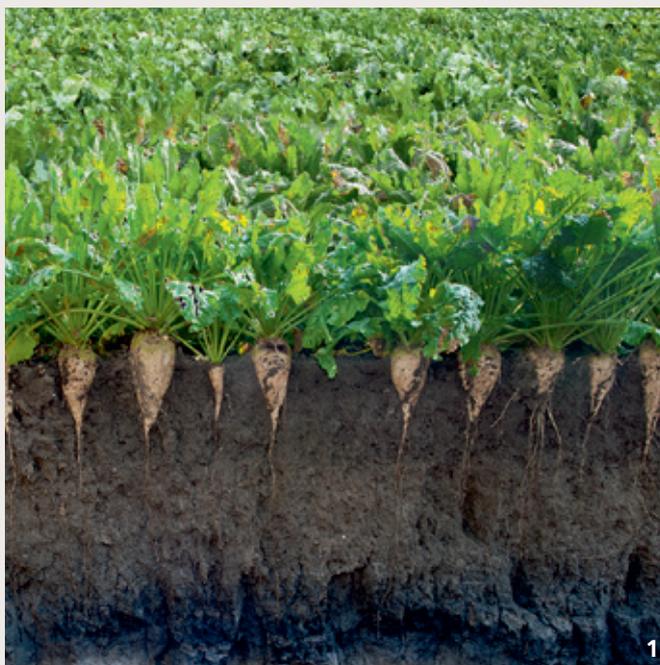


# Bodenverdichtung vermeiden – so funktioniert’s!

Vorgänge im Boden verstehen – Anzeichen für Bodenverdichtung und Gefahren erkennen – Bewirtschaftung anpassen

Inhalt	
Bodenverdichtung – wann passiert’s?	2
Bodenverdichtung im Ober- und Unterboden	3
Bodenverdichtung – was sind die Folgen?	4
Massnahmen – Bodenverdichtung erfolgreich vorbeugen	5 – 7
Verdichtungsrisiko mit Terranimo® beurteilen	8
Bildquellenverzeichnis	8

Impressum	
Herausgeberin	AGRIDEA Eschikon 28 CH-8315 Lindau T +41 (0)52 354 97 00 F +41 (0)52 354 97 97 <a href="http://www.agridea.ch">www.agridea.ch</a>
Finanzieller Beitrag	Fachstelle Bodenschutz Bern
Autoren	Bettina Marbot, Michel Fischler, Jonas Küng
Gruppe	Umwelt, Landschaft
Fachliche Begleitung	Andreas Chervet, Thomas Keller, Matthias Stettler, Peter Weisskopf
Layout	Rita Konrad, AGRIDEA
Druck	AGRIDEA
©	AGRIDEA, 2014



## Auf den Punkt gebracht

- **Verdichtungsschutz beginnt bei der Betriebsplanung (Standorteigenschaften, Kultur- und Maschinenwahl sowie Düngung).**
- **Tiefe Radlasten, grosse Auflageflächen und ein niedriger Reifeninnen- druck mindern das Verdichtungsrisiko.**
- **Eine gute Bodenstruktur in lebendigen und durchwurzeltten Böden beugt Verdichtung vor.**
- **Je trockener der Boden bei der Befahrung ist, desto geringer ist das Verdichtungsrisiko.**

### Zielgruppe des Merkblatts

Das Merkblatt richtet sich an Landwirtinnen und Landwirte, Beratungspersonen sowie Lohnunternehmerinnen und Lohnunternehmer. Ebenso ist es für den Einsatz an landwirtschaftlichen Schulen geeignet.

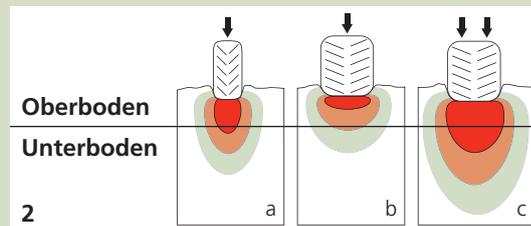
# Bodenverdichtung – wann passiert’s?

Ist der Bodendruck grösser als die Bodenfestigkeit, verdichtet sich der Boden.



## Der Bodendruck ist von zwei Faktoren abhängig

- Radlast (Gewicht der Maschine und Ladung)
- Auflagefläche (Reifentyp, Reifendruck, Reifenvolumen, Reifenbreite, Einzel-/Doppelbereifung und Achsentyp)



In der Abbildung sind die Auswirkungen von zwei unterschiedlichen **Radlasten** (ein Pfeil: einfache Last, zwei Pfeile: doppelte Last) sowie zwei unterschiedlichen Reifenbreiten dargestellt.

