



Bodenverdichtungen vermeiden Bodenfruchtbarkeit erhalten und wiederherstellen

Mit Bestimmungsschlüssel zur
Erkennung und Bewertung von
Bodenschadverdichtungen im Feld

Inhalt

Vorwort des Ministers	2
1. Einleitung	4
2. Die Bedeutung des Bodengefüges	6
3. Ursachen von Bodenschadverdichtungen	13
4. Folgen von Bodenschadverdichtungen	18
5. Erkennen von Bodenschadverdichtungen	21
6. Bodengefüge erhalten und verbessern	25
7. Und wenn der Boden bereits dicht ist?	32
8. Schlussbetrachtung	36
Verwendete Literatur	37

1. Einleitung

Bei der Bewirtschaftung durch Bodenbearbeitung und Ernte sind Bodenverdichtungen in begrenztem Ausmaß unvermeidbar. Besonders problematisch sind schädliche Wirkungen, die bis in den Unterboden reichen und daher nicht durch die übliche Bodenbearbeitung rückgängig gemacht werden können. Auch im Zusammenhang mit dem Klimawandel ist zu beachten, dass in unseren Regionen mit geringeren und kürzeren Frostperioden zu rechnen ist und daher die sog. „Frostgare“ ihre auflockernde Wirkung immer weniger entfalten kann. Besonders kritisch ist die Befahrung von Böden mit hohen Lasten bei zu großer Bodenfeuchte. Hier bestehen Zielkonflikte insbesondere durch den zunehmenden „Just-in-Time-Betrieb“ bei der Ernte in der Landwirtschaft. Zu deren Lösung können vor allem verbesserte Techniken zur Verringerung des Bodendrucks und Kenntnisse über den aktuellen Bodenfeuchtezustand beitragen.

Die stetige Zunahme des Gewichts der eingesetzten Maschinen und der Befahrungshäufigkeit in der Landwirtschaft – beides ist in den letzten 40 Jahren um das drei- bis vierfache gestiegen – in Kombination mit der technischen Möglichkeit, den Boden auch bei hoher Bodenfeuchte noch befahren zu können, haben dazu geführt, dass unsere Böden zunehmend verdichtet werden. Dieser Prozess beschränkt sich nicht alleine auf Deutschland. Weltweit sind ca. 40% der landwirtschaftlichen Flächen von Degradationen in Folge von Verdichtungen betroffen – 30 Millionen Hektar alleine in Europa. 40% der Flächen in den Neuen Bundesländern weisen Verdichtungen in der Krumenbasis auf, in Nordrhein-Westfalen sind in einem Untersuchungsvorhaben entsprechende Beeinträchtigungen bei ca. 37% der ausgewählten Flächen festgestellt worden.

Bodenschadverdichtungen vermindern vor allen Dingen die natürliche Bodenfruchtbarkeit. Daher besteht vorsorgender Handlungsbedarf, um weitere Verschlechterungen des Bodenzustands zu vermeiden. Die vorliegende Broschüre dient der Erläuterung von Bodenschadverdichtungen im Hinblick auf Ursachen, Entstehung und Folgen. Sie gibt dem Landwirt und Berater mit dem „**Bestimmungsschlüssel zur Erkennung und Bewertung von Bodenschadverdichtungen**“ ein Werkzeug an die Hand, mit dem er Bodenschadverdichtungen erkennen kann, und zeigt Wege auf, wie Schadverdichtungen in der Praxis vermieden und beseitigt werden können.

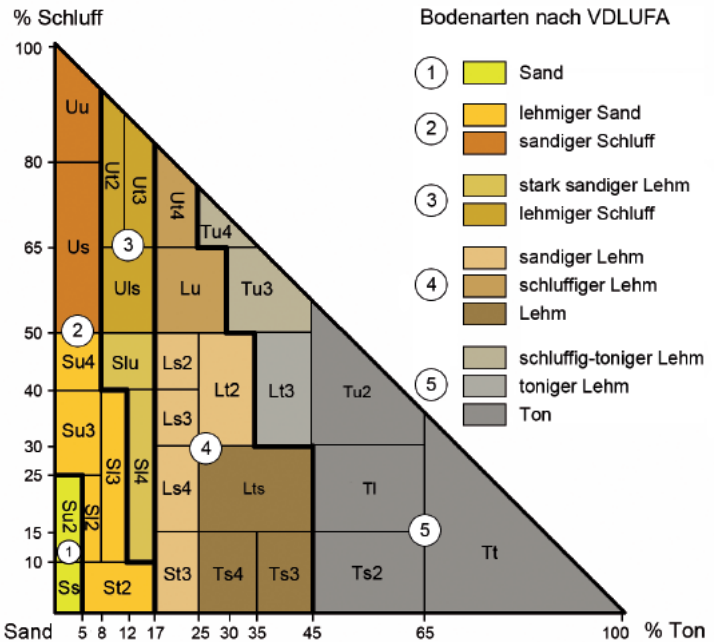
Im Bundes-Bodenschutz-Gesetz heißt es in § 17:
„Bodenverdichtungen, insbesondere durch Berücksichtigung der Bodenart, Bodenfeuchte und des von den zur landwirtschaftlichen Bodennutzung eingesetzten Geräten verursachten Bodendrucks, sind so weit wie möglich zu vermeiden.“

2. Die Bedeutung des Bodengefüges

Das Einmaleins der Bodenarten

Während der sog. **Bodentyp** (z. B. Braunerde) die Entstehungsgeschichte, Entwicklungsstufe und den Bodenaufbau bezeichnet, umfasst die **Bodenart** die Summe der unterschiedlich großen Teilchen eines Bodens. Diese Bodenteilchen werden nach ihrer Korngröße in Sand, Schluff und Ton unterteilt (in die sog. Hauptbodenarten). Lehm ist ein Gemisch aus den drei Hauptbodenarten. Sandpartikel haben einen Durchmesser von 2 bis 0,063 mm, Schluffpartikel eine Größe von 0,063 bis 0,002 mm, während Tonteilchen die kleinsten Bodenteilchen mit einem Durchmesser kleiner als 0,002 mm sind. Ein Schluffteilchen ist 1.000 Mal kleiner, ein Tonteilchen sogar 1 Million Mal kleiner als ein Sandkorn.

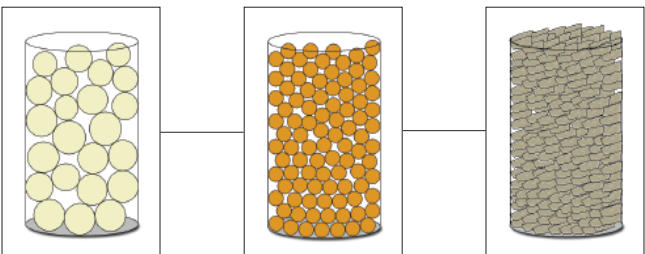
Die Größe der Sand-, Schluff- und Tonpartikel wirkt sich auf die Lagerung der Bodenteilchen zueinander aus.



Die **Poren** – die Zwischenräume zwischen den Bodenteilchen – können mit Wasser oder Luft gefüllt sein. Es gibt **Primärporen**, die mit der natürlichen – primären – Lagerung der Bodenteilchen entstehen (siehe Abbildung unten). Sekundärporen hingegen hängen mit den Aktivitäten von Bodentieren, Pflanzenwurzeln, Quellungs- und Schrumpfungsvorgängen etc. zusammen.

Die Größe der **Primärporen** wird hauptsächlich durch Form und Größe der zusammenlagernden Bodenteilchen bestimmt (siehe Abbildung). Kleine Tonplättchen bilden deutlich feinere, dafür aber wesentlich mehr Poren als große Sandkörner. Schluffreiche Böden liegen ungefähr dazwischen und haben einen hohen Anteil an sog. Mittelporen, die pflanzenverfügbares Wasser enthalten. Das in den Feinporen der Tonböden enthaltene Wasser wird als „Totwasser“ (TW) bezeichnet, weil Pflanzen es kaum verwerten können. Die Grobporen von Sandböden dagegen enthalten relativ viel Sickerwasser.

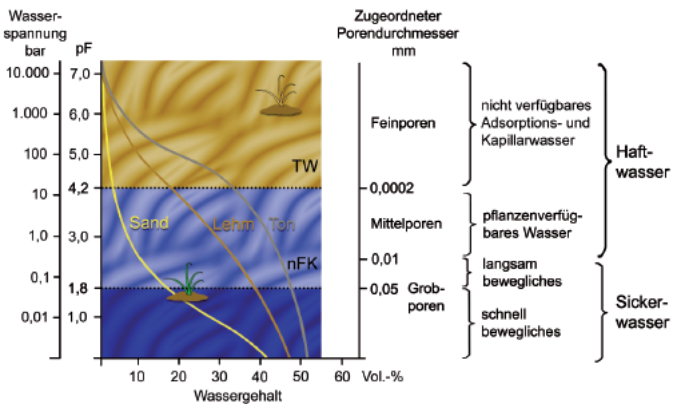
Diese Umstände haben Einfluss auf die Fähigkeit des Bodens, Wasser zu speichern oder versickern zu lassen. Sandböden sind schlechte Wasserspeicher, da sie das Wasser schnell versickern lassen – ihre Poren sind zu weit,



Schema zur Lagerung der Bodenarten und Bildung der Primärporen
(v. l.: Sand, Schluff, Ton)

als dass die Wassermoleküle durch Anziehungskräfte im Boden gehalten werden könnten (Haftwasser). Im Gegensatz dazu sind Tonböden aufgrund ihrer vielen feinen Poren hervorragende Wasserspeicher. Ihre Poren sind jedoch überwiegend so klein, dass sie einen Großteil des Wassers mit einer sehr hohen Anziehungskraft „festhalten“. Das macht es den Pflanzenwurzeln fast unmöglich, dieses Wasser aufzunehmen.

Die Abbildung unten verdeutlicht diesen Effekt. Werden die Kurven der verschiedenen Hauptbodenarten bei einem Wassergehalt von 20% betrachtet, zeigt sich, dass die Anziehungskräfte (Saugspannung/pF), mit denen das Wasser im Boden gehalten wird, sehr unterschiedlich sind. Das Wasser im Sandboden versickert, während der Lehm- und Tonboden (hoher Schluffanteil) das Wasser zwar hält, es aber gleichzeitig für die Pflanzenwurzeln verfügbar macht (pflanzenverfügbares Wasser). Der Tonboden hingegen bindet das Wasser so stark, dass die Pflanzenwurzeln es nicht aufnehmen können (Totwasser). Dies ist die Ursache



TW = Totwasser, nFK = nutzbare Feldkapazität, pF = Saugspannung

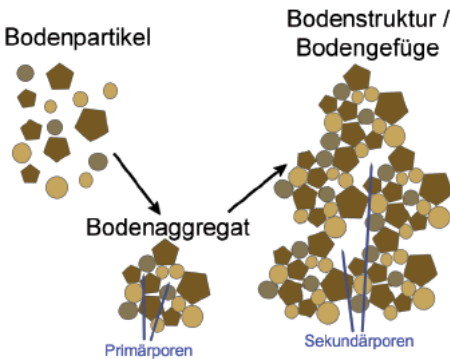
Wasserspannungen im Sand-, Lehm- und Tonboden
 Quelle: verändert nach Schroeder u. Blum 1992

dafür, dass sich ein Tonboden bei 20 % Wassergehalt trocken, ein Schluffboden bei gleichem Wassergehalt feucht und ein Sandboden nass anfühlt.

