruppen (STG) komprimiert werden können. Sie umfassen die wichtigsten Boden- und Klimabedingungen

Deutschlands. Vereinfacht ausgedrückt nimmt die Umsetzung an Humus sowie die Bodenbonität und Ertragsfähigkeit von STG 1 nach STG 6 zu (Standorte 1 bis 6). Bei hoher Umsetzungsaktivität erfolgt von einer zugeführten Menge an organischer Substanz die geringste Humusreproduktion und das höchste Ertragspotenzial (und anders herum). 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 ausgewiesen (Standorte 7 bis 9, „Sonderstandorte“). Aufgrund weiterer C/N-Verhältnisse im Boden und ungünstiger Klimlagen ist der Humusumsatz dieser Standorte geringer.

Für die ausgewiesenen Maisanbaukonzepte sind Humusbilanzen mit einer Me-

thode berechnet worden, mit der standortgenaue Ergebnisse erlangt werden können (Methode STAND, siehe Kasten).

### Humusbilanzen von Silo- und Körnermais

Bei alleiniger Bilanzierung der angebauten Fruchtart kommt es durch Silomais auf allen Standorten zu deutlich negativen Humussalden (Tab. 2, S1). Wird demgegenüber Körnermais angebaut, so können die negativen Salden bereits erheblich abgemildert werden, wenn das Stroh auf dem Feld verbleibt (Tab. 3, K2). Aufgrund der vergleichsweise engeren C/N-Verhältnisse sollten auch für Maisstroh eher niedrigere Humifizierungskoeffizienten angenommen werden. Oft ist der Stroheinsatz für die Humusbilanz von großer Bedeutung, wobei eine erheb-

**Tab. 4: Humusbilanzen (kg C/ha; Versorgungsgruppen<sup>1)</sup>) von Fruchtfolgen mit Silomais sowie Rinder- und Milchviehhaltung**

Anbau-konzept	Boden: Standort / STG <sup>2)</sup> : Anbauverfahren	Leichte Böden		Mittlere Böden		Schwere Böden		Schwarz-erden	Tonböden	Böden d. Höhenlg.
		1 / 1	2 / 2	3 / 3	4 / 4	5 / 5	6 / 6	7 / 1	8 / 2	9 / 1
F1 0,0 GV/ha	50 % S.-Mais 25 % Z.-Rübe – Blatt 25 % Getr.-GPS – Stroh	-290 A	-390 A	-490 A	-440 A	-540 A	-680 A	-290 A	-390 A	-290 A
F2 0,0 GV/ha	25 % S.-Mais 25 % Z.-Rübe + Blatt 25 % Getr. – Stroh + W.-Zwischenfr. + GD 25 % Getr. + Stroh	-29 C	-139 B	-249 A	-171 B	-279 A	-435 A	53 C	-94 B	6 C
F3 0,3 GV/ha	25 % S.-Mais + 1/2 R.-Gülle 25 % Z.-Rübe + Blatt 25 % Getreide – Stroh + W.-Zwischenfr. + GD 25 % Getr. + Stroh	11 C	-99 B	-199 B	-120 B	-218 A	-374 A	114 D	-33 C	57 C
F4 0,7 GV/ha	25 % S.-Mais + R.-Gülle 25 % Z.-Rübe – Blatt 25 % Getr. + Stroh 25 % Getr. + Stroh + W.-Zwischenfr. + GD a	78 C	-20 C	-97 B	-8 C	-85 B	-233 A	255 D	103 D	166 D
F5 1,0 GV/ha	25 % S.-Mais + R.-Gülle 25 % S.-Mais + 1/2 R.-Gülle 25 % Z.-Rübe – Blatt 25 % Getr. + Stroh	-114 B	-201 A	-257 A	-193 B	-249 A	-375 A	15 C	-99 B	-50 C
F6 1,5 GV/ha	50 % S.-Mais + R.-Gülle 25 % Z.-Rübe – Blatt 25 % Getr. + Stroh + W.-Zwischenfr. + GD	35 C	-77 B	-148 B	-72 C	-142 B	-303 A	184 D	46 C	109 D
F7 2,3 GV/ha	50 % S.-Mais + R.-Gülle 25 % Getr. + Stroh 25 % Getr. + Stroh + Gülle + W.-Zwischenfr.2	231 D	133 D	90 C	180 D	138 D	-10 C	477 E	325 E	354 E
F8 3,0 GV/ha	75 % S.-Mais + R.-Gülle 25 % Getr.-GPS + W.- Zwischenfr. + GD + Gülle	162 D	58 C	-7 C	56 C	-8 C	-163 B	325 E	180 D	243 D
F9 3,7 GV/ha	25 % S.-Mais + U.-Saat + Gülle a. 50 % S.-Mais + R.-Gülle 25 % Ackerfutter + Gülle	500 E	436 E	371 E	434 E	370 E	256 D	744 E	558 E	621 E

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

liche Ertragsabhängigkeit auf den Standorten zu bedenken ist.

