

# Vorwort

Die Entwicklung des ökologischen Landbaus hat sich lange Zeit am Idealbild eines Gemischtbetriebes orientiert. Dabei wird der Ackerbau maßgeblich durch die flächengebundene Tierhaltung beeinflusst. Die anfallenden Wirtschaftsdünger werden auf die Flächen zurückgeführt und dienen der Pflanzenernährung. Der Anbau des Feldfutters ist sowohl die Grundlage der Fütterung als auch das Boden aufbauende Glied innerhalb der Fruchtfolgen.

In den ökologisch wirtschaftenden Gemischtbetrieben lässt sich die Bodenfruchtbarkeit durch die weitgehend geschlossenen Nährstoffkreisläufe relativ einfach absichern. Bei spezialisierteren Betriebsformen, bei viehloser Wirtschaftsweise oder auf Standorten mit geringer natürlicher Fruchtbarkeit besteht jedoch ein höheres Gefährdungspotenzial.

Um die Bodenfruchtbarkeit langfristig zu erhalten, sollten die Struktur der Böden und die Nährstoff- und Humusversorgung regelmäßig überprüft werden. Nur durch vorsorgende Untersuchungen kann rechtzeitig bemerkt werden, ob ein Wachstumsfaktor ins Minimum gerät. Biologische, physika-

lische und chemische Kenngrößen dienen dabei als Kriterien für die Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit.

Ziel der Broschüre ist es, im Überblick die Methoden zur Bewertung der Bodenfruchtbarkeit darzulegen. Maßnahmen wie Spatendiagnose, Bodenuntersuchung sowie Düngungsbeurteilung und -bilanzierung sind einfache Kontrollinstrumente. So lassen sich Schwächen der Bewirtschaftung erkennen und Gegenmaßnahmen können ergriffen werden, um die Fruchtbarkeit der Böden und damit die Existenzfähigkeit des Betriebes nachhaltig abzusichern. Weiterführende Hinweise zu den einzelnen Verfahren sind in Form von Literatur- und Internetverweisen aufgeführt.



A handwritten signature in black ink, which appears to read 'N. Eichkorn'.

Norbert Eichkorn  
Präsident des Sächsischen  
Landesamtes für  
Umwelt, Landwirtschaft  
und Geologie

# Inhalt

<b>Grundsätze zur Steuerung der Bodenfruchtbarkeit</b>	<b>03</b>
<b>Untersuchungsmethoden</b>	<b>05</b>
Bodenleben	05
Bestimmung des Bodenlebens	07
Bodengefüge	09
Ursachen und Folgen von Bodenverdichtungen und Strukturschäden	10
Bestimmung des Bodengefüges	11
Hinweise zur Durchführung einer Spatendiagnose	12
Nährstoff- und Humusversorgung	14
Organische Substanz und Humus	16
Stickstoff	21
Grunddüngung, Spurenelemente und Kalkung	24
Pflanzenanalyse	27
Anwendung alternativer Methoden	27
Eckpunkte des Nährstoffmanagements	28
PC-Hilfsmittel	30
Literaturverzeichnis	31
Links	32

# Grundsätze zur Steuerung der Bodenfruchtbarkeit

Der Ackerboden dient den Kulturpflanzen als Standort und ist Lebensraum für die Bodenorganismen. Die natürliche Bodenfruchtbarkeit im Acker- und Grünland wird zunächst maßgeblich vom Ausgangsgestein und Relief sowie durch die langfristigen klimatischen Bedingungen und die Bodenorganismen eines Standortes bestimmt. So weisen Sandböden meistens ein niedrigeres Ertragsniveau auf als Lehm Böden. Durch ungünstige Klimlagen (z. B. Bergstandorte) sowie häufig auftretende Extremwetterlagen können die Ernten reduziert oder sogar gefährdet werden.

Bodenfruchtbarkeit wird durch lang- und kurzfristige anbautechnische Maßnahmen gesichert und basiert auf

- biologischen (Bodenleben),
- physikalischen (Bodengefüge) und
- chemischen Eigenschaften und Kennwerten (Nährstoffversorgung)

des Bodens.

Nur bei optimaler Ausgestaltung dieser drei Säulen der Bodenfruchtbarkeit kann das Ertragspotenzial eines Standortes voll ausgeschöpft werden.

Zu den langfristig und vorbeugend wirkenden Maßnahmen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit gehören:

- Günstige Vernetzung des Agrarraumes durch Ackerland, Grünland, Wald, Naturflächen und Nischen bildende Strukturen (z. B. Hecken)
- An den Standort angepasste Bodenbearbeitung, oberflächennahe Belassung von organischem Material und Anbau von tief wurzelnden (mehrjährigen) Feldfutterpflanzen
- Mechanische Unkrautregulierung sowie Unkraut und Krankheit reduzierende Fruchtfolgegestaltung

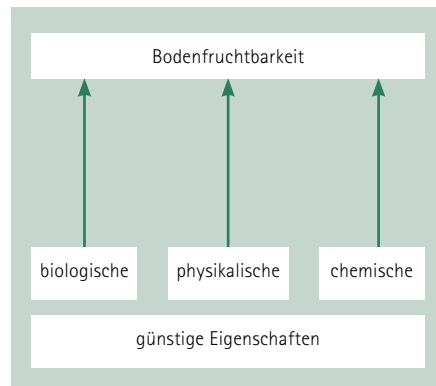


Abb.1 Die tragenden Säulen der Bodenfruchtbarkeit



Abb.2 Vernetzung des Agrarraumes begünstigt die Bodenfruchtbarkeit

■ Optimale Düngung mit ausgewogener Nährstoff- und Kalkversorgung durch weitgehend geschlossene Nährstoffkreisläufe, Anbau von Leguminosen (N-Zufuhr), Gründüngung sowie Zufuhr an organischen Düngemitteln unter Berücksichtigung ihrer:

- Nährstoffzusammensetzung (N : P : K : Mg : Ca : S),
- Bodenleben fördernden Eigenschaften (Gründüngung > Gülle > Stalldung > Stroh),
- Humus bildenden Eigenschaften (Kompost > Stalldung > Gülle > Stroh > Gründüngung).

Entsprechend der EU-Ökoverordnung muss das nachhaltige Ertragsvermögen des Bodens gesichert werden, indem die Fruchtbarkeit des Bodens erhalten bleibt und in geeigneten Fällen gesteigert wird durch

- Förderung des Bodenlebens und der biologischen Vielfalt,
- Verhinderung von Bodenverdichtungen und Erosion,
- Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen hauptsächlich über den Boden,
- Minimierung der Verwendung von nicht erneuerbaren Ressourcen und außerbetrieblichen Produktionsmitteln,
- Wiederverwertung von Abfallstoffen und Nebenerzeugnissen der pflanzlichen und tierischen Produktion,
- Bevorzugung vorbeugender, regional und standortangepasster Maßnahmen.

# Untersuchungsmethoden

In den letzten Jahrzehnten wurde ein ganzes Sortiment von Methoden zur Messung und Kontrolle der Bodeneigenschaften entwickelt. Diese Untersuchungen werden im Folgenden beschrieben und können mit gutem Erfolg in Beratung und Praxis des Ökolandbaus angewendet werden. Zu jedem Kapitel können darüber hinaus vertiefende Hinweise aus dem Literaturverzeichnis und den Links entnommen werden.

## Bodenleben

Aktuelle Schätzungen beziffern die Menge an Bodenlebewesen auf 10 – 20 t/ha an Lebendmasse, was umgerechnet einem Besatz von 20 – 40 GVE je Hektar gleichzusetzen wäre! Der Lebensraum Boden ist durch eine enorm große Artenvielfalt an Tieren,

Pflanzen und Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Algen) gekennzeichnet.

Die Bodenorganismen leben in einem vernetzten System, in dem die Nahrungsketten ineinandergreifen. Bakterien und Pilze, die die organischen Rückstände zersetzen, sind die Nahrungsgrundlage z. B. für Faden- und Ringelwürmer. Von angerotteter organischer Substanz ernähren sich Milben, Springschwänze (Collembolen) und die Larven von Insekten. An der Spitze der Nahrungskette im Boden stehen Regenwürmer und einige Säugetiere.