Um den Verdichtungszustand und die Verdichtungsempfindlichkeit eines Bodens bestimmen zu können, muss – über die Bodenart hinaus – das Bodengefüge betrachtet werden.

Das Bodengefüge

Die Struktur eines Bodens – das **Bodengefüge** – bestimmt sich nach der räumlichen Anordnung der Bodenteilchen zueinander und hat großen Einfluss auf die Bodenprozesse (vgl. Abbildungen Seite 10 und 11). Sie ist ein Spiegel des Bodenzustands. Das Bodengefüge beeinflusst den **Wasser- und Lufthaushalt** sowie die **Wachstumsbedingungen** für Pflanzen maßgeblich. Es bestimmt auch die **Tragfähigkeit** eines Bodens. Je stabiler das Bodengefüge, desto mehr Auflast kann der trockene Boden tragen, ohne Schaden zu nehmen.



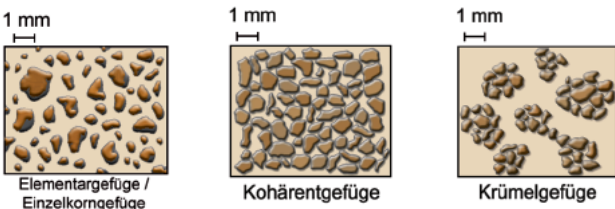
In der Bodenkunde wird zwischen verschiedenen Gefügeformen unterschieden, die entsprechend ihrer Gestalt und Entstehung eingeteilt werden. Die Bildung eines Bodengefüges ist von vielen Einflussgrößen abhängig, die durch die Landwirte nur teilweise beeinflusst werden können.

Darunter fallen

- die Bodenart,
- die Ton-Humus-Komplexe und Lebendverbauung (wie Wurmlosgesfüge),
- das chemisch-physikalisch bestimmte Aneinanderlagern und Auseinanderdriften der Bodenteilchen,
- die Frostwirkung,
- die Schrumpfung und Quellung,
- der Zeitraum der Bodenentwicklung,
- die Bodenbearbeitung selbst.

Die **Bodenart** hat durch Form und Größe der Bodenteilchen entscheidenden Einfluss auf die Gefügestruktur. Die winzigen Tonpartikel können dank ihrer Struktur komplexe Bindungen mit Stoffen im Boden eingehen – ihre verhältnismäßig große Oberfläche sorgt zudem für erheblich mehr Bindungsmöglichkeiten, als dies bei Sandkörnern der Fall ist. Aus diesem Grund bilden tonreiche Böden eher stabile Aggregate aus, während sandreiche Böden zu instabilen Einzelkorngefügen neigen. Sandböden können nur mit hohem Humusgehalt ein aggregiertes, stabiles Gefüge entwickeln.

Humus, bzw. organische Substanz, ist durch seine Funktion als Nährstoffspeicher und -quelle, Wasserspeicher und Bindeglied zwischen Bodenteilchen äußerst wichtig für ein stabiles Bodengefüge. Durch humusaufbauende Bewirtschaftung kann die Bildung von **Ton-Humus-Komplexen** und die **Lebendverbauung** (durch die Steigerung des Bodenlebens) gefördert werden. Vielfältiges und reichliches Bodenleben ist daher in Kombination mit genügend organischer Substanz der Schlüssel zu einem gesunden und nachhaltig fruchtbaren Boden, der den An-

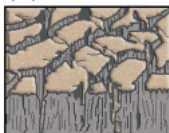


Ausgewählte Gefügeformen		
Gefügenreihe	Beispiel/ Vorkommen	Eigenschaft
Einzelkorngefüge	Sand	Einzelkörner, nicht verbunden
Kittgefüge	Ortstein, Raseneisenstein	feste Verbackung der Einzelkörner, meist mit Eisenmolekülen
Kohärentgefüge	schluffreicher Unterboden	zusammenhaftende, nicht gegliederte Masse
Krümelfgefüge	garer Oberboden	biogenes Gefüge mit sehr rauen, oft rundlichen Aggregaten
Subpolyedergefüge	Unterboden	stumpfe Kanten, raue Flächen, etwa gleich lange Achslängen
Polyedergefüge	tonreiche Böden	scharfe Kanten, glatte Flächen, etwa gleich lange Achslängen
Prismengefüge	Tonböden	scharfkantige, vertikale Struktur der Aggregate
Plattengefüge	verdichteter Boden	Schichtung der sehr festen Bodenaggregate
Bröckelgefüge	technische Gare mittelgroß	ähnlich Krümelfgefüge, aber größere Aggregate
Klumpengefüge	technische Gare grob	große, feste Aggregate

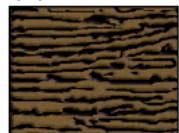
sprechen einer hochproduktiven Landwirtschaft gerecht werden kann. Gleichzeitig sichert humusreicher Boden den Ertrag unter jährlich wechselnden Anbaubedingungen. Bei einem Lössboden sollte der Humusgehalt mindestens zwischen 1,8 % und 2,3 % liegen. Eine auf die Bodenart abgestimmte **Kalkung** des Bodens mit dem Ziel optimaler

1 mm


Polyedergefüge

10 cm


Prismengefüge

10 cm


Plattengefüge

pH-Werte (z. B. in Ackerböden: Sand pH 5,6, lehmiger Schluff pH 6,4, toniger Lehm pH 7,0) beeinflusst die Bindungen zwischen den Bodenteilchen positiv und fördert eine lockere, aber stabile Bodenstruktur.

Die **Gefügebildung** im Verlauf der Bodenentwicklung erfolgt über so lange Zeiträume, dass sie vom Landwirt kurzfristig nicht beeinflusst werden kann. Auch auf die **Schrumpfung und Quellung** der Bodenaggregate in Folge von Nässe und Trockenheit kann der Landwirt keinen Einfluss nehmen.

Die **Frostsprennung** zur Lockerung des Gefüges im Winter hat zwar bis vor wenigen Jahren in unseren Regionen teilweise Wirkung gezeigt, aber im Zuge des Klimawandels sind die dazu notwendigen tiefen Temperaturen nur noch selten, so dass eine **Frostgare** außerhalb von Mittel- und Hochgebirgsregionen kaum noch auftritt.

Die Landwirtschaft nimmt durch **Bearbeitung** und **Befahrung** den größten Einfluss auf die Bodenqualität. Hier kann es zu Schäden im Bodengefüge kommen, die zu einer Bodenschadverdichtung führen.

Definition

Bodenschadverdichtung ist die bewirtschaftungsbedingte Schädigung des Bodengefüges, welche dauerhaft die Regulationsfunktion (Puffer, Speicher und Leiter für Wasser, Sauerstoff, Nähr- und Schadstoffe), die Lebensraumfunktion (Mikroorganismen, Bodentiere) und dadurch schließlich auch die Produktionsfunktion (landwirtschaftliche Nutzung, Ertrag, Kosten) des Bodens negativ beeinträchtigt.

3. Ursachen von Bodenschadverdichtungen

Bodenschadverdichtungen entstehen durch Belastung oder Beanspruchung des Bodens über dessen Eigenstabilität hinaus. Die übermäßige Setzung/Sackung des Bodens (Sackungsverdichtung) und die Einwirkung von Scherkräften (Scherung) über die Eigenstabilität des Bodens hinaus sind die häufigsten Ursachen für Bodenschadverdichtungen in Folge von Bewirtschaftung.

Auslösende externe Faktoren sind:

- die Radlast,
- der Kontaktflächendruck,
- die Überrollhäufigkeit,
- Schlupf/Scherung.

Die **Radlast** ist ausschlaggebend für die Tiefenwirkung der Belastung, während der **Kontaktflächendruck** besonders die Belastung im Oberboden bestimmt. Der Kontaktflächendruck ist, in der vereinfachten Berechnung, die Radlast (in kg) geteilt durch die Reifen- bzw. Laufbandaufstandsfläche (in cm^2). Da sich mehrfache **Überfahrten** in ihrer Wirkung verstärken, hat die Anzahl der Überfahrten ebenfalls eine große Bedeutung für die Entstehung von Bodenschadverdichtungen.

Die **Scherung** wirkt stets in Kombination mit Auflast stark auf den Boden ein. Sie bewirkt eine Seitwärtsbewegung von Bodenpartikeln und führt unter Auflast zur Einregelung der Bodenteilchen. Bekanntes Beispiel ist der Radschlupf bei schweren Zugarbeiten, aber auch beim Abbremsen. Immer wird hierbei ein Bereich des Bodengefüges zerknetet und „verschmiert“. Gleiches geschieht beim Ziehen blockierender Reifen durch den Boden (Transportfahrzeuge) oder an den Scharen der Arbeitsgeräte, wenn diese durch feuchten Boden schmieren anstatt diesen zu brechen. Bloße Auflast auf den Boden verursacht ebenfalls Scherung. Die Spannungen, die durch die Auflast im

Boden entstehen, wirken ungleichmäßig auf die Bodenpartikel ein und führen so zu deren Verschiebung gegeneinander. Dieser Effekt ist eine Hauptursache für Verdichtungen im Unterboden, wo z. B. Radschlupf keine Auswirkungen mehr hat.

Ursachen von Bodenschadverdichtungen:

- Bodenbearbeitung bei feuchtem Boden (Boden schmiert)
- Falsch eingestellte Bodenbearbeitungsgeräte
- Abgenutzte oder fehlkonstruierte Schare
- Fahren in der Furche beim Pflügen
- Fahren auf frischgepflügtem, feuchtem Acker ohne vorherige Rückverdichtung (Packerwalze)
- Befahrung von feuchtem Boden
- Radlasten > 6 t bei feuchtem und > 10 t bei trockenem Boden (bezogen auf 600er Reifenbreite, 1 bar Reifeninnendruck bei feuchtem Boden und 2 bar Reifeninnendruck bei trockenem Boden)
- Transportfahrzeuge mit normaler Straßenbereifung auf dem Feld (LKW-Reifen an Anhängern, Ballenwagen, ...)
- Staunässe durch verstopfte oder beschädigte Drainagen und natürliche Abflüsse
- Zu hohe Viehbesatzdichten bei feuchter Witterung und ungenügender Regenerationszeit der Flächen (Viehtritt) fördern Verdichtungen in den oberen Zentimetern des Bodens.



