

Bodenkultur und Düngung

Bodenmechanik

Prof. Dr. Mareike Ließ

WS 25/26

Folgen der Bodenverdichtung

War in der Vergangenheit Nährstoffmangel der wichtigste ertragsbegrenzende Faktor, so ist es heute nicht selten eine mangelhafte Bodenstruktur



Starke Bodenverdichtung und gehemmte Wasserfiltration in den Fahrspuren nach der Silomaisernte

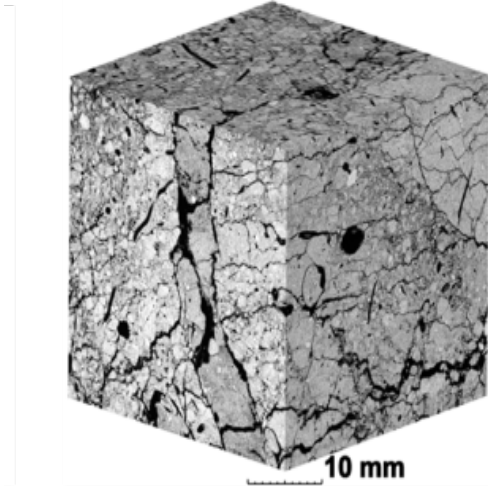


Vorzeitige Abreife des Getreides auf den bei der Bestellung verursachten Verdichtungen in den Fahrspuren (Wassermangel)

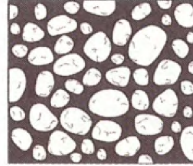


Ungleichmäßiger Zwischenfruchtbestand aufgrund von Bodenverdichtung in den Fahrspuren der Gülleausbringung

Rückblick: Gefüge- und Aggregatbildung



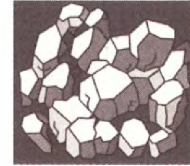
Krümelfüge



Subpolyedergefüge



Polyedergefüge



Heterogenisierung der Lagerung

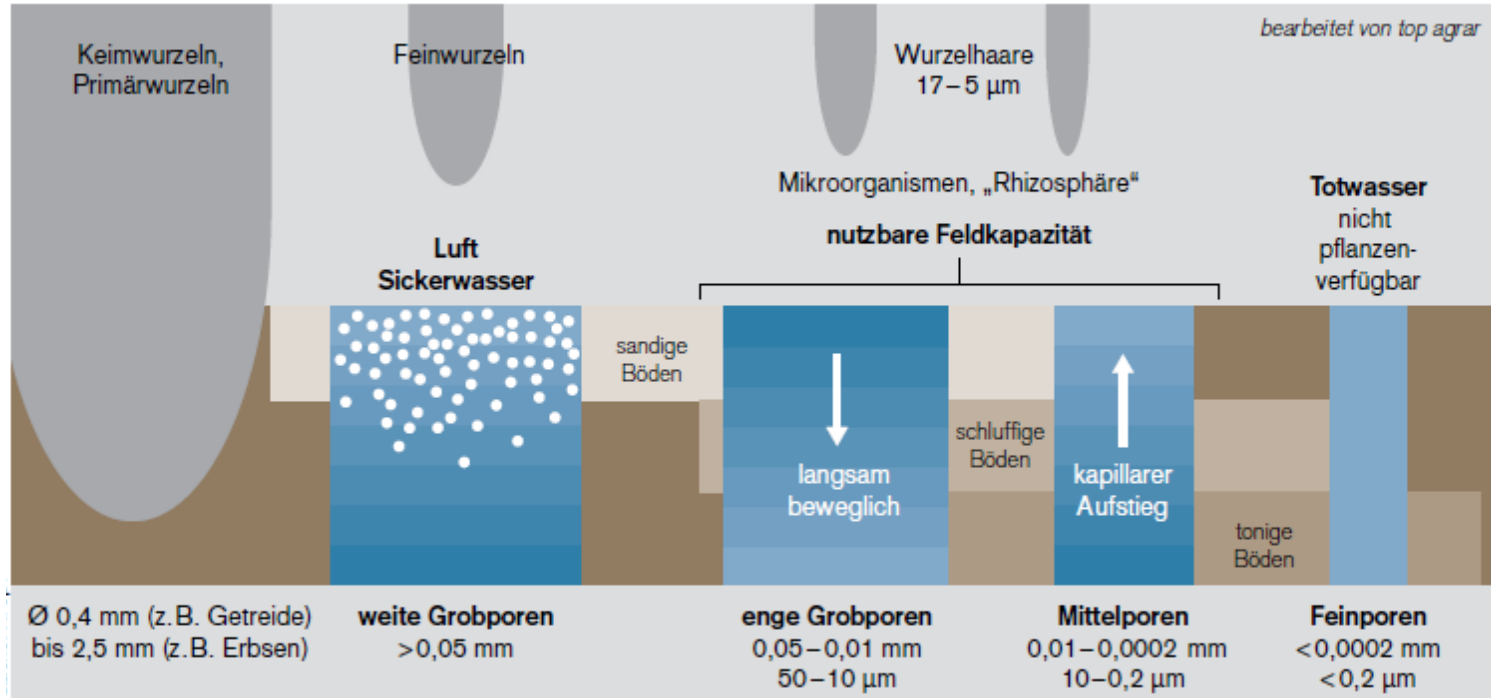
- Austrocknung und Wiederbenässung
- Rissbildung durch Quellung und Schrumpfung (Peloturbation)
- Gefrieren und Tauen (Kryoturbation)
- Bioturbation durch Bodenorganismen
- Verdichtungsvorgänge durch das Wurzelwachstum

=> Aggregate und Hohlräume

<https://www.dbges.de/de/dbg-themen/kommissionen/k1-bodenphysik-und-bodenhydrologie>

Rückblick: Bodenporen als Lebensraum

Während Keim- und Primärwurzeln in groben Poren und Rissen wachsen, nutzen Wurzelhaare enge Grobporen und Mittelporen zur Wasser- und Nährstoffaufnahme.



top agrar 3/2021

Gefügestabilität

Definition:

Fähigkeit der Bodenaggregate, bei Einwirken äußerer Kräfte gegenüber Zerfall stabil zu bleiben

Einwirkende Kräfte:

1. Gewichtskraft (Gravitation)
2. Strömungsdruck des Wassers: z.B. bei Starkregen
3. Auflast, Druck: Eigengewicht des Bodens, bodenfremde Körper (z.B. Maschinen)
4. Schub, Zug: wirksam über Geräte und Maschinen

Je nach dem, wie stark sich das Bodengefüge diesen Kräften widersetzen kann, tritt (k)eine Verformung der Struktur ein.

Gewichtskraft (Gravitation)

jede horizontale Ebene in einem Profil steht unter Spannung, die durch das Gewicht des darüber liegenden Bodenpakets hervorgerufen wird.