Die Bodenlebewesen haben entscheidenden Einfluss auf den Umsatz der organischen Substanz durch Humusbildung und Nährstoffmineralisierung. Die bis zu ihrer mineralischen Form abgebauten Pflanzenteile

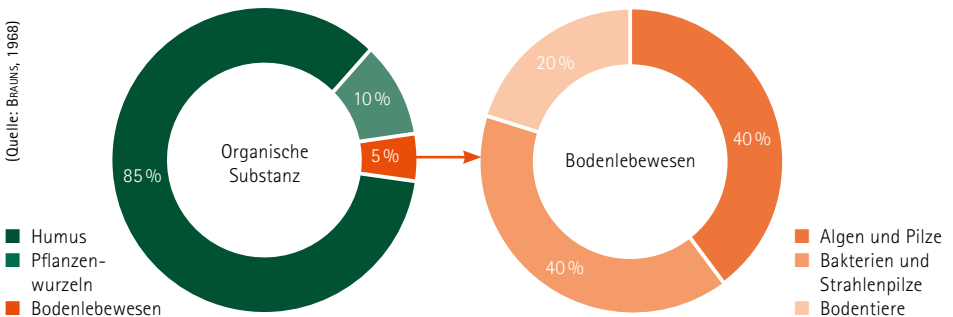


Abb. 3 Der Lebensraum Boden



Abb. 4 Regenwürmer nehmen Bodenteile und organische Substanz auf, verdauen sie und geben sie als Losung wieder ab.

und die Ausscheidungen der Tiere sind dann die Grundlage für die Ernährung der Pflanzen. Bodenorganismen fördern das pflanzliche Wachstum auch durch symbiotische Lebensgemeinschaften (Mykorrhiza u. Knöllchenbakterien an Pflanzenwurzeln), Bereitstellung von Nährstoffen und Abbau von Schaderregern und Schadstoffen im Boden. Durch ihre Tätigkeiten tragen die Bodenlebewesen zur Durchmischung des Bodens bei. Der Boden wird gelockert und durchlüftet, woran besonders die großen Regenwurmarten beteiligt sind. Sie ziehen mit der beweglichen Oberlippe einzelne Strohhalme und andere Pflanzenteile in den Boden, lassen sie dort verrotten, um sie anschließend mit dem gesamten Aufwuchs an Mikroorganismen und Einzellern als Nahrung zu

verwerten. Neben den pflanzlichen Rückständen nehmen sie auch Mineralien auf. Der Regenwurm Kot wird an die Bodenoberfläche abgegeben. Die Röhren der Regenwürmer dienen der Durchlüftung und der Drainage von Oberflächenwasser. Sie sind Wurzelraum für Pflanzen und Lebensraum für Bodenorganismen, die selbst nicht graben können (BAUCHHENS, 2005).

Der Regenwurm Kot und die von den Mikroorganismen gebildeten Schleimstoffe tragen über die sogenannte Lebendverbauung maßgeblich zur Krümelbildung bei (Ton-Humus-Komplexe). Dadurch vergrößert sich das Porenvolumen und die Wasserführung wird verbessert. Diese gute Bodenstruktur ist ein wichtiger Erosionsschutz gegen äußere Einflüsse wie Starkregen und Sturmeinwirkung.

### Bestimmung des Bodenlebens

Methoden zur Bestimmung des Bodenlebens werden größtenteils in der Forschung angewendet (Tab.1). In der Praxis können die Besiedlung mit Regenwürmern und bestimmte Unkräuter als Zeigerpflanzen erfasst werden.

#### Bestimmung der Besiedlung mit Regenwürmern als Indikator für die biologische Aktivität

Von der Regenwurmdichte kann in gewisser Weise auf die Besiedlung mit anderen nicht sichtbaren Bodentieren bzw. Mikroorganismen geschlossen werden. Die Regenwurm-besiedlung kann im Rahmen einer Spaten-diagnose (siehe Tab. 4) ermittelt werden. Anhand eines Schätzrahmens wird an einer

Fläche von 10 × 10 cm der Bodenprofilwand (Abb.5) der Anteil an Makroporen nach folgenden Abstufungen bestimmt (WEYER & BOEDDINGHAUS, 2009):

- Geringer Anteil: 1 – 2% der Fläche (nur vereinzelt alte Wurzelgänge, Regenwurmgänge selten)
- Mittlerer Anteil: 2 – 5% der Fläche (Anzahl Regenwurm-gänge und Makroporen geringer)
- Hoher Anteil: 5 – 10% der Fläche (auffallend viele Regenwurm-gänge und alte Wurzelgänge).


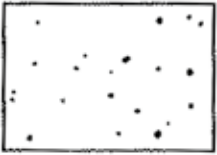
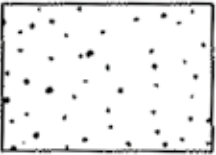
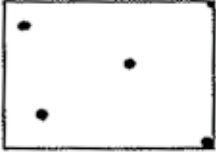

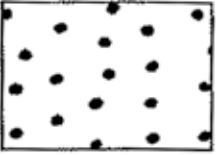
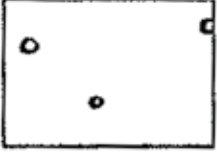
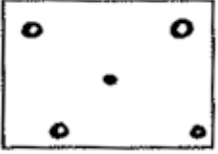
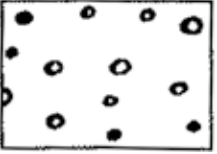
Porengröße ( $\varnothing$ in mm)	Anteil sichtbarer Poren am Bodenvolumen (in Vol-%)		
	1- < 2 (gering)	2- < 5 (mittel)	5- $\leq$ 10 (hoch)
0,5- < 1 (fein)			
1- < 2 (mittel)			
2- $\leq$ 5 (grob)			

Abb. 5 Bestimmung des Makroporenanteils am Bodenvolumen (Quelle: AD-HOC ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005)

**Tab. 1 Verfahren zur Messung des Bodenlebens**

Artenspektrum	Methode	Anwendung
Regenwürmer (u. a. Bodentiere)	Auszählung, Bonitur	Feld, Forschung u. Praxis: ■ Wurmlösung auf der Bodenoberfläche ■ Wurmgänge im Boden
	Bestimmung der Biomasse	Feld, Forschung: ■ Austreibung mit geeigneten Mitteln
Unkräuter u. -gräser	Auszählung, Bonitur	Feld, Forschung u. Praxis: ■ Zeigerpflanzen
Bodentiere (Mikroorganismen)	Bestimmung der Fressaktivität	Feld, Forschung: ■ z. B. Köderstreifen-Test
Bodentiere	Bestimmung der Biomasse	Feld, Forschung: ■ z. B. Bodenfallen
Mikroorganismen	Bestimmung der Biomasse	Labor, Forschung
Mikroorganismen	Bestimmung der Enzymaktivitäten	Labor, Forschung

*Bestimmung von Unkräutern als Indikator des Bodenzustandes*

Die auftretenden Begleitkräuter und -gräser können auf dem Acker- und Grünland aufgrund ihrer Bindung an bestimmte Standorte als Indikatoren für Bodeneigenschaften wie Feuchtigkeit (Stau nässe), Bodenreaktion und Nährstoffversorgung genutzt werden. Die einen Standort prägenden Eigenschaften können so durch eine Feldbegehung am Auftreten bestimmter Zeigerpflanzen erkannt werden. Ein Standort lässt sich umso sicherer beurteilen, je mehr Zeigerpflanzen für einen Standortfaktor vorhanden sind (Tab. 2).

Die Bildung von stauenden Schichten kommt häufig bei Pseudogleyen vor. Werden Böden bei zu feuchten Bedingungen bearbeitet, können auch auf anderen Böden Stauschichten entstehen. Auf diesen Böden kommen dann Pflanzenarten verstärkt vor, die bei ihrer Keimung einen geringeren Sauerstoffgehalt benötigen und die die Verdichtung des Bodens ertragen. Hinsichtlich der Nährstoffversorgung muss darauf hingewiesen werden, dass bei einer guten Nährstoffversorgung alle Unkrautarten üppiger gedeihen als bei schlechter Versorgung. Es kommen aber anspruchsvollere Arten hinzu, ohne allerdings die genügsamen Arten ganz zu verdrängen (ELLENBERG, 1990).



**Tab. 2 Ausgewählte Zeigerpflanzen des Ackerlandes**

Basenzeiger (hohe pH-Werte)	Säurezeiger (niedrige pH-Werte)	Nährstoffzeiger (i. d. R. Stickstoff)	Bodenverdichtungen anzeigende Pflanzenarten
Feld-Rittersporn	Kleiner Sauerampfer	Vogelmiere	Ackerhundskamille
Persischer Ehrenpreis	Kleiner Vogelfuß	Acker-Hellerkraut	Acker-Fuchsschwanz
Klatsch-Mohn	Ackerkrummhals	Bastard-Gänsefuß	Persischer Ehrenpreis
Kleine Wolfsmilch, Breitblättrige Wolfsmilch, Sonnen- wendwolfsmilch	Acker-Spergel	Kohl-Gänsedistel	Windhalm
		Purpurrote Taubnessel	Huflattich

Quellen: HILBIG & MAHN (1974); ELLENBERG (1986); HANKE (2006)

## Bodengefüge

Die Anordnung der festen kleinsten Bodenteilchen und die Art ihrer Zusammenlagerung (Aggregation) bilden die Struktur des Bodens, die als Bodengefüge bezeichnet wird. Das Bodengefüge bestimmt den Umfang und die Gliederung der Bodenhohlräume. Über den Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt wird damit ein entscheidender Einfluss auf die Bedingungen des Pflanzenwachstums ausgeübt. Die Gefügebildung ist von vielen Faktoren abhängig und kann z. B. über die Zufuhr an organischer Substanz, die Bodenbearbeitung sowie das Befahren der Flächen beeinflusst werden.

Die Entwicklung von Bodenkrümeln setzt zunächst die Flockung der kleinsten Bodenkolloide (Tonminerale, Humusteilchen) voraus. Begünstigt wird die Verkittung der Koagulate zu Ton-Humus-Komplexen durch günstige pH-Werte, eine hohe Humusversorgung und die sogenannte Lebend-

verbauung durch die Arbeit der Bodenmikroorganismen und Bodentiere. Ein reiches Bodenleben und eine hohe biologische



Abb. 6 Kamille als Anzeiger für Bodenverdichtungen

Aktivität des Bodens fördern daher die Gefügebildung in Richtung Krümelgefüge, das die besten Verhältnisse für die Wasserführung, Durchlüftung, Durchwurzelung und den Nährstoffhaushalt schafft (Tab. 3).