Wirkungsschema von Scherung (Schlupf) und Gewicht auf die Bodenteilchen

Neben diesen externen Faktoren, die den Boden belasten, gibt es zahlreiche **interne Faktoren**, welche eine Dichtlagerung bis zu einem gewissen Grad verhindern können. Generell kann **jeder** Boden mit der entsprechenden Auflast, die seine Eigenstabilität überschreitet, schadverdichtet werden.

Zu den internen Faktoren zählen:

- Bodenart,
- Aggregatstabilität,
- Humusgehalt,
- Lagerungsdichte,
- Gefügestruktur,
- Porengrößenverteilung,
- Kalkgehalt,
- Wassergehalt.

Besonders betroffene Flächen:

- Vorgewende
- Fahrgassen
- Feldmieten (Festmistlagerflächen, Zuckerrübenmieten, ...)
- Weiden mit zu hohem Viehbesatz bei hoher Bodenfeuchte
- Vernässte Stellen
- Krümmenbasis (oft ganzflächig)

Begünstigungen von Bodenschadverdichtungen:

- Geringer Humusgehalt der Bodens
- Wenig organische Substanz (Erntereste) als Nährstoffquelle für Bodenlebewesen
- Wenig Bodenleben
- Kalkmangel

Eine hohe **Aggregatstabilität** – bedingt durch Ton-Humus-Komplexe und Lebendverbauung (z.B. Regenwurmlosung) – steigert die Tragfähigkeit eines Bodens. Höhere **Humusgehalte** wirken in Mineralböden stabilisierend – sowohl gegenüber Verdichtungen als auch gegenüber Bodenerosion. Je geringer die **Lagerungsdichte** des Bodens ist (z.B. direkt nach dem Pflügen ohne Packereinsatz) und je höher der Anteil an technogenen Grobporen (ebenfalls nach der Bodenbearbeitung), desto leichter lässt sich ein Boden verdichten. Der **Kalkgehalt** des Bodens (hier insbesondere die Ca_2+ -Ionen) hat direkten Einfluss auf die Stabilität des Gefüges, da Kalk bei der Bildung von Ton-Humus-Komplexen eine tragende Rolle spielt. Die Verdichtungsneigung eines Bodens korreliert stark mit seinem **Wassergehalt**. Je feuchter ein Boden ist, desto leichter lassen sich die einzelnen Partikel gegeneinander verschieben und umso einfacher ist es daher, einen feuchten Boden zu verdichten.

Von der Lage der Schadverdichtungen im Boden kann man auf die Entstehungsursachen schließen. Die bekannteste Schadverdichtung ist die **Krumenbasisverdichtung**, auch Pflugsohle oder Schlepperradsohle genannt. Sie tritt als Folge der Bearbeitung direkt unterhalb des Bodenbearbeitungshorizontes auf. Verstärkend wirken hier Schlepperräder, die in der Pflugfurche laufen, da sie die Radlast direkt auf die Krumenbasis und den Unterboden übertragen, ohne dass eine anschließende Auflockerung erfolgen würde. Schadverdichtungen, die wie die Krumenbasisverdichtung unterhalb der jährlichen Lockerungszone liegen, bleiben ohne zielgerichtete Melioration über Jahrzehnte bestehen.

Verdichtungen im Unterboden entstehen vorwiegend durch zu hohe Radlasten (z. B. Erntefahrzeuge mit > 10 t Radlast) und stetig wiederkehrende Befahrung. Sie sind aufgrund ihrer Tiefenlage im Zuge der üblichen Bodenbewirtschaftung nicht zu beseitigen.

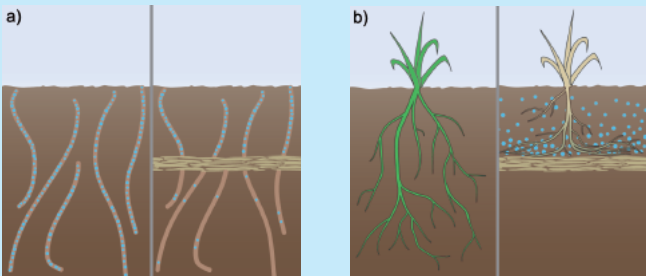
Verdichtungen im Oberboden kommen in der Regel nur zeitlich begrenzt vor, da sie mit der Bodenbearbeitung im Folgejahr, zumindest im makroskopischen Bereich, behoben werden. Die Wiederherstellung des Bodens im mikroskopischen Bereich durch bodeninterne Prozesse und Bodenlebewesen dauert erheblich länger. Bereiche, die am stärksten dem Radschlupf ausgesetzt werden, sind besonders betroffen.

Wird die Eigenstabilität des Bodens zu stark durch externe Faktoren beansprucht, verringert sich das Porenvolumen, insbesondere bei Grobporen, die Wasserversickerung und Luftaustausch gewährleisten. Es bildet sich dann oft ein Plattengefüge mit horizontal verlaufenden Poren, das äußerst tragfähig ist und sich bei weiterer Auflast nur noch geringfügig verändert – die Fruchtbarkeit des Bodens und damit die Grundlage für hohe Erträge gehen dabei jedoch verloren.

4. Folgen von Bodenschadverdichtungen

Während der gesunde Boden ein Krümelgefüge mit stabilen Poren zum Wassertransport und Gasaustausch sowie eine hohe Lebendverbauung und genügend organische Substanz besitzt, kann der schadverdichtete Boden kaum noch seine Funktionen als Regulator, Puffer, Speicher sowie Standort und Lebensraum für Pflanzen und Tiere wahrnehmen. Die Folgen für den Boden und damit für das Ökosystem sind schwerwiegend (vgl. Abbildungen unten und nächste Seite):

- Durch die **Verringerung der Grobporen** und die Unterbrechung der vertikalen Porengänge kommt es nur noch zu einem geringfügigen Austausch von Luft und Wasser zwischen Ober- und Unterboden.
- Der Boden trocknet durch die verringerten Versickerungsraten langsamer ab.
- Lang anhaltende Niederschläge führen zur **Vernässung der Bestände** mit Wurzelfäulnis, Sauerstoffmangel und Absterben der Pflanzen und anderer Lebewesen.



Schema zu Verhältnissen in unverdichteten (links) und verdichteten Böden (rechts):

- a) Kapillarität
- b) Wurzelwachstum und gehemmte Versickerung

- Die geringeren Wasserversickerungsraten in den Unterboden bewirken eine **geringere Auffüllung des im Boden gespeicherten Wassers und des Grundwassers**. Besonders in niederschlagsarmen Gebieten und in trockenen Jahreszeiten nimmt dann die Wasserversorgung der Pflanzen ab. Gleichzeitig steigt – bei Starkniederschlägen – die **Hochwassergefahr**, da die Wassermengen anstatt zu versickern verstärkt oberirdisch abfließen müssen.
- In Trockenperioden **vertrocknen Bestände** regelrecht – es kommt zur Notreife und zum Absterben der Pflanzen.
- Der **Wurzelraum wird verkleinert**, da Pflanzenwurzeln bevorzugt in den Grobporen wachsen und verdichtete Horizonte aus eigener Kraft äußerst selten durchdringen. Der Unterboden als Quelle für Nährstoffe und Wasser wird daher nicht erschlossen.
- Die **Nährstoffaufnahme** der Pflanzen **sinkt**, weil sie die in den festen Bodenaggregaten gelagerten Nährstoffe nicht mehr erreichen können und diese auch nicht durch die Bodenlösung verfügbar gemacht werden.



Die verringerten Versickerungsraten (< 10 cm/Tag) auf schadverdichteten Böden haben zur Folge, dass die Flächen später abtrocknen, also auch später die für die Bodenbearbeitung und Befahrung optimalen Bodenwassergerhalte erreichen. Termingerechtes Durchführen von Bewirtschaftungsmaßnahmen ist teilweise jedoch kaum

zu umgehen, wobei der Bodenzustand oft nachrangig berücksichtigt wird. Die daraus resultierende Befahrung des zu feuchten Bodens begünstigt Schadverdichtungen, die wiederum die Abtrocknung der Bestände verlangsamen – ein Teufelskreis der Bodendegradation entsteht.

- **Regenwürmer**, die maßgeblich die Bildung von Ton-Humus-Komplexen sowie die Schaffung von dränenden Grobporen und die Lebendverbauung beeinflussen, treten in schadverdichteten Böden **seltener** auf. Stark verdichteter Boden wird von ihnen nur sporadisch durchdrungen.
- **Erosion** wird durch die verringerte Wasserinfiltration **begünstigt** und mit ihr die **Nährstoffabspülung**. In der Folge kann dies zur **Eutrophierung von Gewässern** (ggf. bis zu deren „Umkippen“) und zur Verschlämung lehmiger (schluffreicher) Böden führen.
- Gasförmige **Stickstoffverluste** durch vermehrte Denitrifikation aufgrund von Sauerstoffmangel und reduzierenden Bedingungen im Boden führen zu einer schlechteren Ausnutzung des Stickstoffdüngers und zur Austragung von **Treibhausgasen** (besonders Methan und Lachgas).
- **Stresssituationen** für die Pflanzen nehmen aufgrund von Trockenheit und Staunässe zu. Sie steigern das Krankheitsrisiko und verursachen **Mehrkosten für Pflanzenschutzmaßnahmen**.

All diese Faktoren wirken einer nachhaltigen Sicherung der Bodenfruchtbarkeit entgegen und führen zu einem höheren Betriebsmittelaufwand, um das gewohnte Ertragsniveau eines Standortes zu erhalten.

5. Erkennen von Bodenschadverdichtungen

Bodenverdichtungen können auf verschiedenen Wegen ermittelt werden; sie bedürfen der genauen Diagnose.

Grundlegend ist die **Betrachtung des Bodens im Feld**, der Oberfläche und des Pflanzenbewuchses ebenso wie des Bodenaufbaus. Mit Hilfe des „**Bestimmungsschlüssels zur Erkennung und Bewertung von Bodenschadverdichtungen**“ (Beilage dieser Broschüre) sind sowohl eine genaue Untersuchung im Feld als auch die Einordnung der vorgefundenen Bodenverhältnisse hinsichtlich der Bodenschadverdichtungen möglich.

Anhand des **Gefüges** (Bodenstruktur), der **Lagerungsdichte**, des **Wurzelwachstums**, der **Bodenfarbe**, des **Bodengeruchs** und der mit **bloßem Auge sichtbaren Porenanzahl** kann auf den Zustand des Bodens geschlossen werden. Das **oberirdische Pflanzenwachstum** kann ebenfalls als Indikator dienen. Gerade Zwischenfruchtbestände zeigen mit Kümmerwuchs häufig Bodenverdichtungen an. **Algenbewuchs auf der Bodenoberfläche** und **Pfützen- oder Seenbildung** weisen ebenfalls auf eventuell betroffene Stellen hin. Eine regelmäßig **ungenügende Nährstoffumsetzung** – gute Versorgung, aber geringer Ertrag – lässt Bodenverdichtungen vermuten.