Der Bodendruck ist in der roten Zone am höchsten.

- Die rote Zone mit maximalem Bodendruck ist möglichst klein zu halten und darf keinesfalls bis in den Unterboden reichen (Situation a und c).
- Bei gleichbleibender Radlast reduziert ein grösserer Reifen mit niedrigerem Reifendruck den Druck im Unterboden (Situation b).
- Hohe Radlasten sind grundsätzlich ein Risiko. Bei sehr hohen Radlasten können selbst breite Reifen den Bodendruck nicht ausreichend verringern (Situation c).

## Die Bodenfestigkeit (Widerstandsfähigkeit des Bodens) hängt von drei Faktoren ab

### Bodenfeuchtigkeit

- Je feuchter der Boden, desto geringer ist seine Festigkeit und umso tiefer breitet sich der Bodendruck in die Tiefe aus. Die Gefahr von Unterbodenverdichtungen steigt.

### Bodenart

- Schwere, tonige Böden sind stärker gefährdet für Verdichtung als leichte, sandige Böden.

### Bodenstruktur

- Eine gute Bodenstruktur zeichnet sich durch lebendverbaute und wasserbeständige Bodenkrümel aus. Sie werden durch die Bodenlebewesen gebildet, die sich unter anderem von Wurzel-ausscheidungen, Ernterückständen und organischen Düngern ernähren. Die Bodenbearbeitung schwächt die Bodenstruktur durch starke Lockerung. Eine gut ausgebildete Bodenstruktur schützt vor Verdichtung.



### Folgende Befahrungen sind besonders heikel

- Bodenbearbeitung, Fahren in der Pflugfurche
- Ausbringen von Hofdüngern, speziell auf nicht verfestigten Böden und bei nassen Verhältnissen
- Ernte von Kulturen mit frühem oder spätem Erntedatum sowie schweren Erntemaschinen (z. B. erster Wiesenschnitt, Zuckerrüben)

## Bodenverdichtung im Ober- und Unterboden

Die Konsequenzen von Ober- und Unterbodenverdichtungen unterscheiden sich.

Der **Oberboden** (0 bis zirka 25 cm Tiefe) ist der humusreiche, dunkel gefärbte und stark belebte oberste Bereich des Bodens. In diesem Bereich findet auch die Bodenbearbeitung statt. Wird der Oberboden verdichtet, kann dieser durch die Bodenbearbeitung grob gelockert werden. Die Feinarbeit zur Wiederherstellung der Bodenstruktur (wasserstabile Krümel) kann jedoch nur durch Wurzeln und Bodenorganismen erfolgen. Dies braucht Zeit!



Fahrspuren auf Acker- oder Futterbauflächen sowie stehendes Wasser sind Anzeichen für Oberbodenverdichtung.

Bei verdichtetem Oberboden ist die Bodenbearbeitung aufwändig (mehr Zugkraft, mehrere Durchgänge nötig), es bilden sich verknetete Klumpen und verschmierte Pflugbalken.

Der **Unterboden** (ab zirka 25 cm Tiefe) ist im Vergleich zum Oberboden weniger stark belebt und durchwurzelt. Er wird nicht bearbeitet. Eine natürliche Regeneration durch Lebewesen und Wurzeln sowie das Lockern durch Bodenbearbeitung ist nur noch schwer möglich. Die Unterbodenverdichtung kann nur durch den Einsatz von teuren Spezialgeräten und durch Fachkräfte behoben werden. Der Erfolg dieser maschinellen Unterbodenlockerung ist ungewiss.



Weil der Unterboden verdichtet ist, konnte die Kontrastfarbe nicht weiter in die Tiefe versickern.