Im Vergleich zum Grünlandboden ist die Krümelstruktur der Ackerkrume selten als optimal zu bezeichnen. Bodenfragmente wie Bröckel, Klumpen und Schollen sind das Ergebnis der Bodenbearbeitung und keine natürlichen Gefüge. Die Bodenbearbeitung wirkt nur auslösend auf die Gefügebildung von Böden, wenn diese krümelbereit sind und die Bearbeitung bei geeigneter Feuchtigkeit geschieht.

Demgegenüber bildet sich bei konservierender Bodenbearbeitung zwar ein dichteres Gefüge aus, die Eigenschaften zum Gas-

und Wasseraustausch können dennoch günstiger sein als im gepflügten Boden. Hierfür ist der Anteil tiefreichender Grobporen zu bestimmen, die als Leitbahnen für die Wurzeln, für die Luft- und Wärmeleitfähigkeit und für die Besiedlung mit Regenwürmern genutzt werden.

### Ursachen und Folgen von Bodenverdichtungen und Strukturschäden

Verdichtungen (Pflugsohlen, Schmierschichten) im Boden hemmen das Wurzelwachstum der Kulturpflanzen. Der Anteil der luft- und wasserhaltenden Poren nimmt ab, sodass die Luft- und Wasserleitfähigkeit eingeschränkt wird. Es kann zu Vernässungen und Beeinträchtigungen der Befahrbarkeit des Bodens kommen. Die Lebensbedin-

**Tab. 3 Was kennzeichnet ein gutes Bodengefüge?**

Kennzeichen	beschreibende Merkmale
Krümelgefüge bzw. Mischgefüge aus Krümeln und locker-porösen Bröckeln	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ biogenes Aufbaugefüge, das aus rundlichen Aggregaten zusammengeballter Bodenteilchen mit sehr rauer Oberfläche besteht, tritt vorwiegend im Bearbeitungshorizont auf</li> </ul>
mittlere Lagerungsdichte	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Taschenmesser lässt sich mit wenig Kraft in den Boden drücken</li> <li>■ 1,4–1,6 g/cm<sup>3</sup></li> </ul>
hohe Regenwurmaktivität	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Anteil an Makroporen von 5–10% der untersuchten Fläche</li> </ul>
ungehinderter Gas- und Wasseraustausch	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ keine deutlich sichtbaren Trennlinien im Bodenaufbau</li> <li>■ Ernterückstände weitgehend abgebaut</li> </ul>
gleichmäßiges, ungehindertes Wurzelwachstum	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wurzelbildung mit einem hohen Anteil an Feinwurzeln und einer senkrecht in die Tiefe wachsenden Pfahlwurzel</li> </ul>

Quelle: WEYER (2008)

gungen für die Bodenlebewesen werden schlechter und die biologische Aktivität wird gehemmt. Zu den wichtigsten Ursachen von Schadverdichtungen des Bodens gehören:

- Befahren und Bodenbearbeitung bei zu feuchtem Boden,
- Befahren mit zu hohen Radlasten,
- Fahren auf der Pflugsohle beim Pflügen,
- Staunässe durch schadhafte Drainagen und natürliche Abflüsse,
- unpassende bzw. stumpfe Bearbeitungsgeräte,
- zu tiefes Einpflügen von organischen Materialien,
- enge Fruchtfolgen mit zu geringer Zufuhr an organischen Materialien: Hackfrüchte > Getreide > Klee gras,
- zu hohe Viehbesatzdichten bei zu feuchter Witterung (Grünland).

Gerade im Frühjahr erfolgt dann sowohl die Mineralisation und Freisetzung der Nährstoffe als auch das Wurzelwachstum der Pflanzen nicht optimal. Stellenweises Auftreten von Wachstumsdepressionen und Aufhellungen der Pflanzenbestände oder die Beinigkeit der Rüben können ebenfalls auf Strukturschäden hinweisen. Störungen im Bodengefüge geben somit auch Hinweise auf Mängel in der Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit der Flächen.

### Bestimmung des Bodengefüges

Von den angebotenen Untersuchungsmethoden (Tab. 4) kann in der landwirtschaftlichen Praxis insbesondere mithilfe einer



Abb. 7 Ein gleichmäßiges und intensives Wurzelwachstum zeigt eine gute Bodenstruktur an.

erweiterten Spatendiagnose die Bodenkrume der Ackerschläge bis unter die Pflugsohle einer genauen visuellen Untersuchung unterzogen werden (Hinweise S.12). Mit einer Profilgrube besteht die Möglichkeit, eine Feldgefügeansprache bis zum Unterboden vorzunehmen (siehe Links).

## Hinweise zur Durchführung einer Spatendiagnose

Für die Spatendiagnose benötigt man einen handelsüblichen Spaten bzw. ein Spatenset, ein Taschenmesser, einen Zollstock, ein Notizbuch sowie einen Fotoapparat.

An ausgewählten Stellen des Schlages wird zunächst eine kleine Grube bis zu einer Tiefe von ca. 35 cm ausgehoben. Danach werden die Seiten des Bodenquaders im Bereich einer ungestörten Grubenwand abgestochen. Um Strukturveränderungen bei der Bodenentnahme zu minimieren, sollte der Spaten beim Einstechen in den Boden nur längs zur Blattfläche bewegt werden. Das Herausheben der Probe erfolgt dann nur über den Druck des Spatenblattes im Bereich der Grundfläche des Bodenquaders.



Abb.8-11 Erstellung einer Spatendiagnose

Schon das Einstechen des Spatens in den Boden gibt Auskunft über die Lagerungsdichte. Am Bodenblock können Querrisse auf einen Bearbeitungshorizont hinweisen (Abb. 12) und Farbunterschiede zeigen den Übergang vom bearbeiteten Oberboden zum unbearbeiteten Unterboden an. Die Durchwurzelung gibt Auskunft über die Bedingungen für das Pflanzenwachstum. Dabei ist es wichtig, auf Unterschiede in den Profiltiefen zu achten, z. B. ob Wurzeln abknicken oder waagrecht wachsen um Verdichtungsschichten zu umgehen. Je feiner und gleichmäßiger die Wurzeln in die Tiefe wachsen, umso günstiger ist das Bodengefüge zu beurteilen.



Abb. 12 (oben) Die Pflugsohle zeigt sich an der horizontalen Bruchlinie.

Abb. 13 Große Bodenbruchstücke kennzeichnen einen ungünstigen Bodengefügezustand.

Organische Rückstände können aus Stoppelresten, Stroh und Stallmist bestehen. Hierzu ist es wichtig, in welcher Tiefe sich die organische Substanz befindet und in welchem Verrottungszustand sie ist. Dies kann mit den Händen bestimmt werden (gut verrottet = bröselig; wenig verrottet = zäh) oder über den Geruch. Dabei zeigt ein erdiger Geruch eine gute Durchlüftung und eine gute Verrottung an. Ein fauler Geruch weist auf eine ungenügende Durchlüftung hin, wenn die organische Substanz zu tief vergraben wurde oder wenn der Boden längere Zeit wassergesättigt war.

Nach der ersten Beurteilung erfolgt die Abwurfprobe. Der Spaten mit dem Bodenblock wird dazu auf ca. 1 m Höhe über die Erdoberfläche angehoben, um den Boden dann auf eine feste Unterlage fallen zu lassen. Dabei zerfällt der Boden in seine Aggregate, sodass die Gefügestärke und der Verfestigungsgrad der Aggregate bestimmt werden können.

**Tab. 4 Methoden zur Untersuchung und Kontrolle der Bodenstruktur**

Methode	Anwendung
erweiterte Spatendiagnose: <i>Untersuchung des Bodenblocks</i>	Feld, Forschung und Praxis ■ Bodenoberfläche, Bodenaufbau, Wurzelwachstum, Rottezustand der organischen Materialien, Bodenfarbe und -geruch
<i>Fallprobe</i>	■ Bodengefüge ■ Verfestigungsgrad der Aggregate
<i>Untersuchung der Bodenprofilwand (waagrecht und senkrecht)</i>	■ Lagerungsdichte (Taschenmesser) ■ Makroporenanteil (Regenwurmaktivität, Durchwurzelung)
Profilgrube (100 × 50 × 50 cm)	Feld, Forschung und Praxis ■ Feldgefügeansprache
Eindringwiderstand Bodenprofil (senkrecht)	Feld, Forschung und Praxis ■ Handsonde, Penetrometer
Wasserinfiltrationsrate u. Wasserhaltefähigkeit des Bodens	Feld, Forschung
Lagerungsdichte	Labor, Forschung
Aggregat-, Krümelstabilität	Labor, Forschung
Erosionsanfälligkeit	Feld, Forschung und Praxis ■ Bodenabtragsberechnung


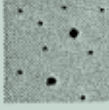





In Tabelle 5 zeigen die Noten 1 und 2 gute Bodenbedingungen an, während die Note 3 Anlass für eine Klärung der ungünstigen Ursachen gibt. Die Noten 4 und 5 deuten auf Belastungen hin, die über die Eigenstabilität des Bodens hinausgehen. Der Umgang mit dem Boden muss verbessert werden unter Nutzung geeigneter Formen der Bodenbearbeitung, schonender Bereifung und Befahrung, verstärktem Anbau von tief wurzelnden Fruchtarten und genügend hoher Zufuhr an organischen Materialien. Die »Entscheidungshilfe Bodendruck« ist eine Excel-Anwendung zur Einschätzung der mechanischen Bodenbelastung von

landwirtschaftlichen Maschinen und kann aus dem Internet heruntergeladen werden (siehe Links).

