



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft



Sächsische Landesanstalt
für Landwirtschaft

Bodenstruktur erkennen und beurteilen

**Anleitung zur Bodenuntersuchung
mit dem Spaten**



LfL-Information

Impressum:

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: <http://www.LfL.bayern.de>

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1
01326 Dresden
Internet: <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/LfL>

Redaktion: Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: Agraroeekologie@LfL.bayern.de, Tel.: 08161/71-3640

4. geänderte Auflage August / 2005

Druck: Biedermann Offsetdruck, 85599 Parsdorf

© LfL

Einleitung

Unter der Bodenstruktur oder dem Bodengefüge versteht man die räumliche Anordnung der festen Bodenbestandteile.



Abb. 1: Bodengefüge

Die Eignung eines Bodens als Pflanzenstandort und als Filter für das Grundwasser hängt wesentlich davon ab, wie sich die einzelnen Bodenteilchen zusammenfügen, wie sie aneinander hängen und Hohlräume bilden.

Die Bodenstruktur verändert sich laufend. Natürliche Prozesse wie Setzen, Einschlämmen und Schrumpfen bewirken ein Zusammendrücken (Verdichten), Quellen, Frostsprengen und biologische Prozesse ein Auseinanderdrücken (Auflockerung) der Bodenteilchen. In ähnlicher Weise wirken die Eingriffe des Menschen: durch Befahren, Betreten, Walzen wird der Boden verdichtet; durch Pflügen, Eggen, Grubbern, Fräsen und dergleichen wird er aufgelockert.

Den Boden in einen optimalen Gefügestand zu bringen ist ein vorrangiges Ziel, besonders des Ackerbauern. Was unter einem „optimalen Gefügestand“ zu verstehen ist, ist bisher mehr eine Frage der Erfahrung und des Gefühls als klarer Messgrößen. Tatsächlich lässt sich das Gefüge in seiner Bedeutung für den Pflanzenstandort durch eine Aufgrabung mit dem Spaten, durch ein Beobachten von Form, Farben, Wurzeln, Hohlräume und Über-

gängen viel besser erfassen als durch irgendeine andere Methode.

Die vorliegende Schrift gibt eine Anleitung, wie man dabei vorgeht, auf welche Merkmale es ankommt und wie sie zu bewerten sind. Die zahlreichen Abbildungen sollen das Erkennen und Einordnen des Beobachtbaren erleichtern und verbessern.

So wirken sich Strukturschäden und Gefügestörungen aus

War in der Vergangenheit Nährstoffmangel der wichtigste ertragsbegrenzende Faktor, so ist es heute nicht selten eine mangelhafte Bodenstruktur. Die Abbildungen auf dieser Seite zeigen Beispiele, wie sich Strukturschäden an der Bodenoberfläche bemerkbar machen können.

Eine für das Pflanzenwachstum günstige Bodenstruktur

- bietet der Saat gute Keim- und Auflaufbedingungen (schnelle Erwärmung, Kapillarwasseranschluss, unverdichtete Oberfläche),
- ermöglicht den Wurzeln ein gleichmäßiges und tiefes Eindringen, gewährleistet eine gute Wasserspeicherung und Nährstoffverfügbarkeit,
- enthält genügend grobe, luftführende Poren, die den Wurzeln und Bodenlebewesen das Atmen ermöglichen.



Abb. 2: Starke Bodenverdichtung und gehemmte Wasserinfiltration in den Fahrspuren nach Silomaisernnte bei feuchtem Boden



Abb. 3: Ungleichmäßiger Zwischenfruchtbestand aufgrund von Bodenverdichtung in den Fahrspuren der Gülleausbringung



Abb. 4: Vorzeitige Abreife des Getreides auf den bei der Bestellung verursachten Verdichtungen in den Fahrspuren (Wassermangel)



Abb. 5: Ungleichmäßiger Aufgang der Wintergerste aufgrund mangelnden Bodenschlusses durch ein zu grobes Saatbett



Abb. 6: Ernährungsstörung (Phosphatmangel?) bei Mais als Folge von Oberflächenverschlammung und damit einhergehender Behinderung des Gasaustausches

Bodenerosion hat viele Ursachen

Eine Ursache für die Bodenerosion ist unter anderen die gehemmte Versickerung der Niederschläge (Infiltration) aufgrund von Verdichtungen und Verschlammung der Bodenoberfläche. Davon sind besonders unsere wertvollen Böden, die Parabraunerden aus Löß, betroffen.