- **Hauptursache für Oberbodenverdichtung ist häufig eine zu kleine Auflagefläche der Räder.**
- **Hauptursache für Unterbodenverdichtung ist ein zu hohes Maschinengewicht.**
- **Wenn oberflächlich keine Verdichtungsanzeichen erkennbar sind, kann trotzdem eine Unterbodenverdichtung vorhanden sein.**
- **Unterbodenverdichtungen haben über Jahrzehnte negative Auswirkungen auf die Produktivität des Standortes.**



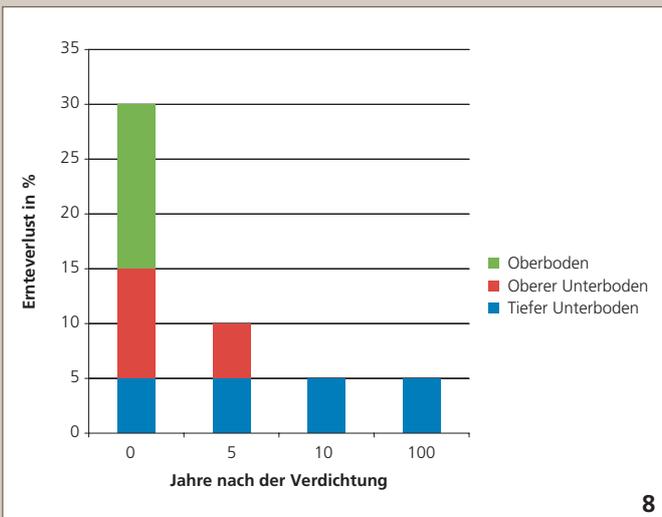
**Unterbodenverdichtungen sollten unbedingt vermieden werden. Sie können nur mit viel Aufwand und Geduld behoben werden.**

# Bodenverdichtung – was sind die Folgen?

**Bodenverdichtung wirkt sich negativ auf die Produktion und die Umwelt aus.**



Ein Ertragsausfall von 5 bis 10 Prozent aufgrund von Verdichtung ist auf den ersten Blick nicht sichtbar. Über mehrere Jahre gerechnet geht jedoch ein beachtlicher Geldbetrag verloren. Pflanzen in verdichteten Böden nehmen Nährstoffe schlechter auf. Sie bilden weniger Wurzelmasse aus und die Bodenlebewesen machen aufgrund ihrer reduzierten Aktivität weniger Nährstoffe pflanzenverfügbar. Dies führt dazu, dass mehr Nährstoffe ausgebracht werden müssen; zusätzlich besteht ein Risiko für eine Mangelernährung der Kulturen.



In der Abbildung sind die Resultate aus einem Forschungsversuch dargestellt. Verdichtungen im Oberboden beeinflussten das Pflanzenwachstum vor allem direkt nach der Verdichtung. Nach fünf Jahren beeinflusste die Oberbodenverdichtung den Ertrag nicht mehr negativ. Die Lockerung des Bodens durch Bodenlebewesen und Wurzeln führte zu dieser Verbesserung. Die Unterbodenverdichtung beeinflusste den Ertrag im Vergleich zu der Oberbodenverdichtung weniger stark, dafür blieb sie über längere Zeit unverändert vorhanden. Über mehrere Jahrzehnte wurde wegen der Unterbodenverdichtung nur zirka 95 Prozent des möglichen Ertrags erreicht.



Ist der Boden verdichtet, kann Wasser nur noch schlecht versickern. Wasser bleibt auf der Oberfläche liegen und die Hochwasser- und Erosionsgefahr nimmt zu. Mit der Erosion werden Nährstoffe und Pflanzenschutzmittel von der Parzelle abgeschwemmt und in andere Parzellen, in Oberflächengewässer oder andere Ökosysteme verlagert. Ist der Unterboden verdichtet, kann dies Staunässe verursachen: Das Wasser kann nicht mehr ungehindert versickern, der Boden trocknet schlechter ab, die optimalen Zeitfenster für die Befahrung verkleinern sich und das Risiko steigt, den Boden bei ungünstigen Bedingungen zu befahren.

# Massnahmen – Bodenverdichtung erfolgreich vorbeugen

Auf jedem Betrieb gibt es in verschiedenen Phasen Möglichkeiten, Bodenverdichtung vorzubeugen.

## Phase 1 – Bei der Planung beginnt's

### Standortgerechte Bewirtschaftung, Gestaltung der Fruchtfolge

- Die Art der Nutzung (Futter- und Ackerbau) ist standortabhängig: Ackerbau und intensive Nutzung (z. B. 5 bis 6 Schnitte bei Grasland) eher auf gut abtrocknenden, tiefgründigen Böden.
- Die Bodenstruktur durch eine vielfältige Fruchtfolge fördern: Unterschiedlich tief wurzelnde Hauptkulturen, Zwischenkulturen und Gründüngungen (z. B. Lupinen, Sonnenblumen, Gelbsenf, Ölrettich usw.) anbauen.
- Dem Boden Pausen gönnen: Im Rahmen intensiver Fruchtfolgen über mindestens ein Jahr Kunstwiese anbauen.
- Erntetermin als Risikofaktor berücksichtigen: Je später im Herbst die Kultur geerntet wird (z. B. Zuckerrüben, Mais), desto seltener sind die Erntebedingungen gut (trockene Böden) und desto grösser ist das Risiko für Verdichtung.
- Boden regelmässig mit dem Spaten auf Unterbodenverdichtungen prüfen (Eindringwiderstand).