## Nährstoff- und Humusversorgung

Im ökologischen Landbau steht die effektive Ausnutzung der im betrieblichen Kreislauf vorhandenen und anfallenden Pflanzennährstoffe im Vordergrund. Die Nährstoffbereitstellung erfolgt weitgehend über den Umsatz der organischen Substanz, die Nährstoffmobilisierung durch die Pflanzen und das Bodenleben, den Einsatz von

Tab.5 Bewertung von Gefügeformen in landwirtschaftlich genutzten Böden

Gefügeform	Charakter	Ausprägung	Bewertung
Boden ohne erkennbare Aggregate			
Einzelkorn 	Keine Aggregate vorhanden, lose Körner, z. B. Sand	Locker bis verdichtet	3 – 4
Kohärent 	Körner ohne Strukturbildung aber zusammenhängend, z. B. schluffreicher Unterboden	Locker, porös bis dicht, ohne Poren	2 – 5
Aggregate erkennbar			
Krümel 	Abgerundete Formen, teilweise schwammartig verklebt, z. B. garer Oberboden	1 bis 10 mm	1
Polyeder 	Glatte Flächen, scharfe Kanten, keine bevorzugte Lageorientierung im Boden, z. B. tonreiche Böden	Fein < 5 mm bis groß > 20 mm (Durchmesser)	2 – 4
Bröckel 	Poröse Aggregate mit rauen, unregelmäßigen Oberflächen Entstehung bei der Bodenbearbeitung unter günstigen Bedingungen	< 50 mm (Durchmesser)	2 – 3
Klumpen 	Oberflächen teilweise verschmiert, Entstehung bei der Bodenbearbeitung unter ungünstigen Bedingungen	> 50 mm (Durchmesser), Größe und Dichte variieren	4 – 5
Platten 	Horizontal orientierte Platten, kennzeichnen Bodenverdichtung, Entstehung bei der Bodenbearbeitung unter ungünstigen Bedingungen	Plattenstärke und -dichte sowie Stapelhöhe variieren	4 – 5

Quelle: HÄNSEL (2008)

betriebseigenen Wirtschaftsdüngern und den Anbau von Leguminosen und Nicht-leguminosen in der Fruchtfolge. Zwei Gesetzmäßigkeiten müssen Beachtung finden:

1. Das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs besagt, dass infolge steigender Düngung der Ertragszuwachs immer geringer wird. Bei (zu) geringer Nährstoffzufuhr erfolgt eine deutliche Ertragsreaktion. Berechnete Nährstoffbilanzen weisen dann sehr niedrige positive Werte oder gar negative Salden auf, die Effizienz der eingesetzten Nährstoffe ist gewöhnlich hoch. Sie kann auch Werte von über 100 % annehmen. Bei (zu) hoher Düngung werden demgegenüber maximale Erträge erreicht. Da jedoch die Nährstoffeffizienz dann deutlich sinkt,

können hohe positive Nährstoffsalden berechnet werden.

2. Das Gesetz vom Minimum besagt, dass der Nährstoff oder Wachstumsfaktor, der im Minimum vorhanden ist, die Ertragsbildung der Fruchtarten am meisten begrenzt (Abb. 15).

Damit rechtzeitig Informationen über die Entwicklung und den Zustand der Nährstoffversorgung vorliegen, ist ein regelmäßiges Kontrollprogramm zum Nährstoffmanagement durchzuführen (Tab. 6).

### Organische Substanz und Humus

Für die Überprüfung des Versorgungsgrades mit organischer Substanz sind betriebs- oder schlagbezogene Humusbilanzen des Ackerlandes als geeignetes übergeordnetes Kontrollinstrument anzusehen, da deren Ergebnisse zu vielen substanziellen Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit eine Beurteilung erlauben. Die Bodenuntersuchung für Humus ist dagegen als ergänzendes Mittel geeignet, da deren Ergebnisse hohen Schwankungen unterliegen (Tab. 6: Humus).

### Humusbilanzierung

Für die Berechnung der betriebs- oder schlagbezogenen Humusbilanz sind nur relativ leicht zu erhebende Bewirtschaftungsdaten (Schlagkarteiaufzeichnungen) notwendig. Zur Humusbilanzierung sollte der Mindestumfang von einer Fruchtfolgerotation nicht unterschritten und eine Methode gewählt werden, mit der eine standortangepasste

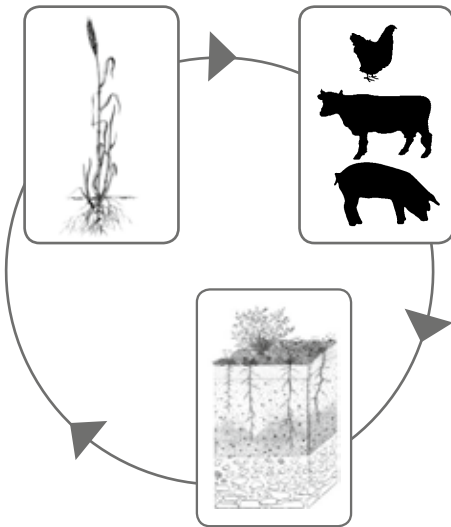


Abb. 14 Schematische Darstellung des betrieblichen Nährstoffkreislaufs



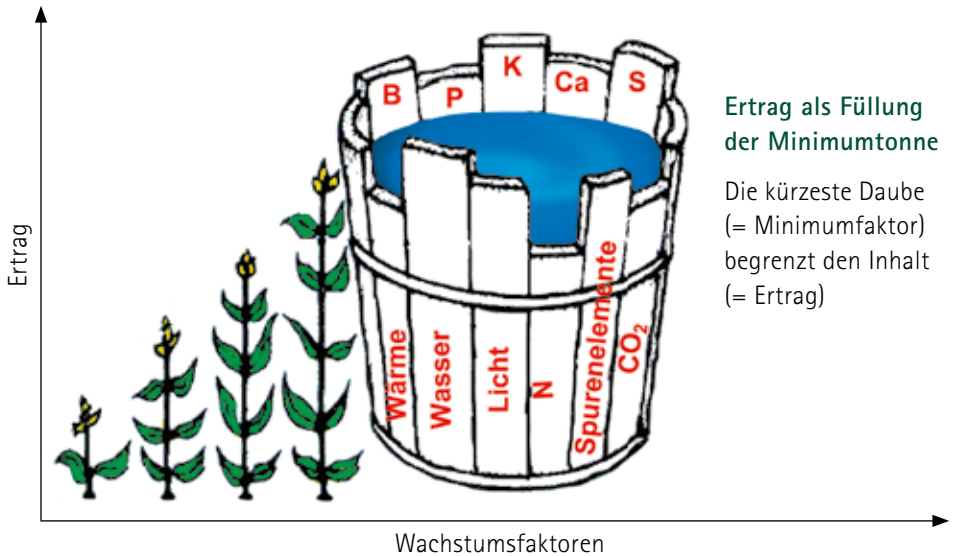


Abb.15 Minimum-Tonne (nach JUSTUS VON LIEBIG)

Bewertung nach folgender Einstufung vorgenommen werden kann:

A	sehr niedrig	≤ -200
B	niedrig	-200 bis -76
C	optimal	-75 bis +400
D	hoch	+401 bis +600
E	sehr hoch	≥ +600 kg C/ha und Jahr

Für folgende Aufgaben kommt der Humusbilanzierung eine besondere Bedeutung zu:

1. im Rahmen der Umstellungsplanung bzw. der Prüfung alternativer Betriebskonzepte mit Änderungen der Frucht-

- folge, Verwertung der Haupt- und Nebenprodukte, der organischen Düngung i. d. R. unter Zuhilfenahme der Beratung
2. zur Abstimmung zwischen dem Anfall organischer Dünger aus der Tierhaltung und der Ausrichtung des Pflanzenbaus
3. zur optimalen Gestaltung von Fruchtfolgen (Humusmehrer – Humuszehrer).

Marktfruchtbetriebe mit deutlichen Anteilen an Hackfrüchten, Gemüsearten oder nachwachsenden Rohstoffen in der Fruchtfolge sind auf einen hohen Export und Verkauf von pflanzlichen Produkten angewiesen. Diese Betriebe sollten sich mindestens an der Versorgungsgruppe C ausrichten und darauf achten, dass diese Versorgungsgruppe nicht unterschritten wird, da sonst ein

standort- und bewirtschaftungstypischer Humusgehalt sowie die Bodenfruchtbarkeit langfristig nicht erhalten werden und deutliche Ertragsausfälle auftreten können.

Viehlos wirtschaftende Marktfruchtbetriebe können daher in den meisten Fällen keine großen Reserven an organischer Substanz im Boden anhäufen. Vielmehr sollten sie auf einem angemessen hohen Grundversorgungsniveau besonders darauf achten, dass die Umsetzung der organischen Substanz optimal abläuft. Zur Nährstoffmobilisierung tragen eine intensiv betriebene Gründüngung (z. B. mit legumen Zwischenfrüchten und anderen jungen Pflanzenbeständen), eine Zufuhr an organischen Düngern mit relativ engen C/N-Verhältnissen und hohen Nährstoffgehalten (Biogasgülle, Handelsdüngemittel), eine standortangepasste Bodenbearbeitung und eine gute Kalkversorgung der Böden bei. Die gleiche Vorgehens-

weise kann auch für Betriebe auf Standorten empfohlen werden, die zu einem geringen Humusumsatz neigen (Bergstandorte, Böden mit weiten C/N-Verhältnissen).