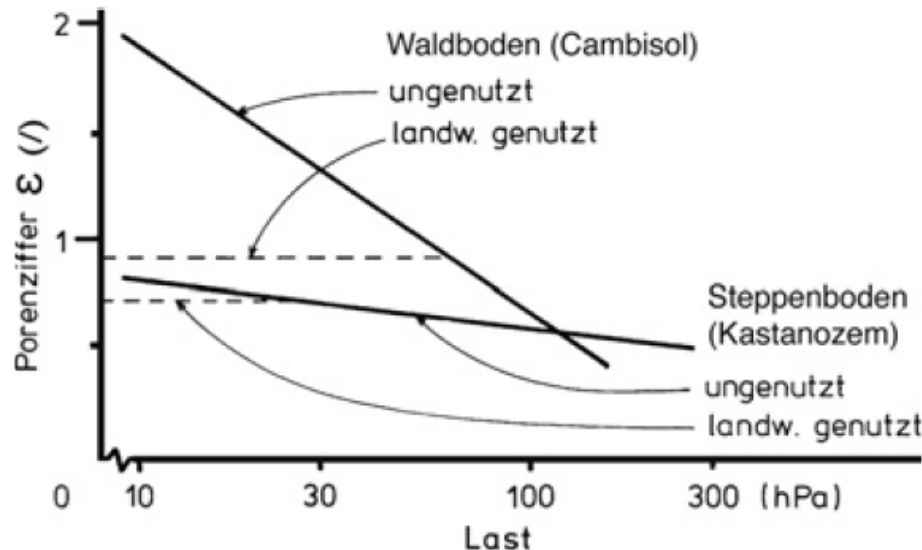
Die Gesamtlast auf jeder horizontalen Ebene im Bodenkörper wird, auf die Flächeneinheit bezogen, als **Vertikalspannung** (σ_z) bezeichnet. Sie ergibt sich aus der Tiefe (z), der Dichte des Bodens (ρ_B) und der Erdbeschleunigung (g) zu:

$$\sigma_z = z \cdot \rho_B \cdot g$$

Da jede aufliegende Last von der darunterliegenden Zone getragen werden muss, wird diese zusammengepresst und dabei gleichzeitig das mit Luft und Wasser gefüllte Porenvolumen verkleinert. Die mit der Profiltiefe wachsende Vertikalspannung ist die Ursache für zunehmende Dichten in Unterböden

Normalverdichtungszustand vs. Vorverdichtungszustand

Bodenprofil: natürlicher Zustand vs. landw. Nutzung



Amelung et al., 2018

Waldboden: intensive Bioturbation führt zu einer sehr lockeren Lagerung, dargestellt durch die Lagerungskurve mit einer starken negativen Steigung.

Ackernutzung: starke Komprimierung. Im gepflügten Oberboden ist das gelockerte Substrat infolge geringer Abstützung der Primärteilchen sehr verdichtungsanfällig

Steppenboden: im trockenen Klima wenig Pedoturbation, Kontraktion der Partikel durch Austrocknung, hohe Anzahl an Berührungspunkten

Landw. Nutzung: wenig Veränderung.

Rückblick: Porenvolumen und Porenziffer

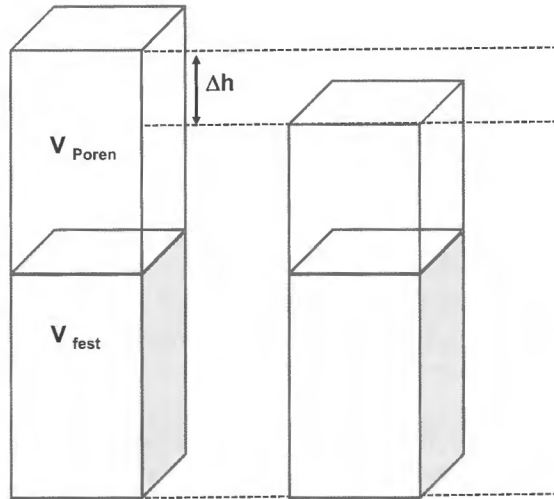
Änderung der Lagerungsdichte

Porenvolumen
(eigtl. Porenanteil)

$$PV = \frac{V_{ges} - V_F}{V_{ges}}$$

Porenziffer

$$\varepsilon = \frac{V_{ges} - V_F}{V_F}$$

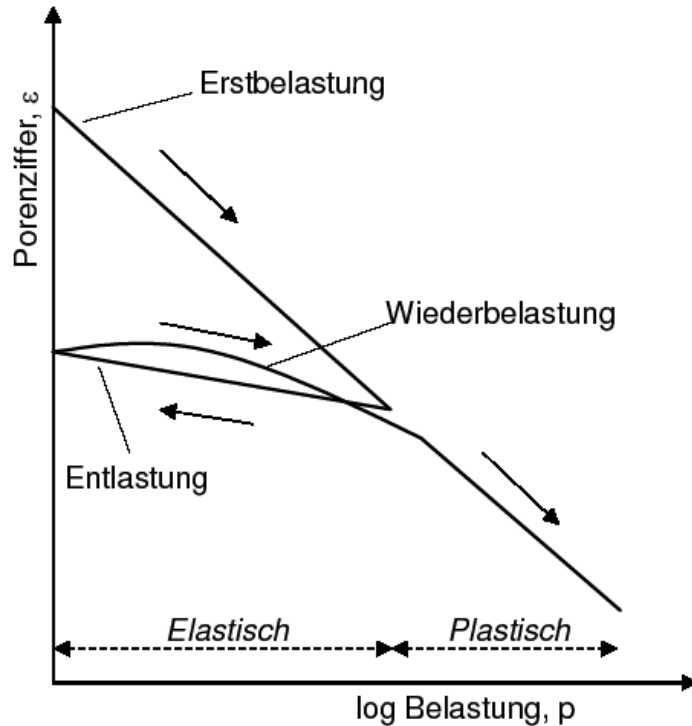


Das Gesamtvolumen eines Bodens als Summe von Poren- und Feststoffvolumen.

Wahl der Bezugsgröße: Das Gesamtvolumen ist nicht konstant, aber das Feststoffvolumen.