Verdichtungen entstehen durch Befahren bei nicht genügend tragfähigem Boden. Diese Gefahr nimmt mit zunehmend schwerer werdenden Fahrzeugen zu.

Verschlammung kann die Folge einer mangelhaften Bodenbedeckung, einer ungenügenden Humusversorgung und einer zu intensiven Bodennutzung sein. Hohe Hackfrucht- und Maisanteile in der Fruchtfolge verstärken diese Gefahr.

Die schlimmsten Auswirkungen der Bodenerosion sind

- Verlust an durchwurzelbarem Boden,
- Verarmung des Bodens an Humus und Pflanzennährstoffen,
- Verletzung und Entwurzelung von Kulturpflanzen (vor allem im Jugendstadium),
- Verschmutzung von Gewässern, Wegen und Straßen.



Abb. 7: Bodenerosion im Lößgebiet. Verschlammung und gehemmte Versickerung fördern den Oberflächenabfluss und damit den Bodenabtrag. Nach Abtragung des hell gefärbten Oberbodens („Weißlehm“) kommt der rötlich-braun gefärbte, tonige Unterboden an die Oberfläche („Rotlehm“, oberer Bildrand)

So kann man Gefüge untersuchen

Gegenstand der Gefügeuntersuchung ist der Wurzelraum. Deshalb muss man den Boden aufgraben. Das wichtigste Hilfsmittel dazu ist ein Spaten. Beobachtet werden: der Eindringwiderstand, der Zerfall eines Bodenblocks beim Abwerfen oder bei leichtem Druck mit der Hand, direkte und indirekte Gefügemerkmale und Gefügeveränderungen nach der Tiefe am Bodenprofil.

Bodenblock ausstechen



Abb. 8: Einstechen des Spatens: Der Eindringwiderstand lässt bereits auf die Dichtlagerung schließen



Abb. 9: Der Auswurf des Spatenstichs gibt einen ersten Hinweis auf die Gefügeform



Abb. 10: Der auszuhebende Bodenblock wird durch seitliches Einstechen abgegrenzt



Abb. 11: Ausheben des Bodenblocks: Die eine Hand betätigt den Spaten als Hebel, die andere hält den Bodenblock auf dem Spatenblatt



Abb. 12: Vorsichtiges Zerlegen des Bodenblocks mit den Händen oder einem Taschenmesser

Abwurfprobe



Abb. 13: Beim Aufprall auf eine feste Unterlage (Brett) zerfällt der Bodenblock in seine natürlichen Gefügeaggregate

Zerlegen mit der Hand



Abb. 14: Beim behutsamen Zerteilen werden Gefügeform, Farbe und Wurzelbild registriert



Abb. 15: Durch Zerdrücken mit der Hand werden Festigkeit und Zerfall der größeren Aggregate geprüft

Beobachtungen am Bodenprofil



Abb. 16: Freilegung der Bestellschicht: Sie gibt Auskunft über den Bodenschluss und eine eventuelle Oberflächenverschlammung



Abb. 17: Freilegung der Krume: Mit einem Taschenmesser werden der Übergang von Ober- zu Unterkrume, Verdichtungen, organische Reste u. a. sondiert



Abb. 18: Freilegen der Pflugsohle und des tieferen Unterbodens durch stufenweises Tiefergraben: Durch vorsichtiges Auskehren wird nach Röhren und Klüften gesucht



Abb. 19: Ausstechen eines Bodenblocks im Bereich der Pflugsohle: Im Bild ist eine verdichtete, verlassene Krumenschicht erkennbar

Abb. 20: Aufbrechen des Bodenblocks mit den Händen: Der Kraftaufwand steigt mit der Dichtlagerung



Schema zur Gefügebeurteilung im Feld

Die Gefügebeurteilung im Feld erfolgt nach Merkmalen, die man sehen, fühlen, gelegentlich auch riechen kann. Dazu gehören: Gefügeform, Wurzelbild, Farbe, Geruch, Ernterückstände, Grobporen und Übergänge, Eindringwiderstand und Zusammenhalt des Gefüges.