Auf der anderen Seite stehen Betriebe mit umfangreichem Futterbau, dessen Anteil in der Fruchtfolge entsprechend der Tierhaltung auszurichten ist (Futterplan). Diese Betriebe sichern ein angemessen hohes Ertragsniveau an pflanzlichen und besonders an tierischen Produkten, indem sie durch eine hohe Zufuhr an organischer Substanz über Ernte- und Wurzelrückstände des Futterbaus und durch hofeigene Wirtschaftsdünger eine erhöhte Menge an umsetzbarer organischer Substanz des Bodens sicherstellen. Bei hoher Zufuhr steigt mit der Zeit die Nährstofffreisetzung im Vergleich zur Humusanreicherung überproportional an. Auf lange Sicht können hierdurch auch z. T. deutlich ansteigende Humusgehalte erreicht werden.



Abb.16 Luzernegrasbestand als Humusförderer

**Tab. 6: Methoden zur Untersuchung der Nährstoff- und Humusversorgung in der landwirtschaftlichen und gärtnerischen Praxis**

Parameter	Methode	Anwendung
Datendokumentation	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Führung von Schlagkartei und Stallbuch (Achtung auf Vorhandensein von Schnittstellen zu anderen PC-Programmen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ zu jeder angebauten Fruchtart und Tierart, jährlich</li> <li>■ Bereitstellung von Informations- u. Dokumentations-Unterlagen zu Anbau, Düngung, Bodenuntersuchung, etc.</li> </ul>
Boden, Standort	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bestimmung der Bodenart</li> <li>■ Texturanalyse (Sand, Schluff, Ton)</li> <li>■ Besonderheiten des Profils (Tiefgründigkeit, Grundwasserstand, etc.)</li> <li>■ Klima- und Wetter-Daten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ einmalige Erfassung</li> <li>■ Bereitstellung von Standortinformationen</li> </ul>
Humus	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Humusbilanzierung u. Düngedarfsermittlung für organische Substanz (Ackerland)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Umstellung: Planung von Fruchtfolge und Dunganfall</li> <li>■ zu jeder deutlichen Änderung der Betriebsausgestaltung</li> <li>■ 1 × je 1–2 Fruchtfolgerotationen bzw. entspr. Cross Compliance</li> <li>■ Ziel: Versorgungsklassen*) C–D</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bodenuntersuchung der Ackerkrume auf: <math>C_{org}</math>, <math>N_t</math>, C/N-Verhältnis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 1 × Erhebungsuntersuchung, ggf. 1 × je Fruchtfolge</li> </ul>
Stickstoff (N)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <math>N_{min}</math>-Untersuchung des Bodens: <math>NO_3</math>-N, <math>NH_4</math>-N (CaCl<sub>2</sub>-Extrakt, <math>N_{min}</math>-Methode), Tiefe: Bodenkrume + Untergrund (0–60 bzw. 90 cm Tiefe)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Gartenbau: für jede Fruchtart jährlich vor dem Anbau</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Düngedarfsermittlung für N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 1 × vor Anbau jeder Fruchtart (insbes. im Gemüsebau unter Einbeziehung des Nährstoffbedarfs, <math>N_{min}</math>-Untersuchung, N-Nachlieferung u. weiteren Faktoren) bzw. entspr. der Düngeverordnung</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ N-Bilanzierung (Methoden Schlag-, Hoftor-, Stall-Bilanz, Nährstoffvergleich)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Umstellungsplanung</li> <li>■ 1 × je Fruchtfolgerotation bzw. jährlich entspr. d. Düngeverordnung</li> <li>■ Ziel: 5–40 kg N/ha und Jahr</li> </ul>
Schwefel (S)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <math>S_{min}</math>-Untersuchung (CaCl<sub>2</sub>-Extrakt), Bodenkrume + Untergrund (0–60 bzw. 90 cm Tiefe)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ im Bedarfsfall</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ S-Bedarfsprognose: Schwefel-Schätzrahmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ im Bedarfsfall</li> </ul>

Tab. 6 Fortsetzung

Parameter	Methode	Anwendung
Kalk (Ca)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bodenuntersuchung der Ackerkrume: pH-Wert (CaCl<sub>2</sub>-Methode)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ alle 3 – 5 Jahre (1 × je Fruchtfolgerotation)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Düngebedarfsermittlung (Kalkung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ alle 3 – 5 Jahre (1 × je Fruchtfolgerotation)</li> <li>■ Ziel: Erreichung und Sicherung der Klasse*) C</li> </ul>
Grundnährstoffe des Bodens: Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bodenuntersuchung der Ackerkrume auf pflanzenverfügbare Nährstoffe: P (DL-, CAL-Methode), K (DL-, CAL-Methode), Mg (CaCl<sub>2</sub>-Methode)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ alle 3 – 5 Jahre bzw. 1 × je Fruchtfolge</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Düngebedarfsermittlung für P, K, Mg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ alle 3 – 5 Jahre (unter Einbeziehung der Ergebnisse der Bodenuntersuchung)</li> <li>■ Ziel: Erreichung und Sicherung der Klasse*) B (Standard) – C (intensiver Gemüsebau)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nährstoffbilanzierung für P, K, Mg (Methoden Schlag-, Hoftor-, Stall-Bilanz, Nährstoffvergleich)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 1 × je 1–2 Fruchtfolgerotationen bzw. entspr. d. Düngeverordnung</li> <li>■ Ziel: P ≥ 0 kg; K leichte Böden ca. 15 kg/ha, schwere Böden bis -40 kg/ha</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kationen-Austausch-Kapazität (KAK): Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Im Bedarfsfall (unter Anleitung)</li> </ul>
Spurenelemente (Mikronährstoffe) des Bodens	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bodenuntersuchung der Ackerkrume auf pflanzenverfügbare Nährstoffe: Bor (B), Kupfer (Cu), Mangan (Mn), Molybdän (Mo), Zink (Zn), Eisen (Fe)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 1 × Erhebungsuntersuchung bei Bedarf: 1 × je 2 Fruchtfolgerotationen</li> </ul>
Pflanzenanalyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Untersuchung auf Haupt- und Spurenelemente</li> <li>■ visuelle Diagnose von Ernährungsstörungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Im Bedarfsfall Vergleich von Laboranalysen mit Tabellenwerten der betreffenden Nährstoffgehalte zu bestimmten Vegetationsphasen der Fruchtarten</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Blattdüngung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ziel: entspr. Labor- oder visueller Diagnose Behebung des Nährstoffmangels in frühen Vegetationsphasen der Fruchtarten</li> </ul>

\*) VDLUFA-Versorgungsklassen: A = sehr niedrig; B = niedrig; C = mittel; D = hoch; E = sehr hoch

Eine Zufuhr von festen organischen Düngern (Stalldung, Kompost) ist darüber hinaus auch für Betriebe geeignet, die auf Standorten mit besonders hohem Humusumsatz wirtschaften (Lehmböden, Böden mit sehr engen C/N-Verhältnissen). Der Bereich der Öko-Versorgungsstufe D (401 – 600 kg C/ha) darf nicht überschritten werden, da sonst auf Dauer auch negative Auswirkungen auf die Umwelt wie eine erhöhte N-Freisetzung auftreten können.

### Stickstoff

Zwischen der Versorgung mit organischer Substanz und mit Stickstoff bestehen enge Zusammenhänge. Da der Stickstoff allgemein als wachstumsbegrenzender Nährstoff anzusehen ist, wird das Ertragspotenzial der Fruchtarten weitgehend von Humusumsatz

und Nährstoffmineralisation bestimmt. Wegen des Potenzials zur N-Fixierung trägt der Fruchtfolgeanteil und der Anbauerfolg des Leguminosengliedes entscheidend zur N-Versorgung der Betriebsflächen bei.

Vor allem im ökologischen Gemüsebau stehen zur optimalen N-Düngungsbemessung der Fruchtarten Verfahren unter Nutzung der  $N_{\min}$ -Methode zur Verfügung, bei denen auch der durch das Bodenleben verursachte Nährstoffumsatz berücksichtigt werden kann. Für den Nährstoff Stickstoff, aber auch für Schwefel, befinden sich einige methodische Weiterentwicklungen allerdings erst in der Testphase (siehe Tab. 6: Stickstoff, Schwefel).

### Ermittlung des N-Düngebedarfs

Beim Anbau der Kulturen kann die Ermittlung des N-Düngebedarfes der Fruchtarten in Abhängigkeit vom Ertragspotenzial unter Nutzung folgender Nährstoffreserven vorgenommen werden:

- $N_{\min}$ -Vorrat zu Vegetationsbeginn (eventuell in Abhängigkeit von Fruchtfolgeposition und Standortbedingungen)
- N-Nettobereitstellung während der Vegetationszeit in Abhängigkeit von der Fruchtfolgeposition bzw. von der Vorfrucht, der Bewirtschaftung und den Rest- $N_{\min}$ -Werten nach der Ernte
- N-Bereitstellung aus der organischen Düngung zur Fruchtart
- Zu- bzw. Abschläge entsprechend den Standort- und Klimabedingungen und durch Bewässerung.



