

29.09.2023

Bodenverdichtung vermeiden

Sie werden immer schwerer – moderne Traktoren und Erntemaschinen erreichen zunehmend Radlasten, die unsere Böden nicht ohne Schaden zu nehmen tragen können. Unter dem Druck schwerer Maschinen können bei ungünstigen Bedingungen die mit Luft oder Wasser gefüllten Bodenporen (Hohlräume) zusammengedrückt (verdichtet) werden. Was heisst das?

Als direkte Folge von Bodenverdichtung verschlechtern sich die Wachstumsbedingungen für die Pflanzen und die Erträge sinken. Verminderte Wasseraufnahmefähigkeit und langsamere Abtrocknung des Bodens werden zum Teufelskreis. Weiter steigt das Risiko für Umweltschäden, beispielsweise falls Erdreich durch Starkniederschläge abgeschwemmt wird.



"Ich habe eine Reifendruck-Anlage montiert, damit gibt es auch mit schweren Maschinen keine Verdichtungen."

Diese in der Praxis weit verbreitete Aussage stimmt so leider nicht ganz. Denn sie zeigt nur die halbe Wahrheit. Die Vergrößerung der Aufstandsfläche der Reifen und damit die Reduktion des mittleren Kontaktflächendrucks wirkt sich primär auf den Oberboden aus. Zu hohe Radlasten vermag eine Reifendruckverstellanlage jedoch nicht zu kaschieren, weil sich diese auch negativ auf den Unterboden auswirken (Tiefenwirkung).

Ursachen für Verdichtungen

Entscheidend, ob eine Bodenverdichtung entsteht, ist das Verhältnis zwischen der Bodenfestigkeit (Widerstandskraft oder Tragkraft des Bodens) und dem Bodendruck der Maschinen. Sobald der Bodendruck grösser wird als die Bodenfestigkeit, entstehen durch das Zusammendrücken des Bodens Verdichtungen.

Der **Bodendruck** hängt ab von:

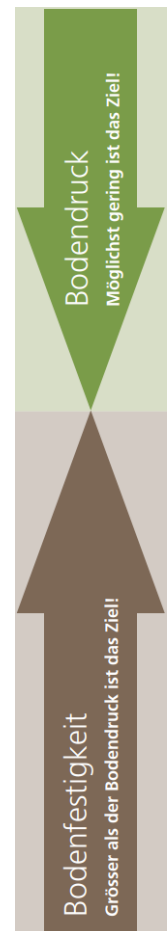
- Radlast: Gewicht der Maschine samt Ladung
- Auflagefläche: Reifen (Typ, Druck, Volumen, Breite), Einzel-/Doppelbereifung, Achsentyp
 - ▶ Ziel ist, den Bodendruck so gering als möglich zu halten.

Die **Bodenfestigkeit** hängt ab von:

- Feuchtigkeit: Je feuchter der Boden ist, desto geringer seine Festigkeit und tiefer die Verdichtung.
- Bodenart: Je schwerer und toniger der Boden, desto anfälliger ist er für Verdichtung.
- Bodenstruktur: Je besser ausgebildet die Bodenstruktur, desto geringer ist das Verdichtungsrisiko.
 - ▶ Ziel ist, dass die Bodenfestigkeit jederzeit grösser ist als der Bodendruck.

Die Risikofaktoren sind:

- Hohe Gesamtgewichte und Radlasten der landwirtschaftlichen Fahrzeuge
- Befahren und/oder Bearbeiten unter zu nassen Verhältnissen
- Befahren tief gelockerter, aber noch nicht ausreichend wieder durch Pflanzenwurzeln stabilisierter Böden
- Fahren in der Pflugfurche (direkte Einwirkung auf den Unterboden)
- Zu kleine Auflagefläche der Räder (hoher Reifeninnendruck, schmale Bereifung, fehlende Doppelbereifung)

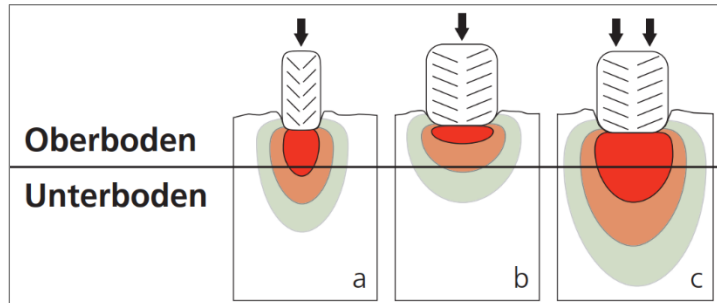


(Quelle: Agridea)

Kontaktflächendruck vs. Tiefenwirkung

Die Belastung des Oberbodens kann durch eine Reduktion des mittleren Kontaktflächendrucks verringert werden. Die Formel für den Druck lautet bekanntlich: Kraft pro Fläche ($p = F/A$). Mit der Verwendung von Breitreifen und Doppelbereifung, sowie der Vergrößerung der Reifenaufstandsfläche durch Absenkung des Reifeninnendrucks kann der Kontaktflächendruck so weit als möglich reduziert werden.