Entscheidend für die Beurteilung ist, ob die beobachtbaren Merkmale für das Gedeihen der Pflanzen günstig oder ungünstig sind. Günstige Merkmale erhalten die Note 1 oder 2 und stehen im Beurteilungsschema links, ungünstige Merkmale werden mit 4 oder 5 bewertet und stehen im Beurteilungsschema auf der rechten Seite. Besondere Bedeutung besitzt die Beschaffenheit der Bodenoberfläche. Deshalb ist sie stets gesondert zu bewerten.

Das wichtigste Merkmal für die Beurteilung von Krume und Unterboden ist die Gefügeform. Es werden zwei nicht aggregierte und fünf aggregierte Gefügeformen unterschieden. „Aggregiert“ heißt, die winzigen, mit bloßem Auge nicht sichtbaren Bodenteilchen haben sich zu größeren, abgrenzbaren Formtypen zusammengeschlossen (Krümel, Bröckel, Polyeder, Prismen, Platten).

Günstig ist ein Gefügestand, der den Pflanzen eine durchgehend leichte Durchwurzelbarkeit gestattet, bei dem ein guter Saataufgang, eine hohe Infiltration und ein optimales Wasserangebot gewährleistet sind. Diese Anforderungen an das Bodengefüge sind um so weniger erfüllt, je dichter die Bodenteilchen lagern, oder je größer und dichter die Aggregate sind. Dementsprechend steht das poröse, lockere, feinaggregierte Krümelgefüge unter 1 (sehr günstig), das dichte, grobe Polyedergefüge unter 4 (ungünstig). Bei den stark ausgeprägten polyedrischen Gefügen kommt es wesentlich auf die Größe der Gefügeelemente an. Ein feinpolyedrisches Gefüge, wie es frostgaren, tonigen Böden eigen ist, erhält die Bewertungsziffer 2 (günstig). Bei Prismen- und Plattengefügen entscheidet die Aggregatgröße, ob sie unter 3 oder 4 einzuordnen sind.

Das Bröckelgefüge steht zwischen Krümel- und Polyedergefüge und wird je nach Größe und Druck, bei dem es zerfällt, entweder mit 2 oder 3 beurteilt. Das Kohärentgefüge kann sowohl locker und porös und für Pflanzen dementsprechend günstig sein (ein Beispiel dafür ist der anstehende Löß) oder völlig dicht sein (Beispiel: zu nass befahrener Boden in der Reifenspur). Die Spannweite des kohärenten Gefüges reicht deshalb von 2 (günstig) bis 5 (sehr ungünstig).

Das Einzelkorngefüge ist das Gefüge der Sandböden. Wegen seiner geringen Wasserhaltefähigkeit ist es nur „mittel“, bei stärkerer Verdichtung „ungünstig“ zu beurteilen.

Erfolgt die Gefügebeurteilung unter wachsendem Bestand, so ergeben die Wurzeln, insbesondere die Wurzeldichte, ihre Verteilung über das Bodenvolumen und der Wurzelverlauf, am besten Auskunft, ob das Gefüge in Ordnung ist oder nicht.

Farbe und Geruch lassen auf den Wasserhaushalt und die Durchlüftung schließen. Die eindeutigsten Merkmale für pflanzenschädigende Gefügestörungen sind die Reduktionszonen und stinkender Geruch.

An der Verteilung der (eingearbeiteten) Ernterückstände und ihrem Rottegrad (abhängig von der Jahreszeit) kann man Bearbeitungsfehler leicht erkennen.

Vertikal durchgehende Röhren (Wurm- und Wurzelröhren) und Klüfte sind Anzeiger für eine gute Wasserleitfähigkeit, Durchlüftung und Durchwurzelbarkeit.

Das Bodengefüge ändert sich von der Oberfläche zum Unterboden zwangsläufig, schon allein wegen der unterschiedlichen Auflastung. Günstig ist es, wenn der Übergang allmählich erfolgt. Dagegen ist jeder abrupte Wechsel, weil Ursache für Wasserstau und gestörte kapillare Wassernachlieferung, ungünstig.