Abb. 17 Kohl benötigt für seine Entwicklung viel Stickstoff.

Für eine überschlagsmäßige Kalkulation der Nährstoffmenge an Stickstoff wird zunächst der N-Bedarf für einen Zielertrag der anzubauenden Fruchtart ermittelt, von dem die Nährstoffbereitstellung über die Vorkultur, die Bodenart und die organische Düngung zur Aussaat abgezogen werden. Die mögliche Nachlieferung an Stickstoff kann in Abhängigkeit von der Stellung nach Klee-gras berücksichtigt werden (Anleitungen siehe Links: Umsetzung der Düngeverordnung).

### Formen der N-Bilanzierung

Zur Überprüfung des durchschnittlichen Versorgungsgrades mit Stickstoff sind verschiedene Formen der Nährstoffbilanzierung anwendbar (Tab. 7). Eine N-Bilanzierung sollte möglichst unter Berücksichtigung aller Nährstoffquellen (Brutto-Saldierung) ggf. unter Zuhilfenahme der Beratung durchgeführt werden. Es werden die Zufuhren und Abfuhren von mindestens einer gesamten Fruchtfolge aufgeführt und saldiert.

**Tab. 7 Einordnung der Bilanzformen nach ihrer Anwendbarkeit**

Bilanzform	Ergebnis/Aussagefähigkeit	Anwendung
HofTOR	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ hohe Datenqualität und -sicherheit</li> <li>■ Überprüfung der Düngungsintensität</li> <li>■ keine Vollwertigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Bilanzierungen auf Betriebsebene, regionaler und nationaler Ebene</li> <li>■ Betriebsvergleiche</li> <li>■ agrarpolitische und administrative Verwendung</li> </ul>
HofTOR (Brutto)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ wie bei HofTOR, mit erweiterter Erfassung von Bilanzgliedern, Vollwertigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Beratungsinstrument zur Bewertung von Betriebssystemen, zur Betriebsplanung und Umweltsicherung</li> </ul>
Schlag	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ detaillierte Erfassung pro Schlag, viele Schätzgrößen (Futterabfuhren, Wirtschaftsdünger), keine Vollwertigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Instrument zur Fruchtfolge- und Düngelageplanung, Szenarienrechnungen</li> </ul>
Schlag (Brutto)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ wie bei Schlagbilanz, jedoch erweiterte Erfassung von Schätzgrößen u. a. Bilanzgliedern, Vollwertigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Beratungsinstrument zur Einschätzung der Bodenfruchtbarkeit und Nachhaltigkeit (auch administrativ), Bewertung von Betriebssystemen, Betriebsplanung</li> </ul>
Flächenbilanz, Nährstoffvergleich	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ gesetzliche Ebene mit bundeseinheitlichen Richtwerten (Nährstoffausscheidungen der Tiere, evtl. N-Gehalte der Kulturen), keine Vollwertigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Düngeverordnung,</li> <li>■ Erfassung der Effizienz des Wirtschaftsdüngereinsatzes</li> </ul>

# Schlag-Brutto-Bilanz

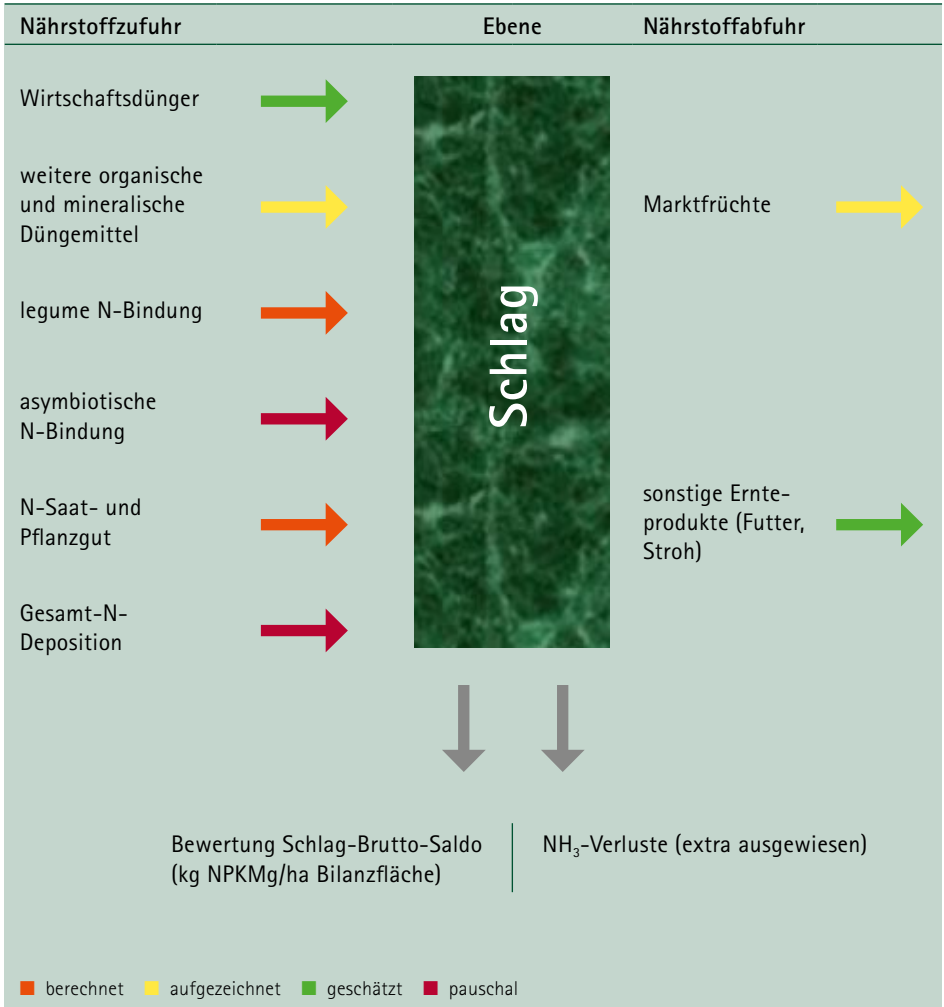


Abb.18 Kriterienkatalog der Schlag-Brutto-Bilanz

Die Ergebnisse der Schlagbilanzen (Brutto) des Betriebes sollten den Bereich zwischen 0 kg und 40 kg N/ha möglichst weder deutlich unter- noch überschreiten. Aus der zeitlichen Veränderung der Schlagbilanz, der Entwicklung der  $N_{\min}$ -Werte im Frühjahr und der C/N-Verhältnisse des Bodens kann die Entwicklung des Ertragspotenzials eines Standortes abgeschätzt werden.

Darüber hinaus sind entsprechend gesetzlicher Regelungen der Düngeverordnung Nährstoffvergleiche für N und P durchzuführen, wobei bestimmte Saldo-Obergrenzen festgelegt worden sind, die nicht überschritten werden dürfen. Zur genaueren Schätzung von Erträgen, Ernteverlusten oder auch der N-Bindung durch Leguminosen stehen spezielle Hilfsmittel zur Verfügung (siehe Links).

### Grunddüngung, Spurenelemente und Kalkung

Aufgrund ihrer vielfältigen Funktionen im pflanzlichen Stoffwechsel sollte der Versorgungszustand des Bodens mit Haupt- und Spurenelementen sowie der pH-Wert beobachtet werden.

#### *Bodenuntersuchung*

Es ist in regelmäßigen Abständen eine Bodenuntersuchung der pflanzenverfügbaren Haupt-Nährstoffe (P, K, Mg), Spurenelemente und des pH-Wertes durchzuführen (mindestens 1 × je Fruchtfolge, Tab. 6).

Durch ökologische Feldversuche konnte nachgewiesen werden, dass beim Absinken der pflanzenverfügbaren P- und K-Gehalte des Bodens auf Klasse A Ertragsausfälle zwischen 20 – 50 % auftreten können. Da-



Abb. 19 Regelmäßige Bodenuntersuchungen sind wichtig.

her ist im Allgemeinen die Gehaltsklasse B des Bodens für die Grundnährstoffe als ausreichend anzusehen. Bei überwiegendem Anbau von Fruchtarten mit einem sehr hohen Bedarf an Grundnährstoffen (z. B. intensiver Gemüseanbau) kann in Ausnahmefällen zur Absicherung der Nährstoffbedürfnisse die höhere Gehaltsklasse C angestrebt werden.

Die Zielgehalte der pH-Werte sind stark von der Bodenart und den Humusgehalten abhängig. Anzustreben ist der Versorgungsbe- reich C. Auf den schwereren Böden besteht



nach den bisherigen Erfahrungen oft nur ein geringer zusätzlicher Kalkbedarf, sodass auf eine Kalkung unter Umständen auch für längere Zeit verzichtet werden kann. Die Ursachen für diese Erfahrungen liegen einerseits in einer relativ geringen Zufuhr »kalkverbrauchender« externer Düngemittel und andererseits in dem periodischen Anbau tiefwurzelnder und relativ Ca-reicher Fruchtarten (Klee, Luzerne), durch die eine Kalkverlagerung im Bodenprofil weitgehend verhindert werden kann. Durch den Anbau von Tiefwurzlern können Nährstoffe des Untergrundes erschlossen und einer Auswaschung vorenthalten werden.