Bachmann et al. 2014

Elastische vs. plastische Bodenverformung



elastische Verformung:

- Betrag der eingeleiteten Spannung kleiner als die Vorbelastung
- Der Boden gibt nach ohne eine bleibende Verformung, die Eigenstabilität wird nicht überschritten

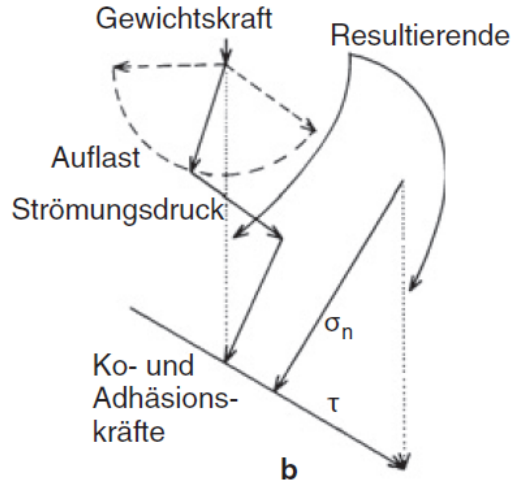
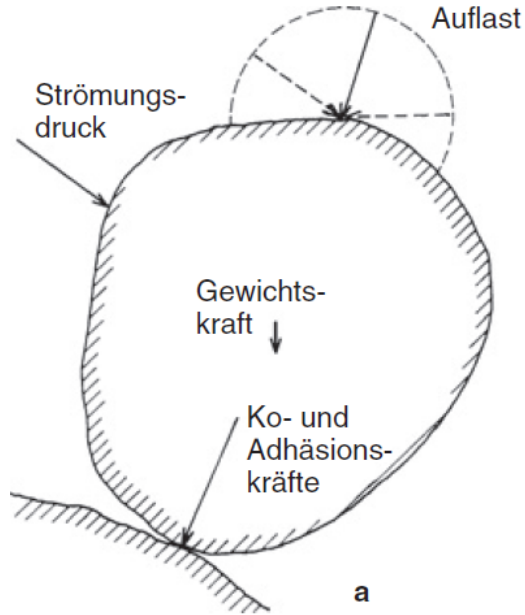
plastische Verformung:

- Betrag der eingeleiteten Spannung größer als die Vorbelastung
- die Bodenverformung bleibt dauerhaft bestehen. Die Traglast und somit die Eigenstabilität des Bodens wurden überschritten

Porenziffer:

- **Erstbelastung:** die Porenziffer des Bodens verringert sich
- **elastische Verformung:** die Porenziffer nimmt nach der Entlastung wieder zu, jedoch nicht auf Höhe des Ausgangsniveaus.
- **wiederholte Belastung:** die Porenziffererhöhung nach der Entlastung verringert sich
- **Plastische Verformung:** keine Porenziffererhöhung nach der Entlastung

Auf ein Bodenteilchen wirkende Kräfte

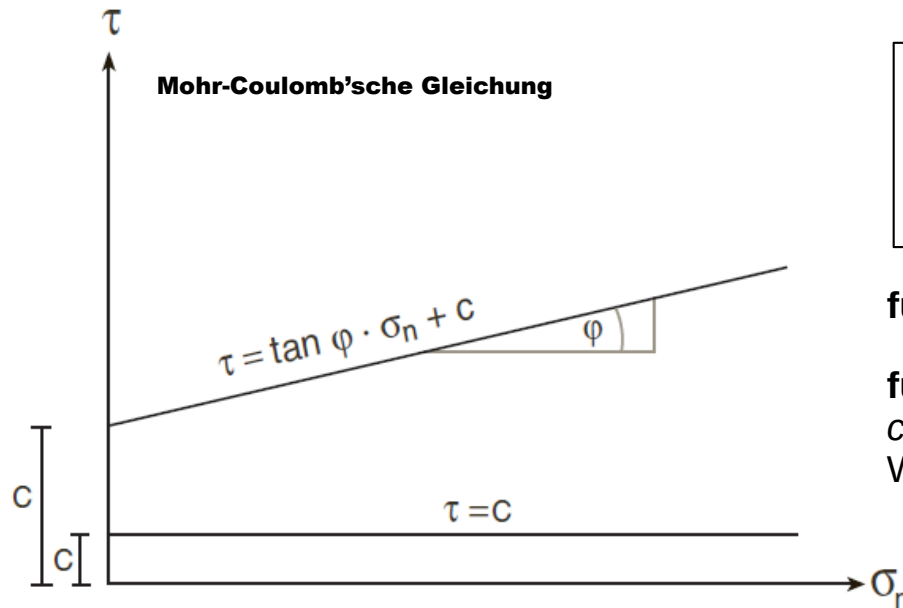


1. Gewichtskraft
2. Kohäsion und Adhäsion
3. Auflast: über benachbarte Festteilchen übertragene Kräfte
4. durch Bewegung der Bodenlösung übertragene Kräfte

Die Reaktionskraft (= Gegenkraft), besteht aus einer tangentialen Komponente (τ , Scherwiderstand) und einer normalen Komponente (σ_n , Normalspannung),

Mohr-Coulomb'sche Gleichung

Der **Scherwiderstand** τ ist diejenige Reaktionskraft, die der Boden bei Beanspruchung mobilisieren kann. Wird sie überschritten, tritt Bruch und damit Gleiten ein. Der Boden wird dann als instabil gegenüber der Beanspruchung angesehen. Die Gleichung zeigt, dass die Stabilität durch zwei Bodeneigenschaften: Winkel der inneren Reibung φ sowie Kohäsion c definiert wird.



τ	Scherwiderstand
σ_n	Normalspannung
φ	Winkel der inneren Reibung
c	Kohäsion

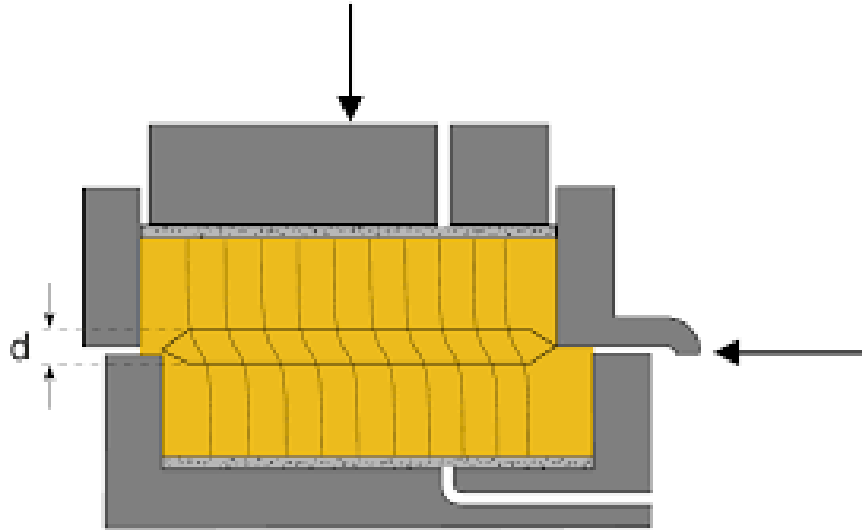
für kohäsionslose Böden (z. B. Sande): $\tau = \tan \varphi \sigma_n$,

für reines Wasser: $\tau = c$.

c entspricht hier der Oberflächenspannung des Wassers.