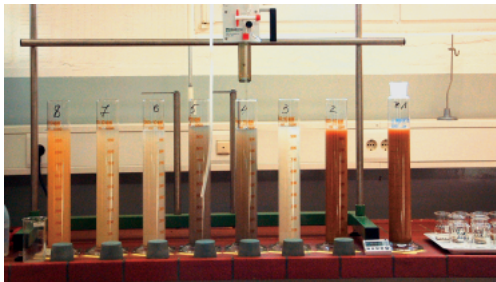
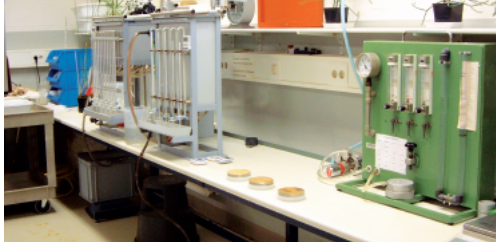
Die **Bestimmung des Humusgehaltes** mittels Laboruntersuchungen gibt wichtige Aufschlüsse über den Zustand des Bodens und den Erfolg der durchgeführten Bewirtschaftungsmaßnahmen im Blick auf die Bodenfruchtbarkeit. Da sich Humusgehalte nur sehr langsam erhöhen lassen (0,1 % in > 10 Jahren) – im Gegensatz zu ihrem Abbau – sind Untersuchungen im Abstand von sechs Jahren ausreichend (vergleiche Direktzahlungen-Verpflichtungsverordnung 2009).

Mit der **Handsonde** oder dem **Penetrologger** wird der Eindringwiderstand des Bodens gemessen (siehe Abbildungen unten). Je höher der Widerstand ist, desto dichter ist der Boden gelagert. Der gemessene Widerstand simuliert den Widerstand, den Pflanzenwurzeln zur Durchdringung des Bodens überwinden müssen. Da mit den Geräten immer nur eine kleinräumige, punktuelle Messung erfolgt, müssen mehrere Messungen in einem Bereich durchgeführt werden, um verlässliche Aussagen zu erhalten. Steineriger Untergrund erschwert eine aussagekräftige Messung. Der Eindringwiderstand ist stark von der Bodenfeuchtigkeit abhängig. Trockener Boden ist härter und hat einen höheren Eindringwiderstand als feuchter Boden. Um Messfehler zu vermeiden, sollten die Messungen daher nach längeren Regenperioden und einer etwa halbtägigen Abtrocknungsphase bei entsprechend hoher Bodenfeuchtigkeit (80–100 % Feldkapazität) durchgeführt werden. Wird der Eindringwiderstand mit einem Penetrologger gemessen, können die Messkurven aufgezeichnet werden. Das Gerät gibt den Eindringwiderstand des Bodens je Zentimeter Bodentiefe in Megapascal (MPa) an. Bei Böden mit 80–100 % Feldkapazität kann ab 2,0 MPa von negativen Auswirkungen auf den Pflanzenbestand ausgegangen werden, ab 3,0 MPa sind die Auswirkungen sogar erheblich.



Instrumente zur Messung des Eindringwiderstandes
v. l.: Handsonde, mech. Penetrometer, elektr. Penetrologger

Bodenphysikalisches
Labor,
Fachhochschule
Südwestfalen,
Abteilung Soest



Im **Labor** können weitere Untersuchungen anhand der im Feld genommener Proben erfolgen. Hierzu werden je nach Versuchsfrage ungestörte Bodenproben in so genannten Stechzylindern oder gestörte Bodenproben (Krümelproben), wie zur Nmin-Analyse, verwendet.

Mit den gestörten Proben werden unter anderem analysiert:

- pH-Wert,
- Bodenart,
- Carbonatgehalt (Kalk),
- Nährstoffe,
- Dichte der Festsubstanz und
- Feinporenanteil.

Die Dichte der Festsubstanz wird zur Berechnung des Gesamtporenvolumens (GPV), also aller vorhandenen Porenräume, verwendet. Die Untersuchungen an Stechzylindern geben Auskunft über:

■ **Porengrößenverteilung**

Wie viele Grob-, Mittel- und Feinporen enthält ein Boden? Wie viel pflanzenverfügbares Wasser speichert ein Boden?

■ **Luftkapazität**

Wie viel Luft kann maximal im Boden sein?

■ **Wasserleitfähigkeit**

Wie hoch ist die Versickerungsgeschwindigkeit?

■ **Luftleitfähigkeit**

Wie schnell kann Luftaustausch im Boden stattfinden?

Die Bewertung der Laborergebnisse in Kombination mit den im Feld aufgenommenen Daten kann mit Hilfe des **Indikatorenmodells** erfolgen. Eine Schadverdichtung lässt sich anhand verschiedener Parameter erkennen. Unterschreitet der Boden die Schadschwellen für Luftkapazität (< 5%), Wasserleitfähigkeit (< 10 cm/Tag) und erhält eine negative Bewertung in einem von drei Feldgefügeparametern (effektive Lagerungsdichte, Packungsdichte, Spatendiagnose), so wird er nach dem Indikatorenmodell als „schadverdichtet“ eingestuft.

Weitere Modelle zur Ermittlung von mechanischer Belastbarkeit sind die „**Vorbelastung**“, der „**Druckbelastungsquotient**“, die „**Schadverdichtungsgefährdungsklassen**“, und der „**Belastungsindex**“.

6. Bodengefüge erhalten und verbessern

Will man die Bodenfruchtbarkeit erhalten, muss man Schadverdichtungen entgegenwirken.

Die **klassischen Maßnahmen zur Vermeidung** von Boden-schadverdichtungen hängen eng mit der Befahrung und Bearbeitung des Bodens zusammen:

- **Verringerung des Kontaktflächendrucks** zur Schonung des Oberbodens durch Vergrößerung der Reifenaufstandsfläche:
 - Setzen Sie Breit- und Terrareifen bei allen Gelegenheiten ein (Ballenwagen, Güllefässer, Mist-, Kalk-, Kompoststreuer, Schlepper, Erntefahrzeuge etc.).
 - Nutzen Sie Reifendruckregelanlagen zur gleichzeitigen Schonung des Bodens und Gewährung der Sicherheit im Straßenverkehr, zudem sparen Sie hierdurch Energie und verringern den Schlupfanteil.
 - Setzen Sie Raupenfahrwerke auf empfindlichen Flächen ein.
 - **Schmale „Pflegereifen“ oder LKW-Reifen gehören nicht auf unbefestigtes Gelände.**

- **Verringerung der Radlast:**
 - Bevorzugen Sie gezogene statt angebaute Geräte.
 - Verzichten Sie auf die volle Ausnutzung sehr großer Bunker bzw. Tanks.
 - Beschränken Sie die Radlast auf höchstens 6 t bei feuchtem Boden bzw. 10 t bei trockenem Boden.
 - Achten Sie auf eine gleichmäßige Lastverteilung auf alle Achsen.
 - Setzen Sie bei konventioneller Bodenbearbeitung Onland-Pflüge ein, um die Schlepperradsole in der Pflugfurche zu vermeiden.

■ **Verringerung des Radschlupfes:**

- Nutzen Sie breite Reifen oder Raupenlaufwerke mit hoher Traktion (= Bodenhaftung).
- Verringern Sie den Reifeninnendruck, so dass sich der Reifen besser dem Boden anpassen kann (0,8 bar bis 1,0 bar).
- Verteilen Sie die Last gleichmäßig auf alle Achsen.
- Benutzen Sie den Allradantrieb auf dem Feld.
- Fahren Sie nur bei trockenem Boden auf die Flächen.

■ **Verringerung der Anzahl an Überfahrten:**

- Legen Sie Arbeitsgänge zusammen.
- Überprüfen Sie die Notwendigkeit der Arbeitsgänge.
- Verzichten Sie auf nicht notwendige Arbeitsgänge.
- Nutzen Sie die Vorfruchtwirkung einzelner Kulturen zur Reduzierung der Bodenbearbeitung – Raps und Kartoffeln hinterlassen gare Böden, die keiner

Bodenfeuchtigkeit ermitteln (nach VDI-Richtlinie 6101)		
Zustand bindiger Böden	Konsistenzgrenzen und -bereiche	Bezeichnung
nicht ausrollbar und knetbar, da brechend	harter, fester Bereich	fest, hart
Schrumpfgrenze		
noch ausrollbar, aber nicht knetbar, da bröckelnd	bröckelbarer, fester Bereich	halbfest
Ausrollgrenze		
ausrollbar, schwer knetbar, da steif	plastischer Bereich	steif plastisch
ausrollbar, optimal knetbar		weich bis plastisch
ausrollbar, kaum knetbar, da zu weich		breiig bis plastisch
Fließgrenze		
nicht ausrollbar und knetbar, da fließend	flüssiger Bereich	zähflüssig

besonderen Bearbeitung für die Folgefrüchte (Getreide) bedürfen.

- Fahren Sie auch beim Ausbringen von Mist, Kalk, Kompost, Flüssigdünger und Gülle in den angestammten Fahrgassen, um die belastete Fläche so klein wie möglich zu halten.
- Benutzen Sie Feldwege, die es Ihnen ermöglichen unnötige „Leerfahrten“ über die Fläche zu vermeiden und den Abtransport von Erntegut durch straßenbereifte Fahrzeuge zu vereinfachen.

■ Verringerung der befahrenen Fläche:

- Legen Sie Fahrgassen an, die für alle Pflegearbeiten benutzt werden können → abstimmen der Arbeitsbreiten verschiedener Geräte – Stichwort: Controlled Traffic Farming (CTF).
- Vergrößern Sie die Arbeitsbreiten.

Zugehörige Bodenfeuchte/Saugspannungsbereich	Verdichtbarkeit	Befahrbarkeit	Bearbeitbarkeit
trocken pF > 4,0	gering	gut	ungünstig
schwach feucht pF 4,0 bis > 2,7	mittel	gut bis mittel	optimal
feucht pF 2,7 bis > 2,1	mittel, aber leicht knetbar	mittel	sehr ungünstig
sehr feucht pF 2,1 bis > 1,4	hoch	mittel bis schlecht	sehr ungünstig
nass pF < 1,4	nicht befahrbar, nicht bearbeitbar		
stark nass pF 0	nicht befahrbar, nicht bearbeitbar		

■ **Bodenbearbeitung nur bei trockenem Boden:**

- Geben Sie bei Pflugeinsatz der Sommerfurche und frühen Herbstfurche den Vorzug, da Böden im Frühjahr und Winter in der Regel einen sehr hohen Wassergehalt aufweisen – die Winterfurche bei gefrorenem Boden ist/wird durch die Klimaveränderung kaum noch anwendbar sein – bei Sommerkulturen ist dann eine Zwischenfrucht anzubauen.
- Achten Sie darauf, dass der Boden bis unterhalb der tiefsten Stelle der Arbeitstiefe trocken ist.