Durch Einsatz von Stalldung oder Kompost können die Salden auf allen Standorten erheblich aufgebessert werden, was den Wert der festen organischen Düngemittel unterstreicht. Auch durch eine an das jeweilige Ertragsniveau angepasste Güllegabe können die Humussalden aufgebessert werden. Das trifft auch bei Rückführung der Gär-rückstände aus der Biogasvergärung von z. B. Maissilage zu (Tab. 2, S3, S4). 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. Je nach Standort kann zusätzlich z. B. noch eine Untersaat im Mais oder zu einer anderen Fruchtart im Rahmen der Fruchtfolge erforderlich werden.

Es ist auch zu bedenken, dass mit ansteigenden Erträgen höhere Mengen an Gärresten erzeugt werden. Das unterschiedlich hohe Ertragsniveau und die entsprechend angepassten Düngungsmengen sind also bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen, denn durch diese Standorteinflüsse kommt es auf lange Sicht gesehen zu einer spezifischen Veränderung der Humussalden.

### Fruchtfolgebeispiele

Die Humusbilanzen einzelner Fruchtarten gewähren jedoch noch kein vollständiges Bild, daher wurden in Tabelle 4 ganze Fruchtfolgen mit Mais verschiedener Anbauintensitäten miteinander verglichen. In der Fruchtfolge F1 wurden Anbaukonzepte mit hohem Umfang an Fruchtarten realisiert, die vom Feld abgeerntet werden. Es wird begonnen mit

einer Anbaukombination aus 50 Prozent Silomais, 25 Prozent Zuckerrüben und 25 Prozent Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS), wobei alle Koppelprodukte z. B. zur Energiegewinnung vom Feld abgeerntet werden und keine Rückführung in Form von Gärsubstraten oder ähnlichen Düngemitteln erfolgt. In dieser Fruchtfolge werden auf allen Standorten stark defizitäre Humussalden ermittelt.

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 bis 5 werden dagegen stark negative Werte ermittelt, sodass unter diesen Anbaukonzepten keine Aufrechterhaltung der Humusgehalte gelingen wird.

## Methodenwahl zur Humusbilanzierung

Zur Überprüfung des Versorgungsgrades mit organischer Substanz wird der anbauspezifische Bedarf der Kulturarten der Humuszufuhr über organische Materialien gegenübergestellt. Das Bilanzierungsprinzip zeigt die Abbildung unten. Die Genauigkeit von Bilanzierungsmethoden haben wir an den Ergebnissen vieler Dauerversuche aus Mitteleuropa überprüft. Je nach eingesetzter Methode werden ganz verschiedene Ergebnisse erlangt. Eine eindeutige Interpretation der jeweils erhaltenen Bilanzierungsergebnisse kann jedoch nur gelingen, wenn man die Einsatzziele und Genauigkeit der Methoden kennt. In einer neuen Studie wurden hierzu am LfULG die bisher verfügbaren Untersuchungen für den konventionellen und ökologischen Landbau zusammengefasst (<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13615>).

### Standortangepasste Methode und Methode CCB

Die standortangepasste Bilanzierungsmethode (STAND) basiert auf einer Differenzierung der Humuskoeffizienten nach Standortfaktoren, die die Humusreproduktionsleistung beeinflussen. Dabei wird im Wesentlichen die unterschiedliche Wirkung von Bodenart, Feinanteil, C/N-Verhältnis, Temperatur und Niederschlag auf die Humifizierung berücksichtigt. Diese Parameter werden in 6 Standortgruppen (STG) ähnlich wirkender Standortfaktoren zusammengefasst und ausgewiesen. Da die Umsetzungsaktivität von den über einen längeren Zeitraum gegebenen Mengen an organischen Materialien beeinflusst wird, werden die Reproduktionskoeffizienten der organischen Materialien zudem in die Stufen „gering“, „mittel“ und „hoch“ differenziert. Die Methode CCB (CANDY Carbon Balance) ist eine stark vereinfachte Version des wissenschaftlichen Prozessmodells CANDY. Das Verfahren befin-

det sich in der Testphase für eine praktische Nutzung zur Berechnung des Humusumsatzes und der N-Mineralisation.