Auf den zur Auswaschung neigenden leichten Böden hingegen ist besonders auf die Entwicklung der pH-Werte der Schläge zu achten, ggf. sind entsprechend der Ergebnisse der Bodenuntersuchung regelmäßige Erhaltungskalkungen vorzunehmen. Wiederholte Analysen im Abstand von einigen Jahren geben Hinweise auf die Entwicklung der Nährstoffgehalte und pH-Werte im Verlauf der Zeit und es können Rückschlüsse für die Bewirtschaftung abgeleitet werden.

### *Nährstoffbilanzierung*

Um die Ergebnisse der Bodenuntersuchung abzusichern, sollte die Fruchtfolge-Schlagbilanzierung zur Kontrolle der langfristigen Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit mit herangezogen werden (Tab. 6). Eine ausreichende P-Versorgung kann für die meisten Standorte in der Regel gewährleistet werden, wenn die Salden den Wert 0 kg P/ha und Jahr nicht unterschreiten. Die Ergebnisse der K- und Mg-Bilanzierungen müssen im Zusammenhang mit der Bodenart

interpretiert werden. Auf leichten Böden, besonders bei erhöhter Auswaschungsgeschwindigkeit, reichen in der Regel ausgeglichene Salden nicht aus, um die Bodenversorgung auf gleichem Niveau zu halten, da ein bestimmter Anteil dieser Nährstoffe der Verlagerung und Auswaschung unterliegt. Die Salden sollten daher leicht positive Werte aufweisen. Auf den mittleren und schweren Böden ist dagegen eine erhöhte Nachlieferung dieser Nährstoffe aus den Bodenvorräten bei der Saldo-Interpretation zu berücksichtigen. Auf diesen Böden können nach den bisherigen Erfahrungen auch negative Salden von 20 – 40 kg K/ha und Jahr auf Dauer akzeptiert werden.

### *Düngungsbemessung*

Die Düngungshöhe zur Erreichung und Sicherung der Versorgungsklassen für P, K, Mg und Kalk sollte mit standortangepassten Methoden (z. B. mithilfe des PC-Programmes BEFU, Teil Ökologischer Landbau) berechnet werden. Grunddaten der Eingabe sind die Ergebnisse der Bodenuntersuchung sowie die Aufzeichnungen der Schlagkar-teien. Der Mindestumfang sollte eine Fruchtfolge-Rotation, d. h. in der Regel 4 – 5 Jahre, nicht unterschreiten. Die Düngungshöhe wird ermittelt, indem eine Bodenausgleichsdüngerhöhe berechnet wird, von der der Nährstoffsaldo der Schlagbilanz abgezogen wird. Bei sehr heterogenen Flächen ist auch im Ökolandbau zu überlegen, ob Verfahren der teilflächenspezifischen Düngung (Precision Farming) Vorteile bringen können. In den Fällen, in denen hohe Düngungsbe-träge ausgewiesen worden sind, sollte zunächst überlegt werden, ob mit gezielten

innerbetrieblichen Maßnahmen eine Abhilfe erreicht werden kann. So könnte mit einem intensiv betriebenen Zwischenfrucht- und Gründüngungsprogramm versucht werden, das Aufschließungspotenzial des Bodens zu verbessern. Durch den periodischen Anbau tief wurzelnder Fruchtarten (Luzerne, Klee) können sowohl Nährstoffe des Untergrundes erschlossen als auch einer Nährstoffverlagerung entgegengewirkt werden. Intensive Marktfruchtbetriebe weisen über

Kartoffel- und Gemüsebau einen hohen Nährstoffexport auf. Hier ist zu fragen, ob Änderungen in der Fruchtfolge möglich sind, um eine Besserung zu erreichen. Erst nachdem alle acker- und pflanzenbaulichen Optimierungsmöglichkeiten ausgeschöpft worden sind, sollten Düngungsmaßnahmen mit betriebsexternen Mitteln erwogen werden. Hierbei ist zunächst zu fragen, ob dies durch Zukauf von organischen Düngemitteln möglichst von ande-

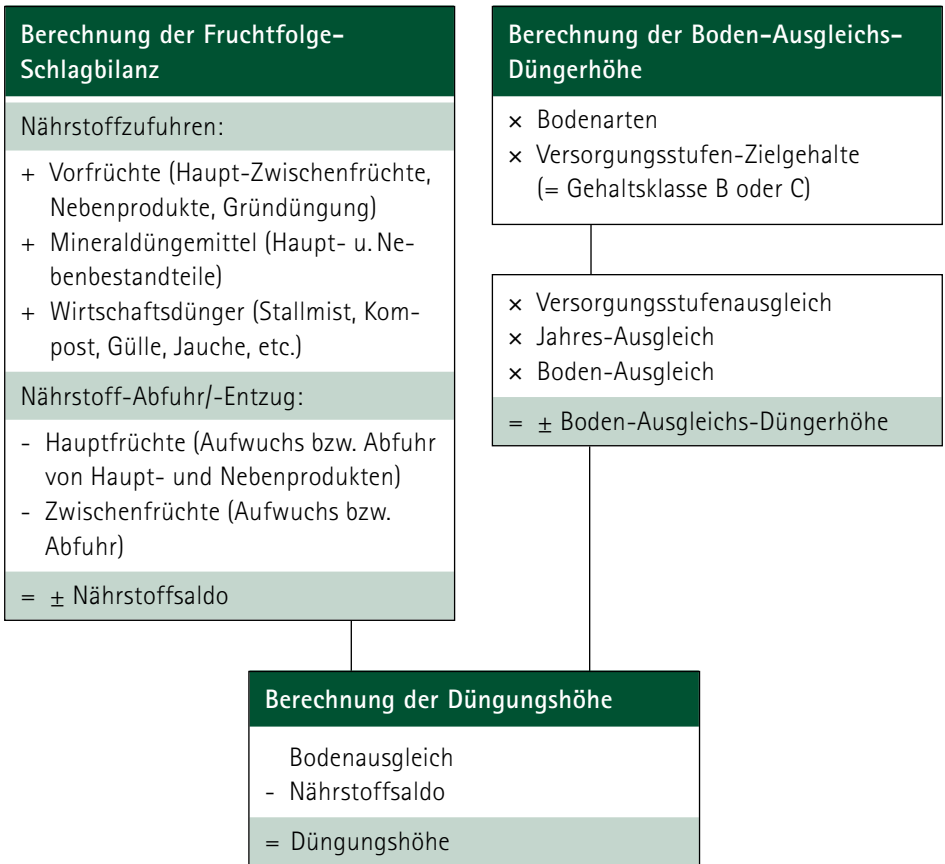


Abb.20 Prinzip zur Berechnung der Grunddüngung

ren Öko-Betrieben geschehen kann. Erst als letzte Möglichkeit sollte ein Zukauf von mineralischen Düngemitteln ins Auge gefasst werden. Ein Zukauf ist dann in Form der zugelassenen Düngemittel entsprechend der EU-Öko-Verordnung vorzunehmen.

Die zusätzlichen Düngungsmaßnahmen sollten wiederum gezielt in der Fruchtfolge vorgenommen werden. Alle Hackfrüchte, besonders Kartoffeln, Feldgemüse aber auch Mais sowie Futterleguminosen-Bestände erfordern eine gute Versorgung mit Grundnährstoffen, sodass eine Düngung in einer Gabe oder in zweckmäßiger Aufteilung zu diesen Kulturen bevorzugt verabreicht werden sollte.

### Pflanzenanalyse

Durch verschiedene Formen der Pflanzenanalyse können Hinweise zur Beseitigung von Ernährungsstörungen, z. B. durch rechtzeitige Ausbringung einer Blattdüngung, gewonnen werden (Tab. 6). Zur visuelle Schätzung von Ernährungsstörungen der Pflanzen kann das Programm Visuplant angewendet werden (siehe Links).

### Anwendung alternativer Methoden

Die Anwendung alternativer Methoden (BALZER, KINSEY, HUSZ) kann zur Lösungsfindung spezieller, ungeklärter Probleme der Bodenfruchtbarkeit beitragen, wenn entsprechend ausgebildete Fachkräfte zur Verfügung stehen. Auch die Ergebnisse der



Abb.21 Gülledüngung mit Schleppschläuchen zur Verminderung von Verlusten

Kationenaustauschkapazität des Bodens können durch Heranziehung von Expertenwissen genutzt werden (siehe Tab. 6).

Ähnlich wie bei der Qualitätsbeurteilung sind diese sogenannten ganzheitlichen Methoden nicht weit verbreitet, weil sie die hohen spezifischen Ansprüche für eine anwendungsfreundliche Nutzung in der Praxis meistens nicht erfüllen können. Diese Verfahren sind zudem oft für andere Klima- und Bodenverhältnisse entwickelt worden, es sind kaum Laborkapazitäten vorhanden oder es ist keine experimentell belegte Interpretation der Ergebnisse möglich.

Unter Zuhilfenahme entsprechender Serviceeinrichtungen können auch Programme zur Qualitätssicherung und Nachhaltigkeit eine sinnvolle Ergänzung darstellen. So bietet z. B. der Nachhaltigkeitsstandard der DLG einen umfangreichen Kriterienkatalog zur allgemeinen Beurteilung der Nachhaltigkeit der Betriebe an. Diese Programme sind jedoch als alleinige Hilfsmittel zur umfangreichen Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit und Ableitung von Handlungsempfehlungen zum Nährstoffmanagement kaum geeignet.