### Hofdünger, Gründüngungen und Ernterückstände

- Organisches Material fördert die Bodenstruktur und aktiviert das Bodenleben: Regelmässig bodenschonend Mist oder Kompost ausbringen, Gründüngungen anlegen und Ernterückstände auf dem Feld lassen.

### Aufkalken

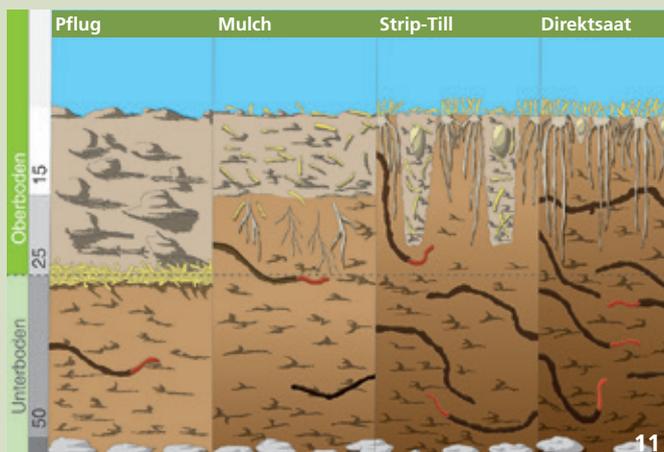
- pH-Wert beobachten: Auf Flächen mit tiefem pH (kleiner als 6,2) basisch wirkende Düngemittel oder Kalk verwenden. Ein neutraler pH im Boden fördert die Bodenfestigkeit und gute Bedingungen für die Bodenorganismen und deren Aktivität zur Bildung lebendverbauter Krümel.

### Gezielte Bodenbearbeitung

Je intensiver die Bodenbearbeitung, desto stärker wird die Bodenstruktur gelockert und umso mehr verliert der Boden an Tragfähigkeit.

Deshalb:

- Boden möglichst nicht wenden
- Beim Pflügen einen On-Land-Pflug einsetzen
- Bearbeitungstiefe minimieren
- Bearbeitungsintensität minimieren (bei Geräten mit Zapfwellenantrieb tiefe Drehzahl wählen, bearbeitete Fläche reduzieren)



Pflug – Mulch – Strip-Till – Direktsaat

- Verbesserung der Bodenstruktur
- Verbesserung der Bedingungen für Bodenorganismen
- Zunehmende Tragfähigkeit des Bodens

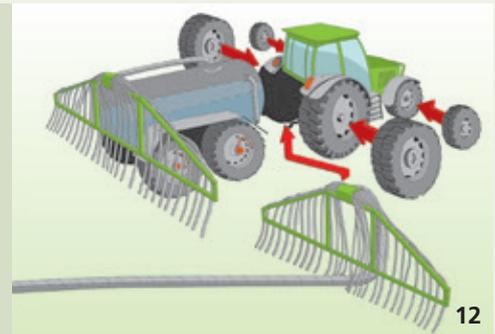
## Phase 2 – Der Maschinenpark sollte bodenschonend sein

### Auflagefläche maximieren

- Bodenschonende, also möglichst grosse und breite Reifen wählen
- Doppelreifen benutzen
- Tandem- oder Kurmannachsen bei Ladewagen oder Güllefässern
- Reifendruck für Feldbefahrungen anpassen, möglichst unter 1 bar. Reifendruckregelanlagen lohnen sich (siehe unten)

### Maschinengewicht reduzieren

- Maschinengrösse (und somit Maschinengewicht!) sinnvoll wählen: Überdimensionierung und -mechanisierung verhindern
- Vollverschlauchte Systeme für die Gülleausbringung



## Reifendruck-Regelanlagen – Möglichkeiten zur Nachrüstung oder Neuanschaffung

Mit Reifendruck-Regelanlagen wird der Reifendruck abgesenkt. Dies ist für eine bodenschonende Feldbefahrung notwendig. Ziel ist, dass der Boden den Reifen und nicht der Reifen den Boden verformt! Für die Strassenfahrt wird der Reifendruck wieder erhöht (ausser bei Spezialreifen).