**Einschätzung:** Es handelt sich um Methoden mit halb- bis voll-quantitativen Ergebnissen und deutlichen bis hohen Korrelationen zwischen den berechneten Humussalden bzw. -gehalten und den Humusgehalten des Bodens ermittelt aus Dauerversuchen ( $r = 0,74$ ). Weil Standortunterschiede berücksichtigt werden, können gesicherte Aussagen über die Veränderung der Humusgehalte des Bodens getroffen werden. Bei ausgeglichenen Salden wird eine rel. genaue Humusreproduktion erreicht (-0,01 bis +0,06 Prozent  $C_{org}$ ). Daher können mit folgender vereinfachter Gleichung die Ergebnisse der Humusbilanzierung in Humusgehalte des Bodens umgerechnet werden: Differenz Gehalt Humus (Prozent TM) = Humussaldo (Humusäquivalente in kg C/ha u. Jahr) x 0,001. Die Abschätzung von Abfuhrpotenzialen an Energiepflanzen (z. B. Silomais, Stroh) erfolgt standortgenau und in Versorgungsgruppe C werden optimale Erträge der Fruchtarten angestrebt.

### VDLUFA-Methode

Mit der VDLUFA-Methode wird ein Saldo aus dem Humusverlust (Anbau humuszehrender Kulturarten) und der Humuszufuhr (Anbau humusmehrender Kulturarten, organische Düngung) errechnet. Die Humuswirkung der angebauten Fruchtarten und der zugeführten organischen Materialien wird in Form von Koeffizienten erfasst. Bei den Fruchtartenkoeffizienten kann mit den unteren oder/und den oberen Werten der Methode gerechnet werden.



**Einschätzung:** Mit dieser Methode werden orientierende bis halb-quantitative Ergebnisse mit mäßig hohen Korrelationen ( $r = 0,27-0,29$ ) ermittelt. Es können keine gesicherten Aussagen über die Veränderung der Bodenhumusgehalte getroffen werden. Standortunterschiede können kaum berücksichtigt werden, was erheblich zur statistischen Streuung der Ergebnisse beiträgt. Bei ausgeglichenen Salden erfolgt bei Anwendung der oberen Werte der Fruchtartenkoeffizienten eine erweiterte Humusreproduktion (+0,13 Prozent  $C_{org}$ ), eine Unterschätzung von Abfuhrpotenzialen und es werden in Versorgungsgruppe C weitgehend maximale Erträge erzielt. Bei Verwendung der unteren Werte der Koeffizienten wird eine einfache Reproduktion (+0,02 Prozent  $C_{org}$ ) und ein annähernd optimales Ertragsniveau erreicht. Dagegen erfolgt eine relativ unsichere Ermittlung von Abfuhrpotenzialen mit der Tendenz zu einer Überschätzung auf bestimmten Standorten.

Neben einer manuellen Berechnung von Humusbilanzen (zur Beschreibung geeigneter Methoden und Berechnungsunterlagen siehe: <http://orgprints.org/13626>) steht heute die Nutzung des Personalcomputers im Vordergrund. Die beschriebenen 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/>. <<

### Das Prinzip der Humusbilanzierung

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

Bilanzergebnisse von  $-300 \text{ kg C/ha}$  und weniger müssen als bedeutende ungünstige Bewirtschaftungsverhältnisse umschrieben werden. Hohe Fehlbeiträge an organischer Substanz führen zu einer deutlichen Verschlechterung der Bodenfruchtbarkeit, was oft jedoch erst nach Jahrzehnten durch auftretende Schäden in der Bodenstruktur und eine abnehmende Ertragsfähigkeit bemerkt wird. Derartige Anbauverhältnisse werden deshalb durch das VDLUFA-Bewertungssystem mit der Versorgungsgruppe A eingestuft. Nach Umrechnung in Gehalte an  $C_{\text{org}}$  (30 cm Bodenkrume, spezifisches Gewicht 1,5) wird lediglich ein leichter Abfall der Humusgehalte von ungefähr  $-0,17 \text{ Prozent } C_{\text{org}}$  ermittelt. An diesem Beispiel wird deutlich, dass Versuche, derartige beschriebene Bewirtschaftungsverhältnisse über die alleinige Bodenuntersuchung auf  $C_{\text{org}}$  herleiten zu wollen, meistens zum Scheitern verurteilt sind, da die gewöhnlich vorzufindende Schwankungsbreite der  $C_{\text{org}}$ -Ergebnisse auf Praxisflächen viel zu groß ist.