■ **Einstellung der Bodenbearbeitungsgeräte:**

- Kontrollieren Sie die Arbeitsergebnisse Ihrer Bodenbearbeitungsgeräte nach den ersten Metern – schlecht eingestellte Schare können Verdichtungen verursachen. Verschmiert der Boden, ist die Einstellung der Geräte fehlerhaft oder die Bodenfeuchtigkeit ist zu hoch.

Neben den klassischen Maßnahmen zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen existieren **weitere Maßnahmen**, die **im Zusammenhang mit der Bodenfruchtbarkeit stehen**:

■ **Verbleib von Ernteresten auf der Fläche:**

- Pflanzenreste fördern den Erosionsschutz und vermindern die Verschlammung, die sich besonders im Keimlingsstadium wachstumshemmend auswirken kann.
- Organische Substanz wird zum Teil zu Humus umgesetzt, der die Bodenstruktur und Wasserspeicherkapazität des Bodens verbessert.
- Umgesetzte (mineralisierte) organische Substanz enthält wertvolle Nährstoffe für die Kulturpflanzen und spart Mineraldünger.
- Steigern Sie das Bodenleben, indem Sie Nahrung auf der Fläche belassen.

■ **Anbau von Zwischenfrüchten:**

- fördert das Bodenleben,
- führt dem Boden organische Substanz zu,
- lockert den Boden durch Pflanzenwurzeln auf,
- vermindert Verschlammung und Erosion durch den Bewuchs,
- verhindert Auswaschung von Nährstoffen über den Winter,
- bindet durch Leguminosen Luftstickstoff im Boden, der von der Folgekultur genutzt werden kann;
- besonders Saatgutgemische wie das „Landsberger Gemenge“ (Welsches Weidelgras + Inkarnatklee + Winterwicken) eignen sich durch die bodenaufbauende Wirkung der Wurzeln zur Verbesserung der Bodenstruktur.

■ **Gestaltung der Fruchtfolge unter phytopathologischen und bodenverbessernden Gesichtspunkten:**

- Wechseln Sie Sommerungen und Winterungen ab
→ Unterbrechung von Infektionswegen durch nematodenresistente Senf- und Ölerrettichsorten, Erweiterung der Fruchtfolge und Steigerung der Biodiversität.
- Bauen Sie Zwischenfrüchte an.
- Wechseln Sie Blatt- und Halmfrüchte ab → Unterbrechung von Infektionswegen, Erweiterung der Fruchtfolge, Steigerung der Biodiversität, Entzerrung der Arbeitsspitzen.
- Verzicht auf Feldfrüchte, deren Anbau nachteilig für Ihre Flächen ist – Stichwort Zuckerrüben auf Standorten, die zur Nässe neigen.

■ **Organische Dünger mineralischen vorziehen:**

- Erhöhung des Humusgehaltes,
- Steigerung des Bodenlebens besonders durch Festmist und Komposte.

- **Optimale pH-Werte des Bodens gewährleisten:**
 - Passen Sie den pH-Wert Ihres Bodens entsprechend der Bodenart und dem Humusgehalt durch Aufkalkung an, um ein besseres Bodengefüge zu erreichen (siehe Kapitel 2).

- **Verringern der Bearbeitungsintensität:**
 - Setzen Sie Systeme der konservierenden Bodenbearbeitung ein, um die Bodenstruktur zu verbessern und das Bodenleben sowie den Humusgehalt zu erhöhen und die Arbeitszeitbelastung zu verringern.
 - Wenn Sie pflügen, pflügen Sie so flach wie möglich.

Zudem gibt es **weiterführende Hilfsmittel**, die zur bodenschonenden Bewirtschaftung herangezogen werden können:

- **Klimadaten:**
 - ermöglichen Planung der Anbaustruktur und der Zeitfenster, die im vorherrschenden Klima für die Landbewirtschaftung zur Verfügung stehen.

- **Wetterdaten:**
 - ermöglichen kurzfristige, gezielte Planung der einzelnen Aktionen zu den günstigsten Witterungsbedingungen (z.B. Internetseiten, Wetterfax LWK NRW).

- **Bodenfeuchtemessungen vom Geologischen Dienst (GD):**
 - An mehreren Standorten in NRW wird die Bodenfeuchtigkeit gemessen.
 - Befahrung und Bearbeitung der Flächen nur bei günstiger Bodenfeuchte.

■ Bodenkennwerte:

- Nutzen Sie zur optimalen Bewirtschaftung des eigenen Standortes Kenntnisse über Bodentyp, Bodenart, Humusgehalt, pH-Wert, Nährstoffversorgung, Grund- und Stauwassereinfluss, Tiefgründigkeit etc. (z.B. LUFA, GD, LWK, FH Südwestfalen).
- Bodenkartierungen Geologischer Dienst NRW
- Bodenuntersuchungen, chemisch und physikalisch (z.B. GD, LUFA, FH Südwestfalen)

■ Computerprogramme/Berechnungsmodelle:

- TASC (Tyres/Tracks and Soil Compaction) von der FAT: Beurteilung der Belastung des Bodens durch eingesetzte Maschinen und Geräte hinsichtlich Radlasten und Kontaktflächendrücken (z.B. Agroscope FAT Tänikon Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik Schweiz).

7. Und wenn der Boden bereits dicht ist?

Sollte der Boden bereits verdichtet sein, so stehen die Beseitigung der Schadverdichtung sowie die Ermittlung ihrer Ursachen im Fokus.

Der nächste Schritt besteht darin, das Ausmaß der Bodenverdichtung zu ermitteln, um hieraus zu wissen, welche **Meliorationsmaßnahmen** in dem betreffenden Fall am sinnvollsten eingesetzt werden können. Das Ausmaß der Verdichtung kann mit Hilfe des „Bestimmungsschlüssels zur Erkennung und Bewertung von Bodenschadverdichtungen“ (Broschüren-Beilage) bestimmt werden.

Der Durchführung einer Meliorationsmaßnahme sollte immer die Beratung durch eine fachkundige Person (Bodenkundler/-in) vorausgehen.

Zu beachten ist, dass dauerhaft erfolgreiche Bodenmeliorationen bei Schadverdichtungen schwierig zu realisieren sind. Sowohl die Verdichtung, als auch deren Auflockerung stellen gravierende Eingriffe in das System „Boden“ dar und sollten deshalb nicht leichtfertig in Kauf genommen oder durchgeführt werden. Die Regeneration des Systems „Boden“ benötigt einige Jahre und ist mit Abschluss der Meliorationsmaßnahmen nicht automatisch beendet. Dabei gilt: je tieferreichender eine Bodenschadverdichtung, umso umfangreicher und zeitaufwändiger die Meliorationsmaßnahmen.

Es gibt verschiedene Konzepte, die im Zusammenhang mit verdichteten Böden angewandt werden können. Teilweise ist auch die Kombination mehrerer Maßnahmen sinnvoll. Auf stauwasserbeeinflussten Ackerflächen gehört zur Ursachenbeseitigung und Melioration zum Beispiel auch die Instandsetzung der Drainagen, um den Wasserhaushalt der Fläche zu regulieren. Die Aufkalkung

der Fläche auf den optimalen pH-Wert (siehe Kapitel 6) kann ebenfalls dazu gezählt werden.

Für die mechanische **Tiefenlockerung** stehen verschiedene Geräte zur Verfügung. Der Einsatz jedes Tiefenlockerungsgerätes setzt einen trockenen Boden voraus – trocken bis zum tiefsten zu bearbeitenden Punkt. Andernfalls richten Lockerungsversuche mehr Schaden als Nutzen an. Lockerungsmaßnahmen dürfen daher nur in trockenen Sommern durchgeführt werden, wenn die Bodenfeuchtigkeit entsprechend gering ist. Nach frühräumenden Kulturen, wie z. B. Gerste, ist ein guter Zeitpunkt. Um nachhaltigen Erfolg zu erzielen, muss eine Lockerung immer von einer biologischen Stabilisierung begleitet werden.

Starre Tiefenlockerungsgeräte wie **Tiefenmeißel** sind aufgrund der geringen Lockerungswirkung wenig geeignet. Den größten Schaden richtet jedoch ihr Einsatz bei ungünstigen Bodenverhältnissen an. Gleiches gilt für **Untergründer** am Pflug.



links: Mehrzweckmeliorationsgerät MM 100
rechts: Stechhublockerer TLG 470

Lockerungsgeräte mit hervorragender Lockerungswirkung sind **Stechhublockerer (TLG)** und **Mehrzweckmeliorationsgeräte (MM)**, wobei Letztere bei feuchteren Böden bodenschonender arbeiten. Die Kosten für eine Lockerung mit TLG oder MM belaufen sich auf ca. 900,- bis 1.200,- Euro/ha je nach Einsatzgebiet und Lohnunternehmer.

Aufgelockerter Boden ist durch die zerstörte Gefügestruktur in sich sehr instabil und wird durch erneute Gewichtsbelastung nahezu vollständig in der gesamten Lockerungstiefe zusammengepresst, also erneut verdichtet. Diese Verdichtungen sind kaum zu beheben, da sie besonders tief reichen.

Zu einer Melioration von Bodenschadverdichtungen gehört daher nicht nur die Lockerung, sondern zwingend auch die **biologische Stabilisierung** des Bodens im Anschluss daran. Diese erfolgt durch die Einsaat von mehrjährigen Kleegrasmischen, Luzerne, Rotklee, Steinklee und anderen Pflanzen, deren Wurzeln einerseits tief in den Boden eindringen und andererseits ein dichtes Geflecht ausbilden, das den Boden stabilisiert. Die Ausbildung eines biologisch stabilisierten, tragbaren Gefüges bedarf Zeit. Zeit, die dem Boden gegeben werden muss, wenn die durchgeführte Lockerung dauerhaft positive Wirkung zeigen soll. Daher ist die Stilllegung der Fläche oder mehrjähriger Feldfutterbau ohne Umbruch mit den oben beschriebenen Pflanzen für mindestens drei Jahre durchzuführen.

In weniger schwerwiegenden Fällen von Schadverdichtungen ist die Melioration auch alleine durch den Bewuchs mit wurzelaktiven Pflanzen über einen Zeitraum von mindestens zwei Jahren möglich.

Integration der biologischen Stabilisierung in den Betriebsablauf

Für ökologisch wirtschaftende Betriebe ist die Regeneration vielfach einfacher in den Betriebsablauf zu integrieren. Die Regeneration kann an Stelle des oder durch den Anbau des

zweijährigen Kleegrases erfolgen, das in den meisten Fruchtfolgen zur N-Bindung eingesetzt wird. Im Anschluss daran wird der einjährige Anbau von Phacelia empfohlen.