Rahmenscherversuch

Bestimmung der Bodeneigenschaften Kohäsion und Winkel der inneren Reibung im Labor

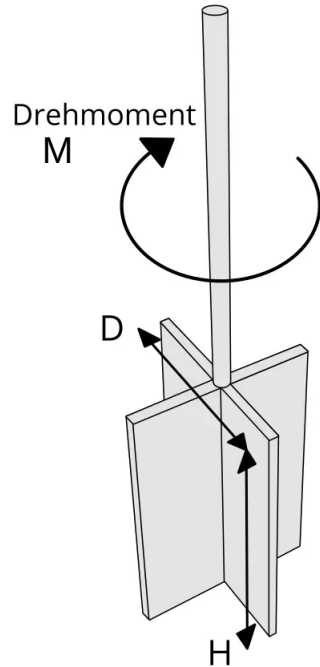


Entstehung der Scherfläche durch eine Relativverschiebung von zwei übereinander liegenden starren Rahmen, die den Probekörper einschließen

Bei verschiedenen Auflasten ermittelte maximale Wertepare

Flügelscherversuch

EN ISO 22476-9



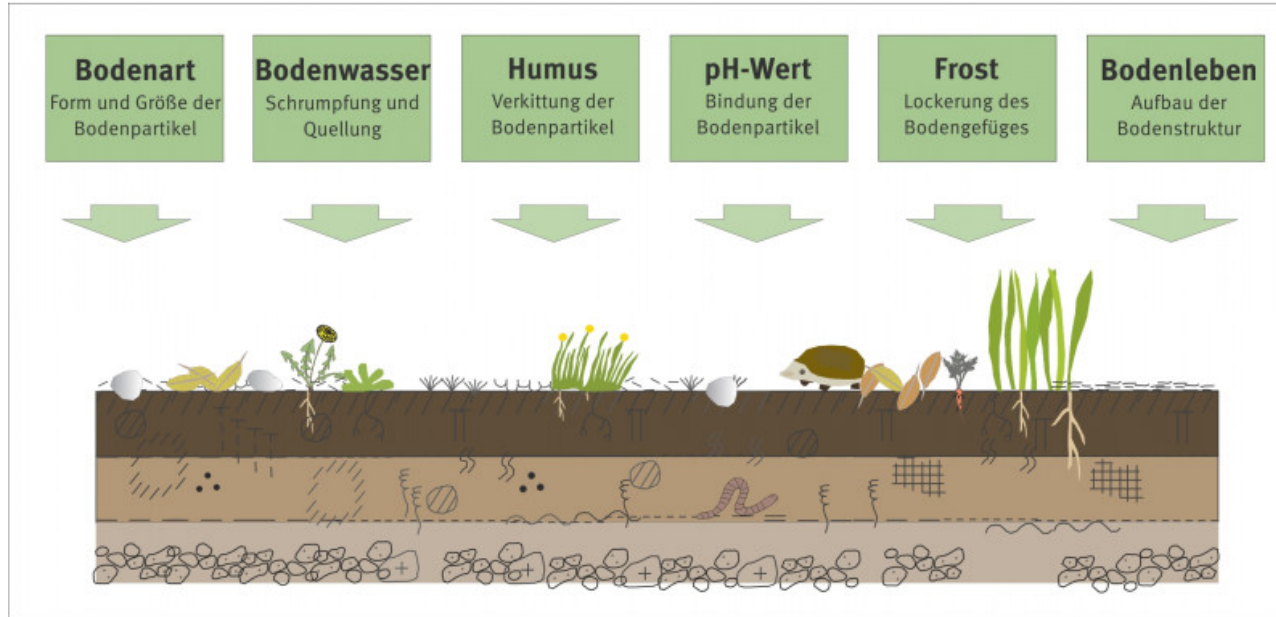
Schematische Darstellung
einer Flügelsonde

$$H = 2 \cdot D$$

$$\tau_{Fl} = \frac{6 \cdot M}{7 \cdot \pi \cdot d^3}$$

Gefügestabilität

Faktoren, die die Stabilität der Bodenstruktur beeinflussen:



Quelle: S. Marahrens / Umweltbundesamt

Gefügestabilisierende Stoffe (Erhöhung des Scherwiderstands):

Stoffe mit verklebenden, verkittenden Eigenschaften wie

- Sesquioxide
- CaCO_3
- organische Bodensubstanz

Sesquioxid: ein Oxid, bei dem das Verhältnis von Metall oder Halbmetall zu Sauerstoff 2:3 beträgt (z.B. Fe_2O_3 , Al_2O_3)

Rückblick: Humusfunktionen

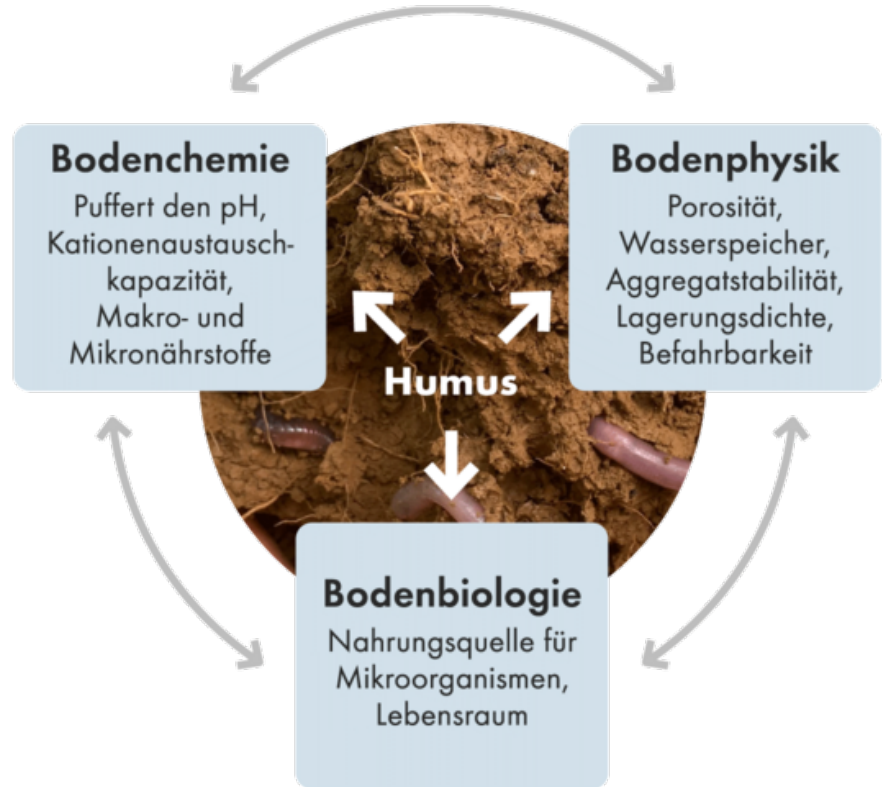
Humus: die Gesamtheit der organischen Stoffe im Boden, die beim Ab- und Umbau pflanzlicher und tierischer Überreste entstehen.