### Stationäre Systeme zum selber nachrüsten

Diese einfachen Systeme können selber nachgerüstet werden. Die Bedienung erfolgt am stehenden Fahrzeug. Entsprechende Gerätesätze für vier Räder sind ab zirka CHF 250 erhältlich.



### Vollautomatische Systeme bei der Neuanschaffung

Diese Systeme sind von Beginn weg eingebaut oder können von Fachleuten nachgerüstet werden. Die Bedienung erfolgt im Stillstand oder während der Fahrt. Die Kosten liegen zwischen zirka CHF 3000 bis 10000, je nach Komfort.

Weitere Informationen und Bezugsadressen gibt es unter [www.bodenverdichtung.ch](http://www.bodenverdichtung.ch)



- Die Strassenverkehrsregeln müssen stets beachtet werden (Breite und Gewicht).
- Die Auswirkungen unterschiedlicher Maschinen und Reifen mit Terranimo® vergleichen (siehe letzte Seite).
- Häufig führen Lohnunternehmer die heiklen Befahrungen durch, nicht der Landwirt. Darum sollte der Lohnunternehmer bewusst gewählt werden. Teilen Sie ihm Ihre Anliegen mit (z. B. flexible Terminwahl für heikle Befahrungen, Einsatz bodenschonender Maschinen).

## Phase 3 – Befahrung vorbereiten

Die Bodenfeuchtigkeit ist der wichtigste Faktor für den Entscheid, ob der Boden befahren werden kann. Im Sommer müssen für Befahrungen nach intensiven Niederschlägen drei Tage für das Abtrocknen des Bodens eingerechnet werden.

### Bodenfeuchtigkeit abschätzen

- Anhand des Wetters der vergangenen Tage
- Eine Fühlprobe an Material aus dem Ober- und Unterboden machen (siehe Bilder unten)
- Sich über die Bodenfeuchtigkeit in der Region informieren: [www.bodenmessnetz.ch](http://www.bodenmessnetz.ch)
- Tensiometer verwenden (zirka CHF 200), um die Bodenfeuchtigkeit zu messen



16

### Befahrung vorbereiten

- Radlasten im Auge behalten, speziell bei der Ernte und beim Ausbringen von Hofdüngern. Grundsätzlich sind Radlasten über 3 Tonnen kritisch und nur bei guten, trockenen Bedingungen und guter Bereifung bodenverträglich.
- Ernte planen: Bei kritischer Bodenfeuchtigkeit das Ladevolumen nicht ausreizen (z. B. Bunker bei Zuckerrübenerntern nur halb befüllen) und Erntegüter häufiger abladen (z. B. mehrere Mieten).
- Verfahren bevorzugen, bei denen Transport und Feldbefahrung getrennt sind (z. B. Transportfass und Gülleverschlachung ab Feldrand).

#### Ideale Befahrungsbedingungen



17

Erdbrocken sind **hart**, können nur mit Mühe auseinandergebrochen werden.

#### Befahrung mit Vorsicht – hier Bodendruck vermeiden



18

Erdbrocken sind **brüchig**, zerbröseln zwischen den Fingern beim Drücken.

#### Befahrung unterlassen!



19

Erdbrocken sind **knetbar**, breiig.

## Phase 4 – Los geht's

Durch eine kurze Überprüfung mit dem Spaten werden die Auswirkungen der Bewirtschaftung auf den Boden sofort sichtbar!

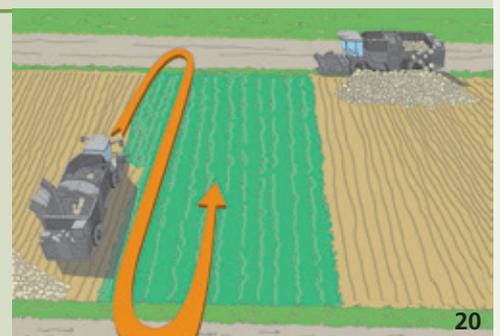
### Grundsätzlich gilt

- Möglichst wenige Überfahrten mit hohen Lasten (Anlegen von Mieten, Ladevolumen reduzieren usw.)
- Anzahl Überfahrten minimieren, Arbeitsgänge kombinieren, Wendevorgänge reduzieren, Überlappungen vermeiden
- Wenn möglich nicht auf dem Feld wenden

### Während der Befahrung

Zustand Oberboden prüfen mit Blick zurück nach den ersten Metern:

- Es sollten keine Fahrspuren sichtbar sein
- Es sollte nicht viel Erde an den Reifen kleben
- Zustand Ober- und Unterboden mit Spatenstich im Bereich der ersten bearbeiteten Metern prüfen:
  - Die Bearbeitungstiefe sollte nur so tief wie nötig sein
  - Mit dem Fünflibertest die Intensität der Bearbeitung überprüfen



20



# Verdichtungsrisiko mit Terranimo® beurteilen

## Die Entscheidungshilfe beim Maschinenkauf und bei der Wahl des Befahrungszeitpunktes

Terranimo® ist ein Computerprogramm, mit dem das Risiko für Unterbodenverdichtung vor dem Befahren der Parzelle beurteilt werden kann.