Bewertung	1	2	3	4	5
	günstig			ungünstig	

Beschaffenheit der Bodenoberfläche

Merkmale	je nach Anforderung rauh bis fein, Makroporen und Einzelaggregate erkennbar, Wurmkot	Grobporen fehlen, Aggregate verwaschen, verschlämmt, Entmischung, Krusten
----------	--	---

Gefügeformen von Krume und Unterboden

Ungegliederte Gefügeformen (nicht aggregierte Gefüge)			Einzelkorngefüge		
			locker	verdichtet	
Merkmale			Zusammenhängendes Gefüge (Kohärentgefüge)		
			locker zusammenhängend, porös, bei Druck leicht zerfallend	fest zusammenhängend, dicht gelagert, kaum (keine) Makroporen	
Gegliederte Gefügeformen (aggregierte Gefüge)	Krümelfgefüge	Bröckelgefüge			
	porös, locker, fein aggregiert	unscharf begrenzte, poröse Aggregate, bei leichtem/stärkerem Druck zerfallend			
Merkmale			Scharfkantiges Gefüge (Polyederggefüge) Prismengefüge, Plattengefüge		
			scharfkantige, glattflächige, mehr oder weniger dichte Aggregate, sehr fein bis 0,2; fein 0,2 bis 0,5; mittel 0,5 bis 3; grob über 3 cm		

Worauf noch zu achten ist

Wurzeln (Durchwurzelung)	gleichmäßig, hohe Wurzeldichte, kein Wurzelstau	ungleichmäßig, Wurzelfilz auf Klufflächen, geknickte Wurzeln, wurzelleere Zonen
Farbe, Geruch (Durchlüftung)	gleichmäßige (braune) Farbe, keine Rost- und Grauflecken, erdiger Geruch	Rost- und Grauflecken (Reduktionszonen), Konkretionen, Geruch faulig, stinkend
Ernterückstände	in Rotte oder weitgehend abgebaut (Jahreszeit berücksichtigen)	relativ frisch, „einzementiert“, ungleichmäßig verteilt („Matratzen“), verpilzt
Röhren, Klüfte	zahlreiche Röhren (Wurm- oder Wurzelröhren), Klüfte	wenige oder keine Röhren und Klüfte
Übergang (z. B. Krume/Unterboden)	allmählich	abrupter Wechsel von locker-porösem zu kohärent-dichtem Gefüge

Merkmale der Bodenoberfläche

Zu einer guten Bodenstruktur gehört eine poröse, nicht verschlammte Oberfläche. Von der Beschaffenheit der Bodenoberfläche (genauer: der obersten Millimeter der Krume) werden der Ausgang der Saaten, der Gasaustausch des Bodens (Bodenatmung), das Eindringen der Niederschläge (Infiltration) und der Oberflächenabfluss (Auslöser der Bodenerosion) maßgeblich bestimmt. Die Beschaffenheit der Bodenoberfläche ist in hohem Maß abhängig von der Bodenbearbeitung und der Humusversorgung.

Leicht zu Verschlämmung neigende Böden (schluffreiche Böden, Lößböden) dürfen nicht zu fein bearbeitet werden. Den besten Schutz vor Verschlämmung (und Erosion) bietet eine Bodenbedeckung durch Pflanzen oder Ernterückstände.



Abb. 21: Lößlehm Boden, sautfertig: Einmaliges Bearbeiten mit Eggen-Krümler-Kombination schafft ausreichend Feinboden für die Einbringung der Saat. Die groben Gefügeaggregate wirken der Verschlämmung und dem Oberflächenabfluss entgegen



Abb. 22: Bodenoberfläche zwei Wochen später: Die Rapssaat ist gut aufgelaufen. Die relativ „raue“ Bodenoberfläche schützt die jungen Pflänzchen

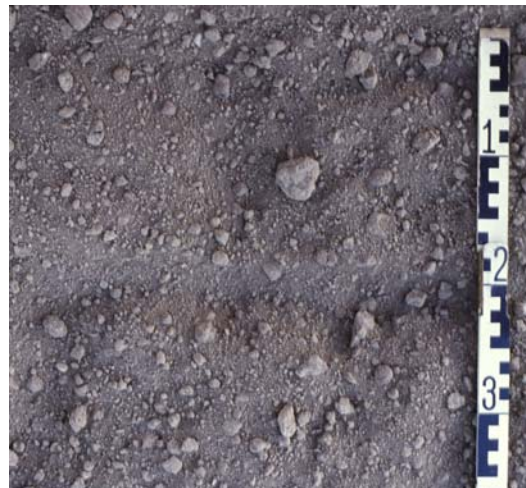


Abb. 23: Lößlehm Boden, sautfertig: Durch dreimaliges Überfahren mit der Eggen-Krümler-Kombination ist das Saatbett zu fein geworden. Verschlämmungsgefahr!