Humusgehalt:

C_{org} -Gehalt * Faktor 1,72 (Humus ist neben C auch aus O, H, S und N aufgebaut).

Funktion: Humus kann große Mengen an Nährstoffen und Wasser speichern.

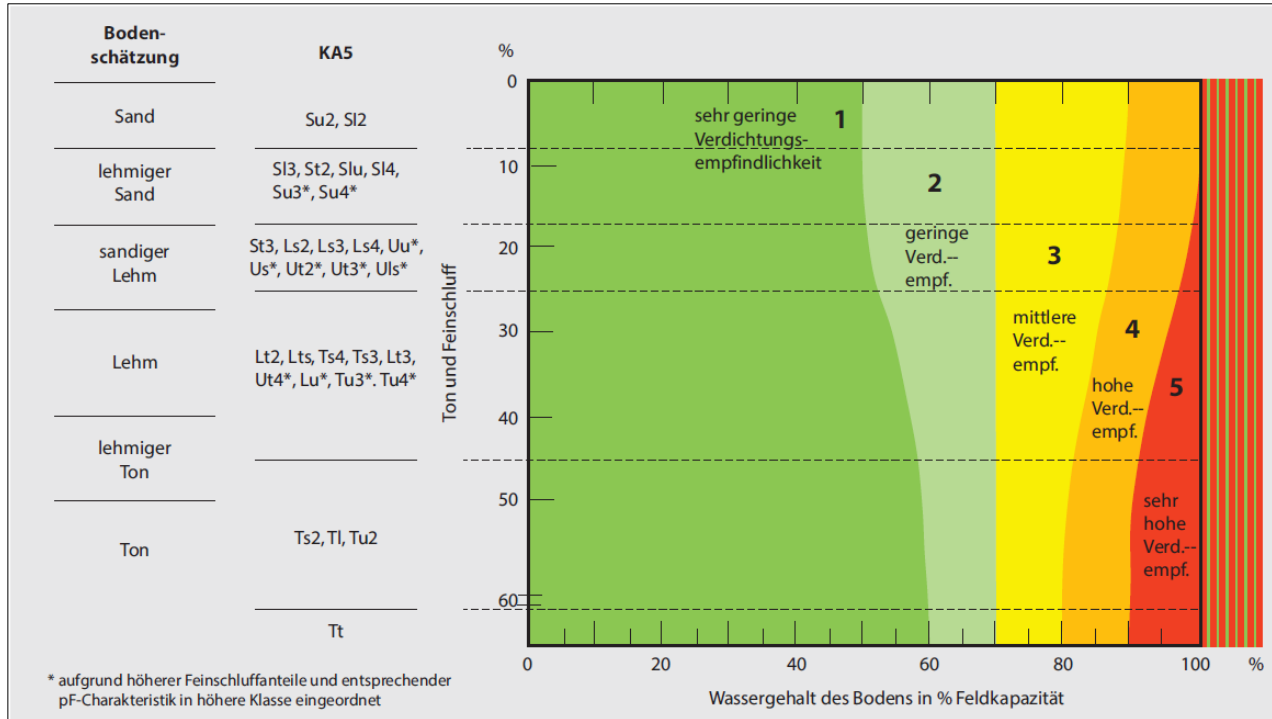
- Die spezifische Oberfläche von 1 g Humus beträgt 800-1000 m², woraus sich das enorme Nährstoffspeichervermögen ableitet.
- Humus kann das 3 bis 5-fache seines Gewichts an Wasser speichern. Bei 3 % Humus im Boden können mehr als 500 m³ ha⁻¹ vom Humus gespeichert werden.