Im Internet sind zwei Versionen verfügbar:

- **Terranimo® light** für die einfache und schnelle Grobbeurteilung: Es werden nur vier Angaben benötigt (Radlast, Reifendruck, Ton- und Wassergehalt des Bodens)
- **Terranimo® expert** für die umfassende Analyse des Verdichtungsrisikos: Die Maschinen und der Bodenzustand können exakt eingegeben werden (z. B. modellspezifische Reifenwahl dank grosser Reifendatenbank) und es sind vielfältige Auswertungen möglich (z. B. Anzeige der Bodendruckzwiebeln für jedes Rad)

### Beispiel für die Online-Benutzung von Terranimo® expert

→ Maschine → Boden → Resultat

#### Maschine

1. Maschine oder Maschinenkombination wählen
2. Rad konfigurieren



#### Boden

3. Textur
4. Bodenfeuchtigkeit

GIS

Parameter	Benutzer Parameter	Regist
Abmessung	name	
Ausgangsmaterial	Stärke oder Klasse	
Landchaftname	artige Handlung	
Reifendruck	Luftdruck	
Spez. Gewicht	Werkstoff, Zerkleinerung	

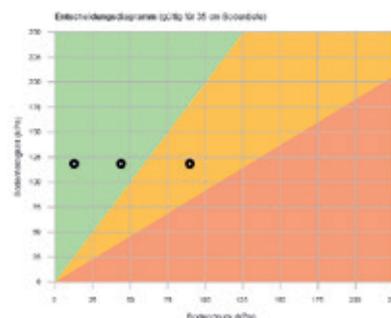
  

Parameter	untere Randlast	Ton (%)	Schluff (%)	Sand (%)	Organische Substanz (%)	Luftfeuchtigkeit (%)
Jan	20	14	24	59	2.4	1.39
Feb	20	10	25	59	0	1.40
März	20	20	28	49	0	1.40
Apr	20	18	28	49	0	1.48

Bodenwerte einblenden
  Benutzereinstellungen

#### Resultat

##### Entscheidungsdiagramm



#### Interpretationshilfe zum Resultat (Entscheidungsdiagramm)

Die Verdichtungsgefährdung wird mit einem Entscheidungsdiagramm beurteilt. Liegen die berechneten Reifen im grünen Bereich, ist keine Unterbodenverdichtung zu befürchten. Gelb bedeutet, dass eine Verdichtung auftreten kann und eine Beurteilung direkt im Feld sinnvoll ist. Im Fall rot sollte die Befahrung unterlassen werden, eine Verdichtung ist kaum zu vermeiden.

Die drei Punkte in der Abbildung entsprechen den Rädern des Maschinenzuges: Links ist die Gefährdung für die Vorderäder des Traktors, in der Mitte für die Hinterräder des Traktors und rechts für die Räder des Güllefassens abgebildet.

### Bildquellenverzeichnis

- |               |  |
|---------------|--|
| 1             | © Agroscope (Gabriela Brändle, Urs Zihlmann), LANAT (Andreas Chervet)  |
| 2             | U. W. Flück nach R. Brandhuber und PTG GmbH  |
| 3             | J. Küng, AGRIDEA   |
| 4             | M. Fischler, AGRIDEA   |
| 5, 6          | P. Weisskopf, Agroscope  |
| 7             | Otto Ehrmann   |
| 8             | Angelehnt an: Håkansson, I., Reeder, R., 1994. Subsoil compaction by vehicles with high axle load extent, persistence and crop response. Soil & Tillage Research, 29, 277-304. |
| 9             | V. Prasuhn, Agroscope  |
| 10–12, 16, 20 | Fabrice Tobler   |
| 13, 15        | A. Arni  |
| 14            | B. Marbot, AGRIDEA   |
| 15            | PTG GmbH   |
| 17–19         | AGRIDEA  |