Mit dem Unterboden verhält es sich etwas anders. Hohe Radlasten werden zwar auf einer grossen Aufstandsfläche besser verteilt, deren Wirkung in die Tiefe kann allerdings nicht gänzlich aufgehoben werden. Eine Erhöhung der Radlast führt deshalb selbst bei gleichen mittleren Kontaktflächendrücken zu grösseren Tiefenwirkungen (vgl. Abbildung rechts).



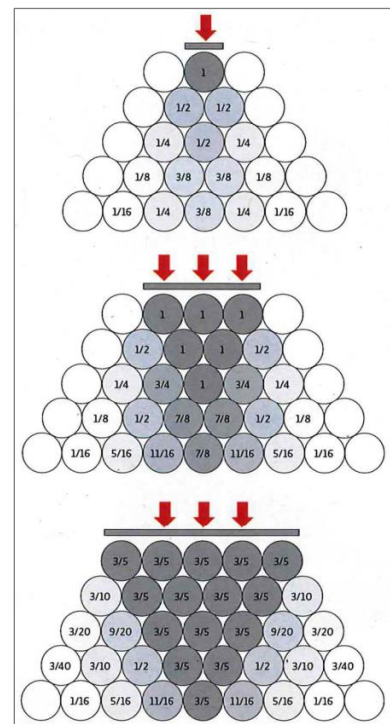
Beispiel: Auswirkungen von zwei unterschiedlichen Radlasten (ein Pfeil: einfache Last; zwei Pfeile: doppelte Last) und zwei unterschiedlichen Reifenbreiten auf den Ober- bzw. den Unterboden (Quelle: Agridea).

Fazit aus nebenstehender Abbildung:

- Maximaler Bodendruck (rote Zone):
→ Möglichst klein halten
- Bei gleichbleibender Radlast (a zu b):
→ Die Vergrößerung der Aufstandsfläche reduziert den Druck im Unterboden
- Mit Erhöhung der Radlast (b zu c):
→ Erhöhtes Risiko für Verdichtungen im Unterboden (Tiefenwirkung), wenn nicht die Aufstandsfläche ebenfalls deutlich vergrössert wird

Doch warum verursachen hohe Radlasten Verdichtungen in der Tiefe, selbst bei grosser Auflagefläche? Vereinfacht dargestellt werden kann dies mit dem sogenannten Kugelmodell. Jede Kugel steht dabei für ein Bodenteilchen. Ein Bodenteilchen gibt seine Last je zur Hälfte an die darunter liegenden Bodenteilchen weiter.

- Im obersten Beispiel drückt eine Last von 1 auf eine Fläche von 1, woraus ein Kontaktflächendruck von 1 resultiert ($p = F/A$). Mit zunehmender Tiefe wird dieser Druck abgebaut und in der fünften Schicht direkt unter der Last kommt noch ein Druck von $3/8$ an.
- Im zweiten Beispiel wurde sowohl die Last als auch die Fläche verdreifacht, womit der Druck zwischen Rad und Boden weiterhin 1 ist. Hiervon kommt in der fünften Schicht jetzt aber immer noch ein Druck von $7/8$ an. Je mehr Bodenteilchen oben also belastet werden, umso grösser ist die Tiefenwirkung.
- Wenn die Tiefenwirkung bei zunehmenden Radlasten nicht allzu stark ansteigen soll, müssen die Aufstandsflächen überproportional vergrößert werden, womit dann auch der Kontaktflächendruck vermindert wird (drittes Beispiel). Möglich ist das in den meisten Fällen aber nur mit Mehrfachbereifungen oder Raupenlaufwerken.



Kugelmodell zur Veranschaulichung der Tiefenwirkung von hohen Radlasten. (Quelle: R. Stimimann, HAFL)

Fazit

- Mit **hohen Einsatzgewichten** der Maschinen und ungünstigen Bedingungen beim Befahren eines Bodens ist das Risiko für Bodenverdichtungen und der damit verbundenen Ertragseinbussen besonders gross.
- Schwere Maschinen führen **bei ungünstigen Bedingungen** zu einer Reduktion des Bodenporenvolumens (Verdichtung). Das Bodengefüge verschlechtert sich, der durchwurzelbare Raum wird kleiner und die Wasser- und Nährstoffaufnahme ist reduziert.
- **Verdichtungen im Unterboden** können nur mit grossem Aufwand und über einen Zeitraum von mehreren Jahren oder gar Jahrzehnten behoben werden. Daher gilt: Vorbeugen ist besser als heilen!