<https://www.bioaktuell.ch>

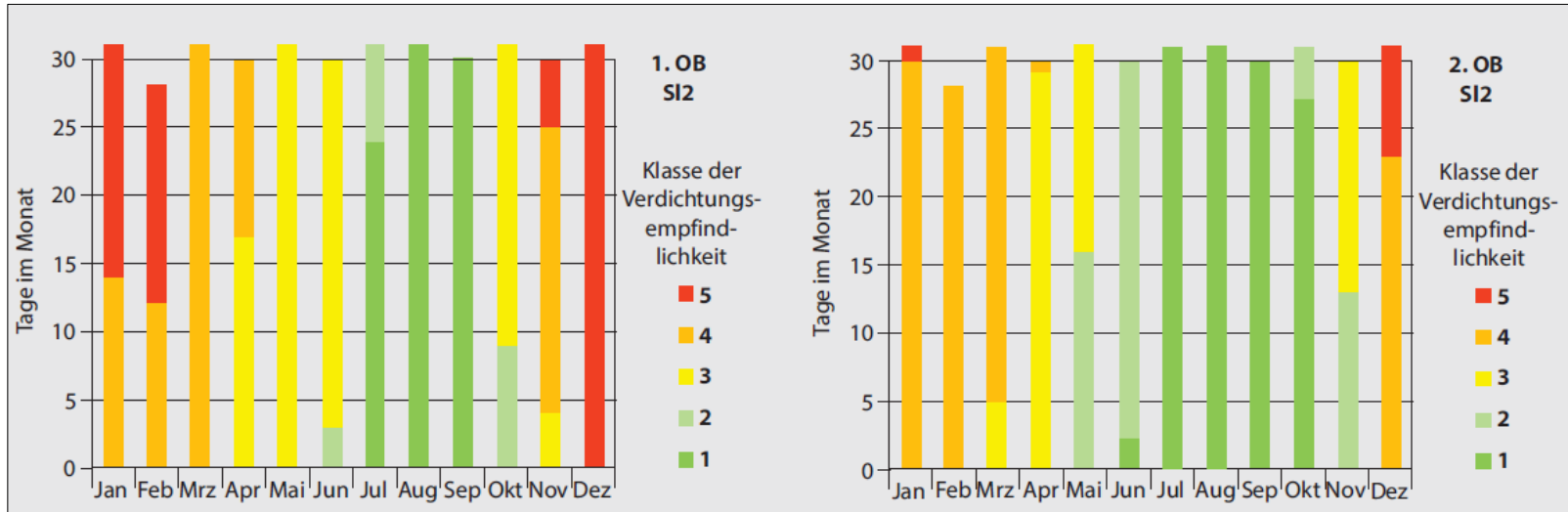
Verdichtungsempfindlichkeit von Böden

Abhängigkeit von den Bodenart und Bodenfeuchte



Lorenz et al., 2016.
DOI:10.3220/LBF1473334823000

Verdichtungsempfindlichkeit von Böden

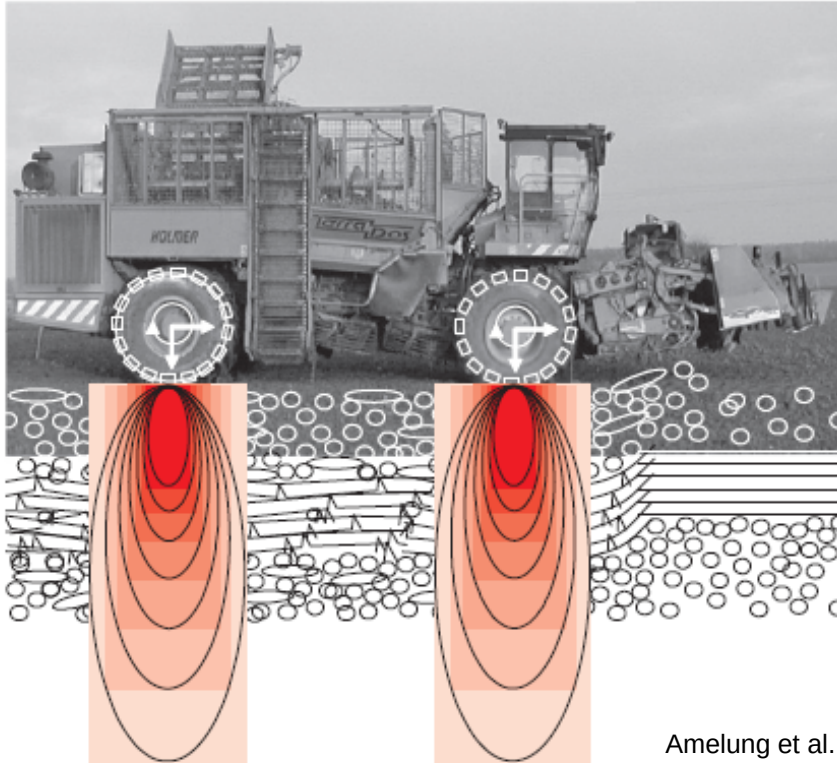


2 Beispielstandorte

Beurteilung unter Berücksichtigung von Bodenart und Niederschlag

Lorenz et al., 2016.
DOI:10.3220/LBF1473334823000

Bodenverdichtung



Intensive Druckfortpflanzung aufgrund der Überschreitung der Bodenstabilität durch Zerbrechen und Neuformierung der Pflugsohle in größerer Tiefe.

Amelung et al., 2018

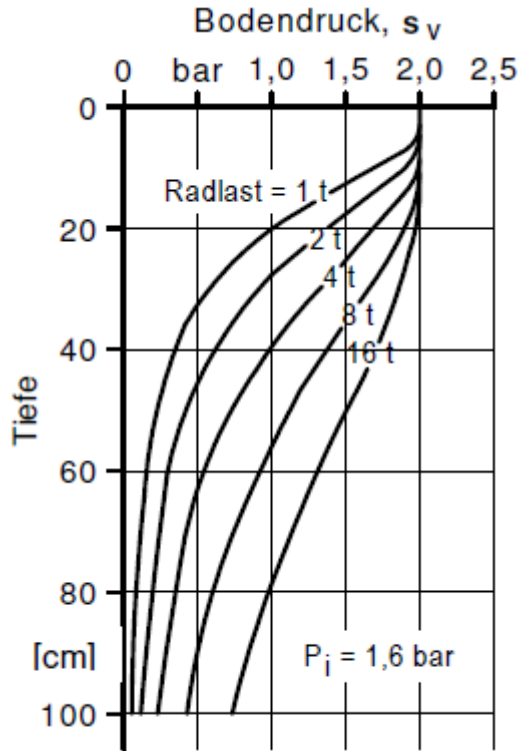
Bodenverdichtung vermeiden/verringern



<https://www.agrarheute.com/> 24.07.2022

- hohes Gewicht moderner Maschinen: Mähdrescher (27t), Erntetransporte (40t), Rübenroder (60t)
- Zeitpunkt der Befahrung in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte
- Breitreifen, Terrareifen, Hybridreifen
- Reifendruck
- Arbeitsgänge/ Befahrung optimieren
- Fahrt im Hundegang (Vorderachse fährt in einer anderen Spur als die Hinterachse)

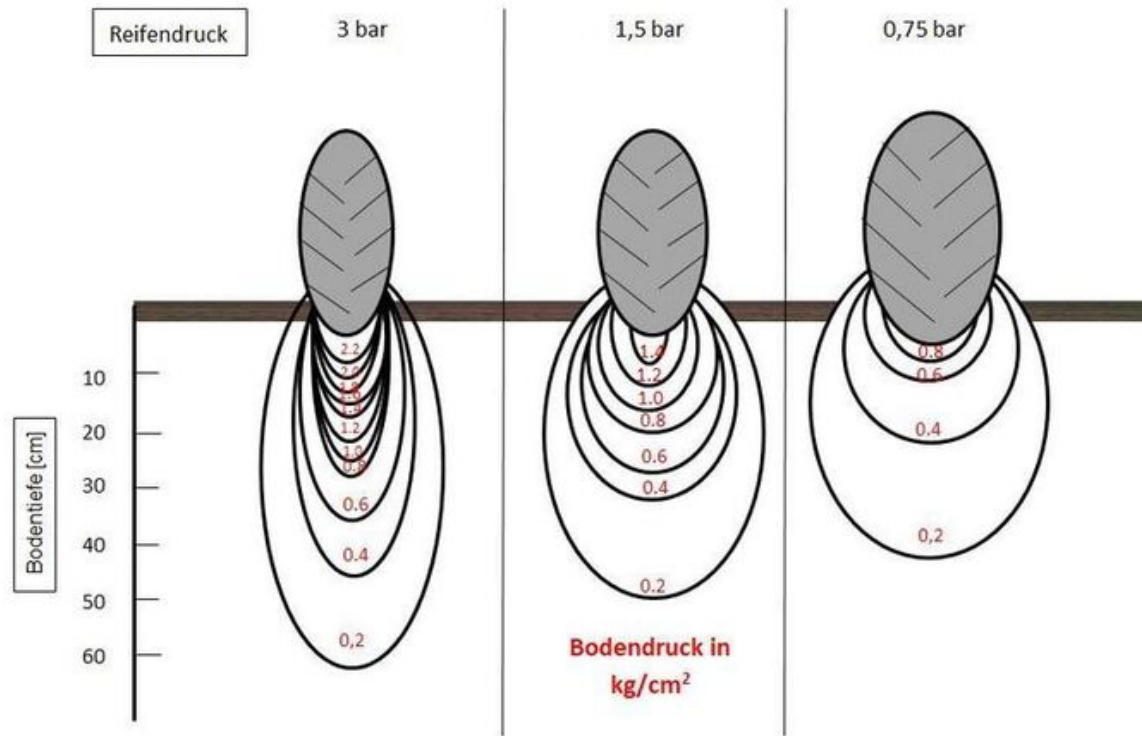
Spannungseintrag (S_v) in den Boden



Höhere Last bewirkt bei gleich bleibendem Reifeninnendruck (P_i) einen höheren vertikalen Spannungseintrag (S_v) in den Boden, der bis in tiefere Bodenschichten wirkt.