Abb. 24: Stark verschlammter Lößlehmbo-
den, Schluff- und Tonteilchen haben sich
entmischt. Die gute Krümenstruktur ist
durch eine wenige Millimeter dicke
Schluffschicht versiegelt. Gasaustausch und
Infiltration sind stark behindert. Der Boden
ist stark erosionsgefährdet.



Abb. 26: Auf der Bodenoberfläche belasse-
ne, allenfalls flach eingearbeitete Ernte-
rückstände schützen vor Verschlammung
und Oberflächenabfluss. Im Bild: Pfluglos
bestellter Winterweizen nach Körnermais ;
die Grundbodenbearbeitung erfolgte mit
dem Grubber.



Abb. 25: Das Bild zeigt die verschlammte
Schicht in Nahaufnahme. Derartige
Schichten werden bei Austrocknung stein-
hart (Krusten) und sind für Feinsämereien
(Zuckerrüben) nahezu undurchdringlich



Abb. 27: Regenwürmer versuchen, das an
der Oberfläche belassene Strohhäcksel in
ihre Wohnhöhle zu ziehen. Dadurch ent-
stehen die eine lebhaft Regenwurmakti-
vität anzeigenden Strohhäufchen. Unter
jedem Strohhäufchen befindet sich eine
Wohnröhre.

Gefügeformen

Die Gefügeform eines Bodens hängt zum Teil von seinem Ausgangsmaterial ab, zum Teil sind sie jedoch bewirtschaftungsbedingt. Das für die Krume anzustrebende Gefüge ist das Krümelgefüge, der „gare Boden“. Humus- und Kalkversorgung, eine gesunde Fruchtfolge und eine schonende Bearbeitung fördern seine Entstehung. Zunehmende Verdichtungen führen zu einer Abnahme der Grobporen und einer Zunahme der ungegliederten oder groben Gefügekörper.



Abb. 28: Einzelkorngefüge. Die Mineralkörner liegen lose nebeneinander, geringes Wasserhaltevermögen (Gefügenote 3)



Abb. 29: Kohärentgefüge, günstig (Gefügenote 2), Löss in ursprünglicher Lagerung, locker, zahlreiche Grobporen



Abb. 30: Kohärentgefüge, ungünstig (Gefügenote 4), stark verdichteter Lössboden aus einer Fahrgasse



Abb. 31: Krümelgefüge aus einer Grünlandkrume; ideales Gefüge (Gefügenote 1)



Abb. 32: Krümelgefüge aus der Oberkrume eines Zwischenfruchtbestandes (Abwurfprobe)



Abb. 33: Bröckelgefüge sind typische Gefü-
geformen der Unterkrume (Gefügenre 2–3)



Abb. 34: Mischgefüge aus etwa 50% Krü-
meln und 50% Bröckeln (Gefügenre 1,5)



Abb. 35: Je nach Porosität und Festigkeit
erhalten Bröckel die Gefügenre 2 oder 3;
oben: lockerer, poröser Bröckel (2)
unten: dichter, fester Bröckel (3)



Abb. 36: Zerfall der abgebildeten Bröckel bei
Druck (der rote Würfel hat eine Kantenlänge
von 3 cm)



Abb. 37: Feinpolyedergefüge (Gefügezone 2) an der Oberfläche eines Tonbodens (Froststruktur)

Polyedergefüge sind typisch für tonige Böden. Man erkennt sie an ihren scharfen Kanten und glatten Oberflächen. Wasserbewegung, Durchlüftung und Durchwurzelung spielen sich auf den Oberflächen der Gefügekörper ab. Deshalb sind die Polyedergefüge um so besser zu beurteilen, je kleiner die Gefügekörper sind. Prismen- und Plattengefüge sind Grobpolyedergefüge mit vorherrschend vertikaler bzw. horizontaler Klüftung.