In konventionell wirtschaftenden Betrieben ist mehrjähriges Klee gras in der Fruchtfolge selten anzutreffen. Betriebe, die im Rinderbereich tätig sind, können den Aufwuchs des Klee grases als Futter in Schnittnutzung verwenden. Marktfruchtbetriebe können den Aufwuchs auch als Futter an Nachbarbetriebe verkaufen. Weitere Möglichkeiten zur Integration der biologischen Stabilisierung in die Fruchtfolge ist die Anmeldung der Fläche als Stilllegung oder der Anbau von Reinsaaten (z. B. Rotklee) zur Saatgutgewinnung. In allen Fällen ist es möglich, nach einer sorgfältigen Bodenbearbeitung im Vorjahr und der Aussaat der Vorfrucht eine Untersaat für die biologische Stabilisierung durchzuführen. Dadurch wird die Bodenstruktur nach Ernte der Vorfrucht nicht mehr gestört. Die Ernte muss in dem Fall allerdings zwingend bei trockenen Bodenbedingungen durchgeführt werden, damit keine Fahrspuren entstehen. Eine Tiefenlockerung kann dann in dem gewachsenen Bestand erfolgen, so dass der lockere Boden durch anschließende Befahrung nicht erneut verdichtet wird.

Nach der Melioration

Nach einer tiefen Bodenlockerung muss bei der Befahrung der Fläche auf die Maschinenausstattung geachtet werden. Die Maschinen und Geräte, die während der biologischen Stabilisierung und danach auf der Fläche eingesetzt werden, müssen nach den Kriterien

1. **geringe Kontaktflächendrücke** (große Reifenaufstandsfläche) und
2. **niedrige Radlasten** ausgewählt werden.

Die Anzahl der Überfahrten muss zudem so weit wie möglich reduziert werden. Befahrung und Bearbeitung dürfen nur bei optimaler Bodenfeuchte stattfinden. Andernfalls ist die Lockerungswirkung nicht aufrechtzuerhalten.

8. Schlussbetrachtung

Im Zuge der klimatischen Veränderungen und der durch die Mineralölverknappung steigenden Betriebsmittelkosten stellen Bodenschadverdichtungen mit all ihren Folgen ernste Risiken für den landwirtschaftlichen Betrieb dar. Bei verstärkten Niederschlägen im Winter und geringeren Wassermengen im Frühjahr und Sommer muss der Boden nicht nur in der Lage sein, die hohen Niederschläge zu „verdauen“, er muss auch ein möglichst guter Wasserspeicher für die trockeneren Zeiten sein. Andernfalls sind Erosion, Hochwasser und Vertrocknen oder Verfaulen der Bestände zu erwarten. Der Schutz vor Bodenschadverdichtungen ist damit Teil der Klimaanpassungsstrategie landwirtschaftlicher Betriebe. Der Tatsache, dass Bodenschädigungen erhebliche Auswirkungen auf die gesamte Umwelt haben können, wurde in § 4 und § 17 BBodSchG durch die Vorsorge- und Sanierungspflicht und deren Durchsetzung durch mögliche Anordnungen Rechnung getragen.

Die Ausführungen geben einen Überblick über die Möglichkeiten, die zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen angewandt werden können. Bei genauer Betrachtung fällt auf, dass sich die Maßnahmen zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen und zum Erosionsschutz teilweise ähneln und ergänzen.

Es ist also möglich, trotz der Wandlung der Anforderungen an die Landwirtschaft und der neuen Technologien, bodenschonende Landbewirtschaftung zu betreiben. Bodenschutz, auch als Klimaanpassungsstrategie, ist durch die enge Verbindung von bodenkundlichem und pflanzenbaulichem Wissen einerseits und innovativer Landtechnik andererseits möglich.

Verwendete Literatur

- AD-HOC ARBEITSGRUPPE BODEN (2005):** Bodenkundliche Kartieranleitung. Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland, Hannover
- BARLEY, K. P., FARRELL, D. A., GREACEN, E. L. (1965):** The influence of soil strength on the penetration of a loam by plant roots. Australian Journal of Soil Research 3, S. 69–79
- BECHER, H. H. (1978):** Wasserspannungsabhängiger Eindringwiderstand eines Pelosols. Geoderma 21
- BESTE, A. (2007):** Bodenschutz so wichtig wie Klimaschutz. ASG Ländlicher Raum Jan./Feb. 2007
- BLUM, W. E. H. (2007):** Bodenkunde in Stichworten. 6. Auflage. Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin und Stuttgart
- BLUME, H.-P. (HRSG.) (2004):** Handbuch des Bodenschutzes. Ecomed Verlags GmbH, Landsberg am Lech
- BRANDHUBER, R., DEMMEL, M., KOCH, H.-J., BRUNOTTE, J. (2008):** DLG-Merkblatt 344: Bodenschonender Einsatz von Landmaschinen – Empfehlungen für die Praxis. DLG e.V., Frankfurt a.M.
- COCKROFT, W., BARLEY, K. B., GREACEN, E. L. (1969):** The penetration of clays by fine probes and root tips. Australian Journal of Soil Research 7
- CRAMER, B. (2006):** Überprüfung von Bewertungsmodellen zur Identifikation und Prognose von Bodenschadverdichtungen auf Ackerböden in Nordrhein-Westfalen. Bonner Bodenkundl. Abh. 44, Bonn
- DEXTER, A. R. (1986):** Model experiments on the behaviour of roots at the interface between a loose seed-bed and a compacted Subsoil. 1. Effects of seed-bed aggregate size and subsoil strength on wheat roots. Plant and Soil 95
- DIREKTZAHLUNGEN-VERPFLICHTUNGENVERORDNUNG (DIREKTZAHLVERPFLV) (2009):**
Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand, Stand 19.02.2009
- DÜRR, H. J., PETELKAU, H., SOMMER, C. (1994):**
Literaturstudie Bodenverdichtung. Institut für Betriebstechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL)
- DVWK (1998):** Materialien 4/1998, Bodenverdichtung – Grundlagen für eine nachhaltige Landbewirtschaftung aus bodenkundlicher Sicht. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft, Bonn
- FAO (2003):** Soils Bulletin 79 – Optimizing soil moisture for plant production. Natural Resources Management and Environment Department

- HORN, R. (2000):** Introductory remarks. In: Horn, R., van den Akker, J. J. H., Arvidsson, J. (Hrsg.): Subsoil Compaction – Distribution, Processes and Consequences. Advances in Geocology 32, Catena Verlag GmbH, Reiskirchen
- KTBL (1998):** Bodenbearbeitung und Bodenschutz – Schlußfolgerungen für die gute fachliche Praxis. Arbeitspapier 266, Landwirtschaftsverlag, Münster
- LAL, R. (2008):** Tagungsbeitrag DBG, Berlin
- LÜTKE ENTRUP, N., OEHMICHEN, J. (2006):** Lehrbuch des Pflanzenbaus. Band 1 – Grundlagen. AgroConcept GmbH, Bonn
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. (2002):** Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, Berlin
- SCHULTE-KARRING, H. (1995):** Die Unterbodenmelioration. Teil 3 Technik. Wahrlich Druck und Verlagsgesellschaft mbH, Meckenheim und Ahrweiler
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2004):** UBA Texte 46/04: Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden/Regelungen zur Gefahrenabwehr. UBA, Berlin
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (2006):** Hintergrundpapier „Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Szenarien und nationale Aufgaben“. Umweltbundesamt, Dessau
- VDI (2007):** VDI Richtlinien – Maschineneinsatz unter Berücksichtigung der Befahrbarkeit landwirtschaftlich genutzter Böden – VDI 6101. Beuth Verlag GmbH, Berlin
- VDLUFA (1997):** VDLUFA-Mitteilungen
- WEYER, TH. (2008):** Verdichtung. In: Schonende Bodenbearbeitung – Systemlösungen für Profis. DLG Verlags-GmbH, Frankfurt a. M.
- WEYER, TH., BUCHNER, W. (2001):** Bodenschadverdichtungen – Auswirkungen, Ursachen, Wirkungen und Lösungsansätze. In: Fachtagung Bodenbewirtschaftung im Umbruch – ökonomisch effizient, pflanzenbaulich/technisch innovativ und der Nachhaltigkeit verpflichtet. Universität GH Paderborn, FB Agrarwirtschaft, Soest
- WEYER, TH. (2008):** Status der Bodenverdichtung in Nordrhein-Westfalen. In: Tagungsband zur Fachtagung „Strategien zum Bodenschutz – Sachstand und Handlungsbedarf“ von ilu, GKB und KTBL Dezember 2007 in Bonn, Hrsg.: FNL, Bonn
- WEYER, TH. (2009):** Schadverdichtet oder nur dicht? Zum Ausmaß von Bodenschadverdichtungen in Nordrhein-Westfalen. In: Tagungsband der 21. u. 22. Wissenschaftlichen Fachtagung in NRW. Hrsg.: Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“, Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Tabellen zur Berechnung des Felddiagnoseergebnisses aus dem „Bestimmungsschlüssel zur Erkennung von Bodenschadverdichtungen im Feld“

Parameter	Faktor		Stufe		Summe
Bodenoberfläche	1	×		=	
Eindringwiderstand	3	×		=	
Wurzelwachstum	5	×		=	
Bodenaufbau	3	×		=	
Rottezustand	4	×		=	
Bodenfarbe	3	×		=	
Bodengeruch	2	×		=	
Bodengefüge	5	×		=	
Verfestigungsgrad	4	×		=	
Lagerungsdichte	2	×		=	
Makroporenanteil	5	×		=	
Gesamtsumme					

Parameter	Faktor		Stufe		Summe
Bodenoberfläche	1	×		=	
Eindringwiderstand	3	×		=	
Wurzelwachstum	5	×		=	
Bodenaufbau	3	×		=	
Rottezustand	4	×		=	
Bodenfarbe	3	×		=	
Bodengeruch	2	×		=	
Bodengefüge	5	×		=	
Verfestigungsgrad	4	×		=	
Lagerungsdichte	2	×		=	
Makroporenanteil	5	×		=	
Gesamtsumme					

Parameter	Faktor		Stufe		Summe
Bodenoberfläche	1	×		=	
Eindringwiderstand	3	×		=	
Wurzelwachstum	5	×		=	
Bodenaufbau	3	×		=	
Rottezustand	4	×		=	
Bodenfarbe	3	×		=	
Bodengeruch	2	×		=	
Bodengefüge	5	×		=	
Verfestigungsgrad	4	×		=	
Lagerungsdichte	2	×		=	
Makroporenanteil	5	×		=	
Gesamtsumme					

Parameter	Faktor		Stufe		Summe
Bodenoberfläche	1	×		=	
Eindringwiderstand	3	×		=	
Wurzelwachstum	5	×		=	
Bodenaufbau	3	×		=	
Rottezustand	4	×		=	
Bodenfarbe	3	×		=	
Bodengeruch	2	×		=	
Bodengefüge	5	×		=	
Verfestigungsgrad	4	×		=	
Lagerungsdichte	2	×		=	
Makroporenanteil	5	×		=	
Gesamtsumme					

Herausgeber

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Referat Öffentlichkeitsarbeit
40190 Düsseldorf