Chamen et al. (2003): Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. Part 2: Equipment and field practices. Soil Till. Res. 73: S. 161-174.

Bodenverdichtung | Einfluss des Reifendrucks

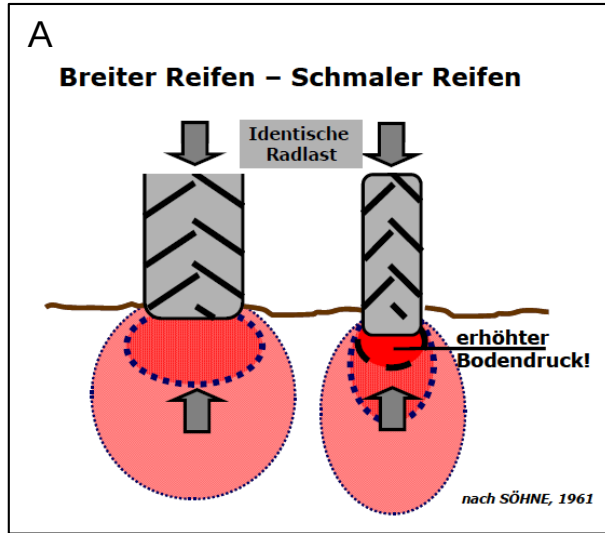


Bei zu hohem Reifendruck
entstehende Verdichtungen

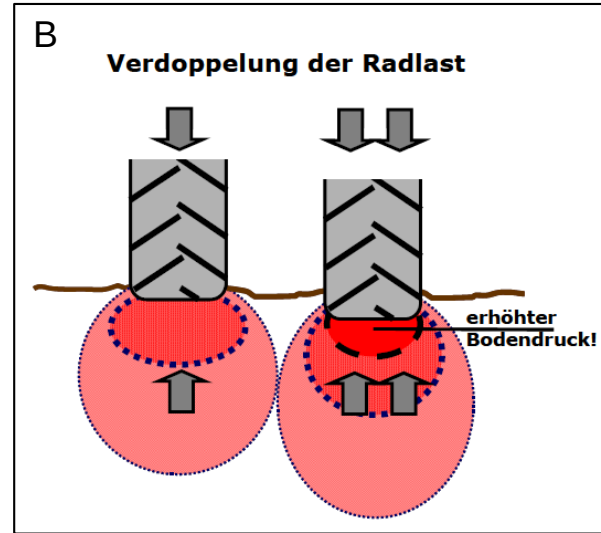
der Reifendruck muss verringert
werden, um den Boden zu
schonen

<https://www.liz-online.de> (03.04.2023)

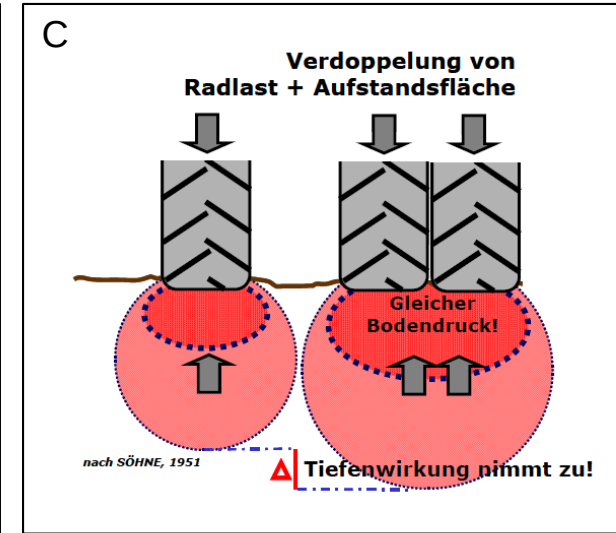
Bodenverdichtung | Reifen, Aufstandsfläche, Radlast



Der breitere Reifen führt bei gleicher Radlast zu einem niedrigeren Bodendruck



Die doppelte Radlast führt bei gleicher Aufstandsfläche zu höherem Bodendruck. Auswirkung auf größere Tiefen



Doppelte Radlast und verdoppelte Aufstandsfläche führt bei gleichem Kontaktflächendruck zu größerer Tiefenwirkung

Folgen

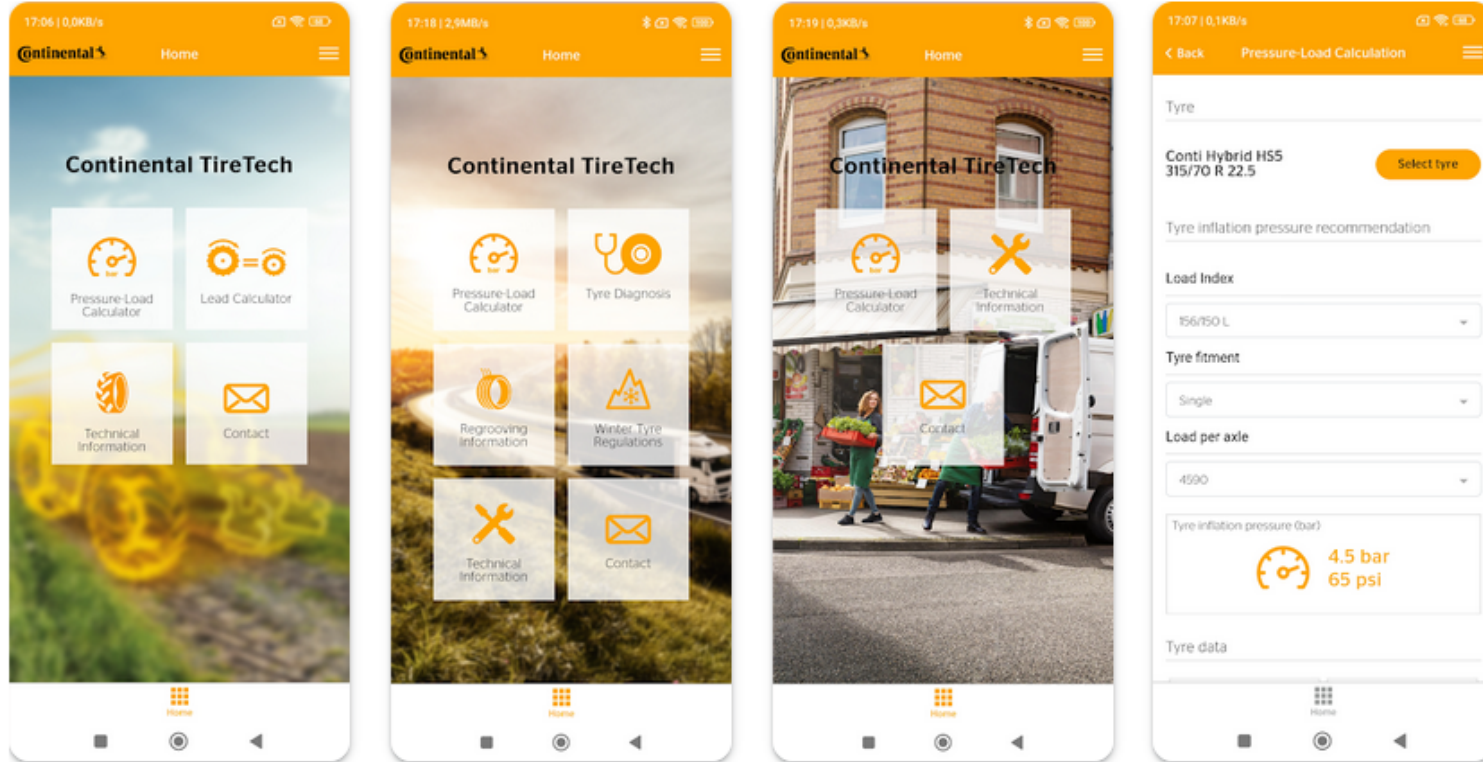
Falscher Reifendruck kann zu schweren Bodenschäden führen