Stehen in diesen Anbaukonzepten keine (festen) organischen Düngemittel zur Verfügung, so muss die Fruchtfolge so verändert werden, dass die humuszehrenden Fruchtarten im Anbau verringert werden. Daher wurde zunächst der Umfang des Maisanbaus reduziert. Bei den Fruchtfolgen F2 und F3 mit jeweils 25 Prozent Silomais, Zuckerrüben inkl. Blatt-Gründung sowie Getreide mit und ohne Strohverbringung kann auch bereits eine geringe Tierhaltung vorhanden sein. Durch diese Ackerbewirtschaftung kommt es auf den „Sonderstandorten“ bereits zu einer zufriedenstellenden Bereitstellung an organischer Substanz, sodass meistens die Versorgungsstufe C erreicht wird. In Regionen mit höheren Temperaturen und verstärktem Humusumsatz reicht das Versorgungsniveau aber bei Weitem noch nicht aus, um ausgeglichene Humussalden zu gewährleisten (STG 3, 5, 6).

Durch Hinzufügung von leicht abbaubarer organischer Substanz, die z. B. in Form der Gründüngung relativ enge C/N-Verhältnisse aufweist, wird der Humusumsatz stark angeregt. Auf den umsatzintensiven Standorten kann dies wahrscheinlich über sogenannte „Priming-Effekte“ dazu führen, dass auch weitere Humusvorräte des Bodens angegriffen werden. Der Anbau einer größeren Menge an zur Gründüngung bestimmter Pflanzen ist daher auf diesen



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

Foto: Schmidt, LfULG

Böden nicht immer sinnvoll und kann unter bestimmten Umständen auch kontraproduktiv wirken im Hinblick auf die Schonung der Humusreserven und den Wasserschutz. Dagegen führt die verstärkte Gründüngung auf Böden mit weiteren C/N-Verhältnissen und durchschnittlicher bis geringer Umsetzungsaktivität zu einer mäßigen bis deutlichen Verbesserung der Humusversorgung. Hierbei ist allerdings zu bedenken, dass ein Anbau von Zwischenfrüchten nicht immer gelingt. Dies trifft in den meisten Fällen auf den Schwarzerden wegen Wassermangels zu. In den Bergregionen kann die kurze Vegetationsperiode durch die niedrige Temperaturen ebenfalls die Anbauwürdigkeit von Zwischenfrüchten begrenzen.

In Systemen mit Rindergülle aus circa  $0,7 \text{ GV/ha}$ , 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 (F4). Auf den umsatzstarken Standorten reicht das Aufkommen an organischer Substanz jedoch noch nicht aus, um die Versorgungsgruppe A zu verlassen. Bei Anhebung der Güllebereitstellung auf über  $1,0 \text{ GV/ha}$  kann sich auf diesen Standorten (STG 5, STG 6) die Versorgungslage sogar wieder verschlechtern, wenn der Silomaisanbau zur Futterbereitstellung zuungunsten des Getreide-

anbaus dann ausgedehnt werden muss (F5, F6).

Erst durch Herausnahme der Zuckerrübe, verstärkter Anbau von Getreide oder Ausdehnung des Silomaisanbaus auf 75 Prozent der Fläche und weiter steigende Rinderhaltung kann auch auf diesen fruchtbaren Lehmlandstandorten ein zufriedenstellender Versorgungsgrad mit organischer Bodensubstanz gewährleistet werden (F7, F8). Bei diesem Intensitätsniveau wird dann auf den meisten anderen Standorten schon eine Überversorgung mit organischer Substanz sichtbar (Versorgungsstufen D bis E). Die Überversorgung nimmt infolge einer weiteren Erhöhung der Güllezufuhr bis auf über  $3,5 \text{ GV/ha}$  noch deutlich zu (F9). Auf diesen reinen Futterbaubetrieben erfolgen dann ein Anbau von 75 Prozent Silomais und eine Integration von 25 Prozent intensiv gedüngten Ackerfutters.

In defizitären Fruchtfolgen ist das Ackerfutter durch Anbau von Gras- und Kleearten sowie von Luzerne hervorragend geeignet, eine deutliche Saldaufbesserung zu erreichen. 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 Ackerflä-



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

Foto: Kolbe, LfULG

chen zu Dauergrünland nicht sinnvoller ist.