### Eckpunkte des Nährstoffmanagements

Die wesentlichen Elemente des Nährstoffmanagements können zusammenfassend aus einer Checkliste entnommen werden (Abb. 23). Zunächst sind flächenbezogene Aufzeichnungen des Acker- und Grünlandes (Schlagkartei) und der Tierhaltung (Stallbuch) zur Dokumentation der Anbauabfolge des gesamten Betriebes ständig zu führen. Diese Aufzeichnungen dienen sowohl als Grundlage für die Buchführung, die Öko-

Kontrolle als auch für die hier aufgeführten Untersuchungen. Zum Untersuchungsprogramm gehört es, die Parameter

- Organische Substanz bzw. Humus,
- Stickstoff,
- Kalk,
- Grundnährstoffe und
- Spurenelemente

entsprechend den Betriebsbedingungen zumindest durch eine regelmäßige Bodenuntersuchung, Bilanzierung oder Düngedarfsermittlung im Auge zu behalten.



Abb. 22 In Fragen Düngung und Nährstoffbilanzierung unterstützt das Programm BEFU.



Abb.23 Checkliste zum Nährstoffmanagement im Ökobetrieb

Die im Rahmen von Düngungsmaßnahmen veranschlagten Zukaufdüngemittel müssen zudem aus einer Liste erlaubter Betriebsmittel ausgewählt werden. Die Düngebürftigkeit muss genau dokumentiert, ggf. auch durch den Anbauverband, in dem der Betrieb Mitglied ist, genehmigt werden.

### PC-Hilfsmittel

Datenverwaltungsprogramme sind vielfältig im Handel erhältlich. Es ist auf Vorhandensein passender Schnittstellen z. B. zwischen elektronischer Schlagkartei und den notwendigen Berechnungsprogrammen zu achten, wobei oft noch deutliche Män-

gel bestehen. Auf dem Personalcomputer können diese speziellen Programme (z. B. das Programm BEFU) auf den Betrieben selbstständig angewendet werden oder sie werden als Serviceleistungen der Untersuchungslabore angeboten. Bestimmte vertiefende Analysen, z. B. zur Nährstoff- und Humusbilanzierung, für die Berechnung von Betriebsumstellungen und -erweiterungen, sollten besser mit Hilfe der Beratung durchgeführt werden. Weiterführende Informationen können aus dem Literaturverzeichnis und dem Internet bezogen werden.



Abb. 24 PC-Programme erleichtern das Betriebsmanagement.

# Literaturverzeichnis

- AD-HOC ARBEITSGRUPPE BODEN (2005):  
Bodenkundliche Kartieranleitung. Hrsg.:  
Bundesanstalt für Geowissenschaften  
und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit dem  
staatlichen Geologischen Diensten der  
Bundesrepublik Deutschland, Hannover
- BAUCHHENSS, J. (2005): Bodenleben und Bo-  
denfruchtbarkeit – Bestandsaufnahme zum  
Wissensstand in Deutschland. Tagungsband  
zur Fachveranstaltung von ilu und GKB am  
22. 5. 2005, Heft 10, 15 – 29, Institut für  
Landwirtschaft und Umwelt, Bonn
- BRAUNS, A. (1968): Praktische Bodenbiologie.  
G. Fischer, Stuttgart
- DIEZ, T.; WEIGELT, H. (1997): Bodenstruktur  
erkennen und bewerten. Bayrische Lan-  
desanstalt für Bodenkultur und Pflanzen-  
bau, Sonderdruck DLG Agrarmagazin
- ELLENBERG, H. (1986): Vegetation Mitteleu-  
ropas mit den Alpen in ökologischer Sicht.  
Ulmer, Stuttgart
- ELLENBERG, H.; WEBER, H. E.; DÜLL, R.; WIRTH, V.;  
WERNER, W.; PAULISSEN, D. (1992):  
Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa.  
E. Goltze, Göttingen
- GÖRBING, J. (1947): Die Spatendiagnose.  
Schriftenreihe Neuaufbau vom Boden her.  
Heft 7, Br. Sachse, Hamburg
- HANKE, W. (2006): Zeigerpflanzen für  
Standortverhältnisse auf Äckern Branden-  
burgs – Eine Übersicht für die Praxis.  
Diplomarbeit, Fachschule Eberswalde
- HANKE, W.; LUTHARDT, V.; GLEMNITZ, M. (2006):  
Ackerwildkräuter als Standortzeiger für  
Brandenburger LandwirtInnen. Bezug über  
Fachhochschule Eberswalde möglich unter  
(0 33 34) 65 73 27, Frau Luthardt
- HÄNSEL, M. (2008): Bodenstruktur erkennen  
und bewerten. In: DLG: Schonende Boden-  
bearbeitung, Systemlösungen für Profis.  
DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 9 – 19
- HILBIG, W.; MAHN E.-G. (1974): Zur Verbrei-  
tung von Ackerunkräutern im südlichen  
Teil der DDR. Wiss. Z. Univ. Halle XXIII 74  
M, 5 – 57
- STEIN-BACHINGER, K. et al. (2004): Nährstoff-  
management im Ökologischen Landbau.  
KTBL Schrift 423. KTBL Darmstadt
- WEYER, T. (2008): Verdichtung. In: DLG:  
Schonende Bodenbearbeitung,  
Systemlösungen für Profis. DLG-Verlag,  
Frankfurt/Main, 30 – 44
- WEYER, T.; BOEDDINGHAUS, R. (2009): Boden-  
verdichtungen vermeiden, Bodenfrucht-  
barkeit erhalten und wiederherstellen.  
MUNLV Nordrhein-Westfalen.  
[www.umwelt.nrw.de](http://www.umwelt.nrw.de)

## Links

### Biologische Eigenschaften

Besiedlung mit Regenwürmern:  
[www.umwelt.nrw.de/ministerium/presse/presse\\_extra/pdf/karte\\_bodenverdichtung.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/ministerium/presse/presse_extra/pdf/karte_bodenverdichtung.pdf)  
Zeigerpflanzen:  
[www.ahabc.de/focus/focus-12.html](http://www.ahabc.de/focus/focus-12.html)

### Physikalische Eigenschaften

Erweiterte Spatendiagnose:  
[www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen\\_url\\_1\\_58.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen_url_1_58.pdf)  
Broschüre Bodenverdichtungen vermeiden:  
[www.umwelt.nrw.de/ministerium/presse/presse\\_extra/pdf/broschuere\\_bodenverdichtung.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/ministerium/presse/presse_extra/pdf/broschuere_bodenverdichtung.pdf)  
Bestimmungsschlüssel Bodenschadverdichtungen im Feld:  
[www.umwelt.nrw.de/ministerium/presse/presse\\_extra/pdf/karte\\_bodenverdichtung.pdf](http://www.umwelt.nrw.de/ministerium/presse/presse_extra/pdf/karte_bodenverdichtung.pdf)  
Anleitung zur Feldgefügeansprache:  
[www.gkb-ev.de](http://www.gkb-ev.de) (Bezug Klemmbrett),  
Telefon: 03342 422-130 oder 0531 596-4494  
(Dr. Brunotte, vTI Braunschweig)  
Entscheidungshilfe Bodendruck:  
[www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/12415.htm](http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/boden/12415.htm)

### Chemische Eigenschaften

Humusbilanzierung:  
<http://orgprints.org/13626/>  
Excel-Programm zur Ermittlung des N-Düngebedarfs im Gemüsebau:  
[hermann.laber@smul.sachsen.de](mailto:hermann.laber@smul.sachsen.de)  
Formen der Nährstoffbilanzierung:  
<http://orgprints.org/14925/>  
Schwefel-Schätzrahmen:  
[www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1173954/lufa\\_Schwefelschätzrahmen.pdf](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1173954/lufa_Schwefelschätzrahmen.pdf)

Berechnung der legumen N-Bindung:  
<http://orgprints.org/13627/>  
Grunddüngung und Kalkung:  
[http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/146\\_1.pdf](http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/146_1.pdf)  
Visuelle Schätzung von Ernährungsstörungen der Pflanzen durch Programm Visuplant:  
[www.tll.de/visuplant/vp\\_idx.htm](http://www.tll.de/visuplant/vp_idx.htm)  
System BALZER:  
[www.agrofor.de](http://www.agrofor.de)  
Zukaufsdüngemittel:  
[www.betriebsmittel.org](http://www.betriebsmittel.org)  
**Allgemeine Hinweise**  
PC-Programm BEFU,  
Teil ökologischer Landbau:  
[www.landwirtschaft.sachsen.de/befu/](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/befu/)  
Nährstoffmanagement:  
<http://orgprints.org/13632/>  
Schätzmethoden und Kennzahlen:  
<http://orgprints.org/13632/> (S. 29 ff)  
Auswahl organischer Düngemittel:  
<http://orgprints.org/13632/> (Anhang im PDF)  
Fruchtfolgeplanung:  
<http://orgprints.org/15100/>  
[www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/5137.htm](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/5137.htm)  
Bodenuntersuchung (Schweiz):  
[www.fibl-shop.org/shop/pdf/mb-1158-bodenuntersuchung.pdf](http://www.fibl-shop.org/shop/pdf/mb-1158-bodenuntersuchung.pdf)  
Umsetzung der Düngeverordnung:  
[www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/3309\\_1.pdf](http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/3309_1.pdf)  
DLG-Nachhaltigkeitsstandard:  
[www.preagro.de/docs/DLG\\_Nachhaltigkeitsstandard.pdf](http://www.preagro.de/docs/DLG_Nachhaltigkeitsstandard.pdf)