<https://www.agrarheute.com>, 20.03.2020

Reifendruck: Apps zur Unterstützung

z.B. Agriculture TireTech-App von Continental



Folgen der Bodenverdichtung

Geringere Durchlässigkeit des Bodens: Ein verdichteter Boden ist weniger porös, so dass seine Fähigkeit leidet, Wasser und Nährstoffe zu den Wurzeln der Pflanzen zu befördern.

Behinderung der Wurzelentwicklung: Die Wurzeln haben Schwierigkeiten, in den verdichteten Boden einzudringen, so dass sie sich nicht unter optimalen Bedingungen entwickeln können.

Mehr Erosion: Ein verdichteter Boden ist anfälliger für Erosion. Das Wasser kann nicht mehr versickern.



Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG)



Bundesministerium
der Justiz und
für Verbraucherschutz

Bundesamt
für Justiz

[Startseite](#)
[Gesetze / Verordnungen](#)
[Aktualitätendienst](#)
[Titelsuche](#)
[Volltextsuche](#)
[Translations](#)
[Hinweise](#)

[Tastenkombinationen](#)

[Landesrecht](#)
[Rechtsprechung im Internet](#)
[Verwaltungsvorschriften im Internet](#)
[N-Lex](#)

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten

zur Gesamtausgabe der Norm im Format: [HTML](#) [PDF](#) [XML](#) [EPUB](#)

- [Inhaltsübersicht](#)
- [Erster Teil](#)**
 - [Allgemeine Vorschriften](#)**
 - [§ 1 Zweck und Grundsätze des Gesetzes](#)
 - [§ 2 Begriffsbestimmungen](#)
 - [§ 3 Anwendungsbereich](#)
 - [Zweiter Teil](#)**
 - [Grundsätze und Pflichten](#)**
 - [§ 4 Pflichten zur Gefahrenabwehr](#)
 - [§ 5 Entsigelung](#)
 - [§ 6 Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden](#)
 - [§ 7 Vorsorgepflicht](#)
 - [§ 8 Werte und Anforderungen](#)
 - [§ 9 Gefährdungsabschätzung und Untersuchungsanordnungen](#)
 - [§ 10 Sonstige Anordnungen](#)
 - [Dritter Teil](#)**
 - [Ergänzende Vorschriften für Altlasten](#)**
 - [§ 11 Erfassung](#)

<https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/>

BBodSchG | Vierter Teil: Landwirtschaftliche Bodennutzung

§ 17 Gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft

(1) Bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung wird die Vorsorgepflicht nach § 7 durch die gute fachliche Praxis erfüllt. ... nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürlicher Ressource....

1. standortangepasste Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung der Witterung
2. Erhalt oder Verbesserung der Bodenstruktur
3. Bodenverdichtungen sind soweit wie möglich zu vermeiden (Bodenart, Bodenfeuchte, Geräte)
4. Bodenabträge vermeiden: standortangepasste Nutzung (Hangneigung, Wasser- und Windverhältnisse, Bodenbedeckung)
5. Erhalt von die naturbetonten Strukturelementen (Hecken, Feldgehölze etc.)
6. Erhalt oder Förderung der biologischen Aktivität des Bodens durch entsprechende Fruchtfolgegestaltung
7. Erhalt des standorttypischen Humusgehalts des Bodens (ausreichende Zufuhr an organischer Substanz, Reduzierung der Bearbeitungsintensität)

Zusammenfassung

- Gefügestabilität
- Mohr-Coulomb'sche Gleichung, Normalspannung und Scherwiderstand
- Verdichtungsempfindlichkeit von Böden
- Folgen der Bodenverdichtung
- Maßnahmen zum Vermeiden von Bodenverdichtung
- Bundesbodenschutzgesetz

Quellen

Amelung, W., Blume, H.-P., Fleige, H. et al. (2018). Scheffer/Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde. 17. Auflage, Springer Spektrum, Berlin. ISBN 978-3-662-55870-6

Bachmann, J., Horn, R., Peth, S. (2014). Hartge/Horn Einführung in die Bodenphysik. 4. Aufl., Schweizerbart, Stuttgart. ISBN 978-3-510-65280-8

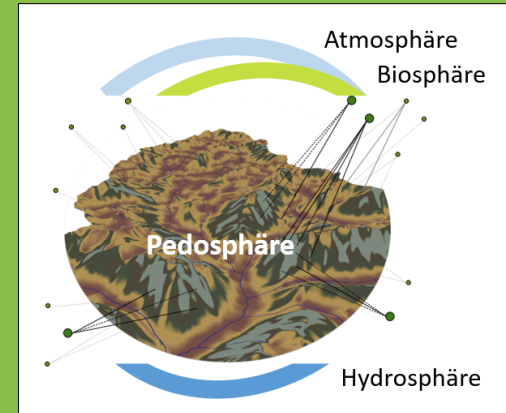
Hintermaier-Erhard, G., Zech, W. (1997). Wörterbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. ISBN 978-3827412447

DANKE

für die Aufmerksamkeit!

Prof. Dr. Mareike Ließ

WS 25/26



*Applied Sciences
for Life*