Fachredaktion

Fachhochschule Südwestfalen,
Agrarwirtschaft Soest

MKULNV, Referat IV-4
Bodenschutz und Altlasten, Deponien

Autoren

Prof. Dr. Thomas Weyer, FH Südwestfalen
Dipl.-Ing. (FH) Runa Boeddinghaus, FH Südwestfalen

Grafiken

avo Werbeagentur, Soest
Dipl.-Ing. (FH) Runa Boeddinghaus, FH Südwestfalen

Gestaltung

designlevel 2

Fotonachweis

Fachhochschule Südwestfalen

Stand:

Mai 2016



Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
40190 Düsseldorf

Telefon 0211 4566-666
Telefax 0211 4566-388

infoservice@mkulnv.nrw.de
www.umwelt.nrw.de





Bestimmungsschlüssel zur Erkennung und Bewertung von Bodenschadverdichtungen im Feld

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen



Fachhochschule Südwestfalen
Hochschule für Technik und Wirtschaft
University of Applied Sciences

Impressum
Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
Schwannstr. 3
40476 Düsseldorf

Fachhochschule Südwestfalen
Agrarwirtschaft Soest
Lübecker Ring 2
59494 Soest

Autoren
Prof. Dr. Thomas Weyer, FH Südwestfalen
Dipl.-Ing. (FH) Runa Boeddinghaus, FH Südwestfalen

Fotos und Grafiken
Fachhochschule Südwestfalen
AG Boden 2005

Gestaltung
Dipl.-Ing. (FH) Runa Boeddinghaus, FH Südwestfalen

Stand
Mai 2016

Anwendung des Bestimmungsschlüssels

Suchen Sie zunächst eine repräsentative Stelle auf der Fläche aus, wo Sie die Felddiagnose durchführen möchten.

Benötigte Materialien:

- Spaten
- Taschenmesser (Klingenlänge ca. 7 cm, Klingenbreite ca. 2 cm)
- Zollstock
- Handsonde

Durchführung:

Befolgen Sie erst die Anleitung zur Durchführung einer Felddiagnose (siehe rechts). Die Ermittlung der einzelnen Merkmale ist in schwierigeren Fällen weiter unten dargestellt.

Führen Sie die Bestimmung zunächst bis in eine Bodentiefe von ca. 30 cm durch (1. Bodenmonolith bei der Felddiagnose). Da vor allem die Krumbasis häufig Verdichtungen aufweist, ist eine Zustandsanalyse des Bodens bis ca. 60 cm angezeigt (2. Bodenmonolith). Besonders die Kontinuität der Makroporen bis in den Unterboden ist von entscheidender Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit.

Die erkennbare Schichtung des Bodens, „Bodenhorizonte“ (Gefügeveränderungen, Farbe, etc.), ist in der Abfolge ihrer Kompartimente einzeln zu bewerten, um eine klare Kennzeichnung der Problembereiche zu gewährleisten. Auf dieser Basis kann anschließend eine genaue, tiefenbezogene Analyse erfolgen, die die Ursachenforschung deutlich vereinfacht.

Auswertung:

Für die Ermittlung der Gesamtpunktzahl multiplizieren Sie die Stufenzahl mit dem Faktor des jeweiligen Parameters. Die einzelnen Ergebnisse addieren Sie anschließend zur Gesamtpunktzahl.

Beispiel:

Parameter	Faktor		Stufe	=	Summe
Bodenoberfläche	1	x	1	=	1
Eindringwiderstand	3	x	1	=	3
Wurzelwachstum	5	x	1	=	5
Bodenaufbau	3	x	3	=	9
Rottezustand	4	x	2	=	8
Bodenfarbe	3	x	2	=	6
Bodengeruch	2	x	1	=	2
Bodengefüge	5	x	1	=	5
Verfestigungsgrad	4	x	1	=	4
Lagerungsdichte	2	x	2	=	4
Makroporenanteil	5	x	1	=	5
Gesamtsumme					52

Wenn Sie ein Merkmal, z.B. Bodenoberfläche, nicht mit einbeziehen, müssen Sie die entsprechenden Punkte in der Ergebnisskala abziehen.

Weiteres Vorgehen:

Sollte Ihre Fläche nach diesem Bestimmungsschlüssel Bodenschadverdichtungen aufweisen, suchen Sie die möglichen Ursachen. Maßnahmen zur Vermeidung und Beseitigung von Bodenschadverdichtungen werden in dem Ratgeber „Bodenschadverdichtung und Bodenfruchtbarkeit“ des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV) und der Fachhochschule Südwestfalen aufgezeigt.

Sprechen Sie auf jeden Fall mit Ihrer PflanzenbauberaterIn über das Problem und holen Sie fachkundigen Rat von BodenkundlerInnen, speziell vor der Durchführung von Meliorationsmaßnahmen, ein.

Eindringwiderstand des Bodens

Greifen Sie die Handsonde am Kopfstück und drücken Sie sie senkrecht, gleichmäßig und langsam in den Boden. Hierbei können die unterschiedlichen Widerstände in der Tiefe erspürt werden. Je höher der benötigte Kraftaufwand ist, desto dichter ist der Boden in der entsprechenden Tiefe gelagert. Wenn ein Boden sehr feucht ist, ist der Widerstand geringer. Ist der Boden sehr trocken, ist der Widerstand deutlich höher. Daher sollten Eindringwiderstandsmessungen mit Sonden bei krümeliger Bodenkonsistenz (80–100 % FK) durchgeführt werden, was meist nach längeren Regenperioden der Fall ist. Bei Trockenheit oder stark abgetrocknetem Boden liefert die Bodensonde keine sicheren Ergebnisse, weil trockener Boden Verdichtungen vortäuschen kann. Da es sich um eine punktuelle Messung handelt, müssen mehrere Einstiche zur Gewährleistung einer repräsentativen Aussage in einem Areal gemacht werden. Flächenspezifisch treten zudem Unterschiede zwischen den Bereichen „Fahrgasse“, „Vorgewende“ und „Kernfläche“ auf.



Wurzelwachstum

Pflanzenwurzeln wachsen vorwiegend in leicht zu durchdringendem Substrat. Daher bevorzugen sie lockeren Boden, Regenwurmgänge, alte Wurzelgänge oder Risse und Spalten im Boden. Je dichter ein Boden ist, desto weniger wachsen die Pflanzenwurzeln durch die Aggregate und desto mehr bevorzugen sie bereits vorhandene Gänge oder Risse im Boden. Die Verteilung der Wurzeln gibt daher Aufschluss über den Bodenzustand.

Durchdringen die Wurzeln den Boden gleichmäßig seitlich und in die Tiefe und bilden ein enges Netzgeflecht mit vorwiegend feinen Wurzeln, ist der Boden nicht verdichtet. Wachsen die Wurzeln deutlich horizontal und nicht in die Tiefe (typischer 90° Winkel zwischen Spross und Wurzeln), wie in der Abbildung, liegt eine Bodenverdichtung vor.



Bodenaufbau

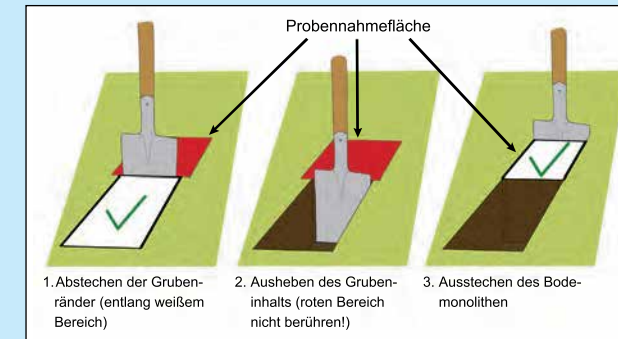
In einem gesunden Boden sind die Übergänge zwischen Ober- und Unterboden fließend. Dies gilt sowohl für die Gefügestruktur im Ober- und Unterboden als

Anleitung zur Durchführung einer Felddiagnose

Sie die Grube für die Entnahme weiterer Proben tiefer (immer max. 1. Spatenblattlänge pro Analysegang).

Achtung:

Die zu untersuchende Seite darf beim Ausheben des Grubeninhaltes nicht beschädigt/berührt werden.



Schritt 1:

Festlegen der Untersuchungsseite und Abstechen des Grubenumfanges mit dem Spaten.

Achtung:

Die zu untersuchende Seite darf nicht betreten, oder mit dem Spaten beim Abstechen eingedrückt werden.



Schritt 2:

Ausheben des Grubeninhaltes zunächst bis ca. 30 cm Tiefe (eine Spatenblattlänge). Nach der Entnahme und Untersuchung des ersten Bodenmonolithen graben

Schritt 3:

An der zu untersuchenden Seite werden die Längsseiten des ausgestochenen Rechtecks verlängert und ca. 10–15 cm (eine Handbreit) hinter der Front verbunden.



Schritt 5:

Ablegen des Spatens mit dem Bodenmonolithen neben der Grube.



Schritt 6:

Beginn der Bodenuntersuchung

fluss führen zusätzlich zu einer mehr oder weniger starken und kontrastreichen Scheckung des Bodens, z. B. Rostflecken auf hellerer Bodengrundfarbe. Bodenschadverdichtungen wirken sich erheblich auf den Wasserhaushalt des Bodens aus und können so die Ausprägung der Bodenfarbe beeinflussen. Die Bewertung der Flächenanteile Ihres Bodens können Sie anhand der Abbildung links unten (Bodenkundliche Kartieranleitung, AG Boden, Hannover 2005) vornehmen.

Bodengefüge

Stechen Sie mit dem Spaten einen rechtwinkligen Bodenmonolithen aus der zu untersuchenden Bodentiefe. Lassen Sie den Monolithen aus ca. 1 m Höhe auf eine harte, ebene Oberfläche fallen (z. B. Brett, Bodenoberfläche). Die entstandenen Bruchstücke können Sie nun anhand der Beschreibungen auf der Rückseite den entsprechenden Gefügeformen zuordnen.

Verfestigungsgrad der Aggregate

Der Verfestigungsgrad wird ähnlich wie das Bodengefüge durch eine Fallprobe aus ca. 1 m Höhe bestimmt. Hierbei wird die Zerfallsintensität beurteilt - je weniger ein Boden zerfällt und je größer die einzelnen Stücke sind, desto höher ist der Zusammenhalt des Bodens. Stark tonhaltiger Boden wird von Natur aus immer fester zusammenhalten, als Sand oder Schluffboden. Die Bestimmung des Verfestigungsgrades können Sie anhand der umseitigen Beispiele vornehmen.

Lagerungsdichte

Nehmen Sie das Taschenmesser zur Hand und stechen Sie es mit gleichmäßigem Kraftaufwand in die unberührte Seitenwand Ihrer Felddiagnosegrube. Je leichter das Messer in die Wand dringt, desto geringer ist die Lagerungsdichte. Ist es nicht mehr möglich, das Messer ohne größeren Kraftaufwand bis zum Heft in den Boden zu drücken, ist der Boden als verdichtet anzusprechen. Die Einstufungen finden Sie umseitig.