Aus der relativen Zuordnung der humuszehrenden und humusmehrenden Komponenten der Fruchtfolgen geht hervor, dass im Durchschnitt der Standorte eine ordnungsgemäße Landbewirtschaftung erfolgen kann, wenn die Werte der Humuszehrer in etwa 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 Gülledüngung zu.

## Schlussfolgerungen

In den weitverbreiteten Marktfruchtbetrieben mit intensivem Getreideanbau ist eine ausgeglichene Humusbilanz heute meistens ohne Probleme zu realisieren. Das liegt an den nur geringfügig negativen Humifizierungskoeffizienten der Getreidearten und an dem zur Verfügung stehenden Strohaufkommen. Ein anderes Ergebnis ist zu erwarten, wenn ein wesentlicher Anteil der Ganzpflanzen-Aufwüchse und des Stroh z. B. zur Energiegewinnung abgeerntet wird. Das kann auch für Betriebe mit einem hohen Anbauumfang an Mais zutreffen.

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 sicherzustellen, dass nur so viele nachwachsende Rohstoffe erzeugt und abgefahren werden können, bis ausgeglichene Humussalden erreicht bzw. auf Dauer nicht unterschritten werden. Es ist daher zu überlegen, wie Humus aufbauende Elemente (Fest- u. Flüssigmiste, Stroh, Zwischenfrüchte, Gründüngung) im Rahmen der gesamten Fruchtfolge integriert werden können.

Stehen keine organischen Düngemittel zur Verfügung, dann werden ausgeglichene Bilanzen nur durch Umstellung der Fruchtfolge gelingen. Um negative Auswirkungen eines zu hohen Maisanbaus zu vermeiden, muss die Fruchtfolge dann durch Reduktion des Anteils an Fruchtarten mit negativen Koeffizienten (Hackfrüchte, Mais) gegenüber solchen mit günstiger Humuswirkung (Getreide + Stroh, Ackerfutter) aufgebessert werden.

Auch viehhaltende Betriebe haben in der Regel entscheidende Vorteile in der Aufrechterhaltung des Humusspiegels. Eine Tierhaltung von 0,7 bis 2,0 GV/ha kann für die meisten Standorte als optimal angesehen werden. Wie die Ergebnisse gezeigt haben, gelingt dies auch bei hohen Maisanteilen in der Fruchtfolge. Eine pauschale Verurteilung des Maisanbaus ist daher nicht gerechtfertigt.

Aber auch ein Zuviel an organischer Bodensubstanz, z. B. aufgrund eines zu hohen Aufkommens an organischen Düngemitteln aus der Tierhaltung, kann schädlich sein. Dies hat insbesonde-

re dann eine Bedeutung, wenn bei Aufrechterhaltung dieser Anbauintensitäten in ein bis zwei Jahrzehnten die Anreicherungsphase an Humusstoffen und damit auch an Stickstoff im Boden beendet ist. Unter Beibehaltung sehr hoher Humussalden steigen dann mit der Zeit die Umsetzung des Humus und damit auch die Freisetzung an Stickstoff deutlich an. Aus diesem Grund sollten keine Humussalden im Durchschnitt der Fruchtfolgen 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. Auch gesetzliche Vorgaben aus Cross Compliance und der Dünge-VO können dann oft nicht mehr eingehalten werden.

In diesen Betrieben ist zudem die mineralische NPK-Düngung zusehends als Ausgleichsdüngung zu bemessen. Entsprechend der Nährstoffvorgabe aus den organischen Düngemitteln ist gegebenenfalls auch weitgehend auf eine mineralische Düngung zu verzichten, um eine Überversorgung mit bestimmten Nährstoffen auf Dauer zu verhindern. Notfalls muss ein Teil der organischen Düngemittel einer außerbetrieblichen Verwertung zugeführt werden. Je nach den betrieblichen Ausgangsbedingungen können aufgrund des hier vorgestellten Zahlenmaterials weitere individuelle Fruchtfolgebeispiele zusammengestellt und einer intensiven Auswertung zugeführt werden. <<

## ■ KONTAKT ■ ■ ■

**Dr. Hartmut Kolbe**

Landesamt für Umwelt,  
Landwirtschaft und Geologie, LfULG  
01683 Nossen

Telefon: 035242 6317103

Telefax: 035242 6317199

Hartmut.Kolbe@smul.sachsen.de