Abb. 38: Mittel- bis grobpolyedrisches Gefüge (Gefügenote 3-4): Bei Lehm Böden weisen polyedrische Gefügeformen stets auf Verdichtungen hin



Abb. 39: Plattiges Gefüge (Gefügenote 4): Nicht bearbeitete Unterkrume einer Lößparabraunerde



Abb. 40: Grobprismatisches Gefüge (Gefügenote 4) aus der stark verdichteten Unterkrume einer langjährig nicht gepflügten Parabraunerde aus Löß. Die Wurzeln sind durch den Quellungsdruck platt gepresst.

Worauf sonst noch zu achten ist

Wurzelbild

Das Bodengefüge ist der Lebensraum der Pflanzenwurzeln. Unter einem wachsenden Pflanzenbestand kann man sich deshalb der Pflanzenwurzeln als eines direkten Bewertungsmaßstabs bedienen.



Abb. 41: Gleichmäßige, dichte Feindurchwurzelung eines Krümelgefüges (sehr günstig)



Abb. 42: Ungestörte Tiefendurchwurzelung in einem krümelig bröckeligen Gefüge (günstig) - Abwurfprobe



Abb. 43: Wurzelfilz auf einer Kluftfläche eines dichten, sonst kaum durchwurzelbaren Kohärentgefüges (sehr ungünstig)



Abb. 44: Gehemmte Durchwurzelung durch plattiges Gefüge an der Untergrenze der bearbeiteten Schicht (ungünstig)



Abb. 45: Beinige Rüben als Folge starker Verdichtungen in der Unterkrume (ungünstig)

Farbe und Geruch

Färbung und Farbmuster eines Bodens stehen in enger Beziehung zur Wirksamkeit des Porensystems. Gleichmäßig braune Farben zeigen eine für das Pflanzenwachstum ausreichende Durchlüftung an. Blaugraue Farben, Rostflecken und Konkretionen sind Anzeichen für Nässe. Übler Geruch kommt von Fäulnisprozessen und ist ein Indiz für starke Verdichtungen.



Abb. 46: Graublau, übelriechende Verfärbungen (Reduktionszonen) sind die Ursache für das Misswachstum der Rapszwischenfrucht. Sie entstanden durch Bodenverdichtung in der Schlepperspur bei der Gülleausbringung und nachfolgendes Unterpflügen der Gülle



Abb. 47: Links: Bodenprobe außerhalb der Spur. Rechts: Bodenprobe in der Spur (grau-blau verfärbt)



Abb. 48: Graue Grundfarbe und Rostflecken zeigen Luftmangel eines Gleybodens durch Grundwassereinfluss



Abb. 49: Die hell gefärbte Schicht mit schwarzen, harten kugeligen Einschlüssen (Konkretionen) im oberen Teil des Bodenprofils weist auf Wechsel zwischen Austrocknung und Vernässung hin; Rostfärbung und graue Marmorierung sind kennzeichnend für den dichtgelagerten, wasserstauenden Untergrund (Pseudogley aus Lößlehm)

Ernterückstände – Klüfte und Röhren

Jährlich müssen von Böden große Mengen an Ernterückständen abgebaut werden. Ihre mangelhafte (ungleichmäßige, zu tiefe) Einarbeitung zeigt sich in schlecht verrotteten, oft übelriechenden Nestern organischer Reststoffe.

Klüfte und Röhren in der Pflugschicht geben Hinweise, ob eine Unterbodenlockerung Erfolg verspricht.



Abb. 50: „Strohmatratzen“ werden von den Wurzeln gemieden und behindern die Wasserbewegung



Abb. 51: Gleichmäßige, flache Stroheinarbeitung unmittelbar nach der Ernte fördert die Rotte und vermeidet beim späteren Pflügen die „Matratzenbildung“



Abb. 53: Zahlreiche Regenwurmröhren an der Grenze der Bearbeitung (Pflugsohle); Sicheres Kennzeichen, dass der Unterboden nicht gelockert werden darf



Abb. 52: Nass eingepflügetes, unverrottetes Maisstroh im Sommer des folgenden Jahres: Alarmzeichen für schlechte Bodenstruktur (schlechte Durchlüftung)



Abb. 54: Fehlen von Wurmlöchern und Klüften und dichtes Kohärentgefüge lassen eine Unterbodenlockerung geraten erscheinen