Makroporenanteil

Legen Sie mit dem Spaten oder einem Spachtel eine waagerechte, ca. 10 x 10 cm große Fläche in der zu untersuchenden Tiefe frei. Auf dieser Fläche schätzen Sie nun die Anzahl und Größe der mit bloßem Auge sichtbaren Poren des Bodens anhand des folgenden Schätzrahmens aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung (5. Auflage, Hannover 2005). Beachten Sie dabei, dass die Kontinuität der Poren in die Tiefe von entscheidender Bedeutung für den Bodenzustand und den Wasser- und Lufthaushalt des Bodens ist. Poren mit einem Durchmesser von 0,20 bis 0,05 mm sind mit bloßem Auge nicht sichtbar. Sie sind im Unterboden jedoch von besonderer Bedeutung. Bei Verdacht auf eine Bodenschadverdichtung sollte daher zusätzlich eine Laboranalyse durchgeführt werden.

Einstufung der Porosität	Kurzzeichen	Makroporenanteil: sichtbare Poren im Boden		
		Vol.-%	1 - < 2	2 - < 5
Überwiegend > 0,2 mm	Bezeichnung	g	m	h
0,5 < 1	fein	gr2	f3	m3
1 < 2	mittel	gr3	f4	m4
2 < 5	grob	gr4	f5	m5

Flächenanteil in %	Bezeichnung	Stufe	Vergleichsmuster zur Abschätzung der Flächenanteile in der Profilwand
< 1	sehr gering	f1	1 %
1 bis < 2	gering	f2	2 %
2 bis < 5	mittel	f3	3 % 5 %
5 bis < 10	hoch	f4	7 % 10 %
10 bis < 30	sehr hoch	f5	15 % 20 % 25 %
30 bis < 50	äußerst hoch	f6	30 % 40 % 50 %



	Merkmale	Faktor	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
Feldbegehung	Bodenoberfläche	1	krümelige Struktur erkennbar, hoher Anteil an Regenwurmlosung auf der Bodenoberfläche	krümelige Struktur abnehmend bis kaum erkennbar, geringerer Anteil an Regenwurmlosung	keine ausgeprägte Oberflächenstruktur erkennbar, Regenwurmlosung abnehmend	Verschlämmung und Spuren von Erosion erkennbar, nur vereinzelt Regenwurmlosung	Verschlämmung. Wasser versickert nur sehr langsam, dadurch oft hellgraue bis hellbraune Verfärbung der Oberfläche, Fäulnisgeruch, grüne Farbe durch Algenbildung
	Eindringwiderstand des Bodens	3	gering	gering – mittel	mittel	mittel – hoch	hoch
Felddiagnose 1 – Untersuchungen mit dem Spaten	Wurzelwachstum *	5	gleichmäßiges „Wurzelnetz“ mit vielen feinen Wurzeln, die den Boden durchziehen, und senkrecht in die Tiefe verlaufenden Pfahlwurzeln	Wurzelwachstum gleichmäßig in größerer Netzstruktur, Wurzeln sind im Durchschnitt dicker	Wurzelwachstum vorwiegend entlang der Aggregatoberflächen, grobes Netz, Wurzeln teilweise abgeplattet	Wurzelwachstum in Rissen zwischen Aggregaten, Tiefenwachstum verstärkt in Regenwurm- u. alten Wurzelgängen	Wurzelwachstum fast ausschließlich in Gängen und Rissen, Wurzeln sind größer, teilweise Seiten- statt Tiefenwachstum
	Bodenaufbau *	3	fließend beim Auseinanderziehen mit dem Messer ist keine klare Bruch-/Trennlinie sichtbar		deutlich sichtbare Trennlinien im Bodenaufbau, z. B. Übergang zwischen Bodenbearbeitungsschicht und unterer Krume		schroffe Teilung beim Auseinanderziehen mit dem Messer bricht der Boden entlang klarer Trennlinien
	Rottezustand (Erntereste, Mist etc., Zeitspanne zwischen Ausbringung und Untersuchung berücksichtigen)	4	vollständige Umsetzung des gleichmäßig verteilten organischen Materials im Oberboden	nur schwer zersetzbares Material ist noch vorhanden, fein strukturiertes ist vollständig zersetzt	ungleichmäßige Verteilung des organischen Materials, grobes und mittleres Material ist nicht zersetzt	Rotte verläuft sehr langsam, „Matratzenbildung“ durch schlechte Verteilung von organischem Material, teilweise Fäulnis	„Matratzen“ bilden Sperrschichten, organisches Material verfault, statt zu verrotten, Umsetzung erfolgt sehr langsam
	Bodenfarbe *	3	gleichmäßige, bräunliche Färbung der Bodenschicht, teilweise sehr dunkel durch hohen Humusgehalt	kleine Sprengel von schwarzen Mangan- und rötlichen Eisenanteilen, weniger als 2 % der Fläche betroffen	deutliche Eisen- (rot) und Manganflecken (schwarz) erkennbar (ca. 3 mm Durchmesser, 2–5 % der Fläche), aufgehellte Flächen sichtbar	deutliche Eisen- und Manganflecken (> 3 mm Durchmesser) auf 5–10 % der Fläche, gräulich ausgebleichte Stellen	starke Eisen- und Manganflecken, teilweise Konkretionen, > 1 cm Durchmesser, > 10 % der Fläche betroffen, starke Bleichungen und Grautöne, Fäulnisgeruch
	Bodengeruch	2	erdig				
Felddiagnose 2 – Untersuchungen mit der Fallprobe	Bodengefüge *	5	Krümelgefüge Resultat von hoher biol. Aktivität; rundliche, kleine Aggregate mit rauer Oberfläche, viele Poren	Bröckelgefüge Resultat von Bodenbearbeitung; kleine, feste Aggregate mit unregelmäßigen Bruchflächen	Klumpengefüge Resultat von Bodenbearbeitung; große, feste Aggregate, Oberflächen gerundet und geknetet	Klumpengefüge mit Übergang zum Plattengefüge	Plattengefüge Resultat von Bodenverdichtung; horizontal ausgerichtete, sehr feste Bodenaggregate
	Verfestigungsgrad der Aggregate*	4	schwach/lose Boden zerfällt schon bei der Entnahme in viele kleine Bruchstücke		mittel Boden zerbricht beim Aufprall in wenige Bruchstücke, die von Hand zerkleinert werden können		sehr stark/sehr fest Boden zerfällt kaum, die groben Blöcke können kaum von Hand zerteilt werden
Untersuchungen an der Grubenwand	Lagerungsdichte *	2	sehr gering Ld 1 (< 1,4 g/cm³) Messer leicht in den Boden zu drücken, Boden zerfällt	gering Ld 2 (1,4 bis 1,6 g/cm³) Messer mit wenig Kraft ganz in den Boden zu drücken	mittel Ld 3 (1,6 bis 1,8 g/cm³) Messer bis etwa zur Hälfte der Klinge in den Boden zu drücken	hoch Ld 4 (1,8–< 2,0 g/cm³) Messer kaum in den Boden zu drücken	sehr hoch Ld 5 (> 2,0 g/cm³) Messer nur mit der Spitze oder gar nicht in den Boden zu drücken
	Makroporenanteil *	5	hoch 5–10 Vol.-% der Fläche auffallend viele Regenwurmgänge und alte Wurzelgänge		mittel 2–5 Vol.-% der Fläche Anzahl Regenwurmgänge und andere Makroporen verringert		gering 1–2 Vol.-% der Fläche nur vereinzelt alte Wurzelgänge, Regenwurmgänge selten

Auswertung

Parameter	Faktor	Stufe	Summe
Bodenoberfläche	1	x	=
Eindringwiderstand	3	x	=
Wurzelwachstum	5	x	=
Bodenaufbau	3	x	=
Rottezustand	4	x	=
Bodenfarbe	3	x	=
Bodengeruch	2	x	=
Bodengefüge	5	x	=
Verfestigungsgrad	4	x	=
Lagerungsdichte	2	x	=
Makroporenanteil	5	x	=
Gesamtsumme			

* Bestimmung der Merkmale wird auf der Rückseite erläutert

Gesamtpunktzahl 37–74 Punkte

Die nachhaltige Fruchtbarkeit Ihres Bodens ist gewährleistet. Er kann seine Funktionen wie z. B. Lebensraum für Pflanzen und Tiere, Regelung von Stoffkreisläufen, Filterung von Niederschlagswasser und Produktion hoher Pflanzenerträge voll erfüllen. Ihr Boden weist keine Verdichtungen in der untersuchten Tiefe auf. Wenden Sie weiterhin die gute fachliche Praxis zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen an (siehe Maßnahmen in der Broschüre „Bodenschadverdichtung und Bodenfruchtbarkeit“).

Gesamtpunktzahl 75–111 Punkte

Ihr Boden zeigt Anzeichen einer beginnenden bewirtschaftungsbedingten Verdichtung. Überprüfen Sie Ihr Bewirtschaftungskonzept und suchen Sie nach den möglichen Ursachen. Ihr Boden ist in einem Zustand, in dem er sich bei richtiger Behandlung relativ schnell erholen kann und in dem noch keine umfassenden bodenverbessernden Maßnahmen notwendig sind. Treffen Sie vorsorgende Maßnahmen zur Verringerung der Verdichtungsgefährdung. Informieren Sie sich über pflanzenbauliche und landtechnische Möglichkeiten zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen (siehe Broschüre) und integrieren Sie sie in Ihr Bewirtschaftungskonzept.

Gesamtpunktzahl 112–185 Punkte

Ihr Boden zeigt deutliche Anzeichen einer fortgeschrittenen Bodenschadverdichtung. Der derzeitige Zustand Ihres Bodens lässt einen optimalen Ablauf der Bodenfunktionen (Lebensraum-, Regelungs- und Ertragsfunktion) nicht mehr zu. Bleiben die Bedingungen bestehen, werden Sie langfristig erheblich höhere Betriebsmittelaufwendungen haben (Pflanzenschutz, Mineraldünger, Energie), um den gleichen Ertrag zu erwirtschaften. Auf extreme Witterungsereignisse kann Ihr Boden nicht reagieren, wodurch das Ausfallrisiko der Ernte und die Bodenerosion steigen. Finden Sie die Ursachen für die Bodenschadverdichtungen und beseitigen Sie diese. Stellen Sie Ihre Bewirtschaftung auf bodenschonende Verfahren um. Lassen Sie sich hinsichtlich der bestehenden Möglichkeiten zur Bodenschonung beraten. Der Zustand Ihres Bodens lässt eine Meliorationsmaßnahme ratsam erscheinen, für die endgültige Entscheidung und zur Erörterung des passenden Verfahrens wenden Sie sich an bodenkundige Fachleute (siehe auch Broschüre „Bodenschadverdichtung und Bodenfruchtbarkeit“).