

## Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen



*Verdichtung durch Befahren bei hohem Bodenwassergehalt  
(Unterseher, Freiburg)*



*Schadverdichtete Struktur: kompakt, porenarm, scharfkantig  
(LPB, Freising)*

### 1. Problemstellung

Mit wachsender Betriebsgröße sowie mit zunehmender Bedeutung des überbetrieblichen Einsatzes von Maschinen und Geräten steigen die Anforderungen an Zugkraft und Leistungsbedarf. Höhere Zugkräfte oder größere Ladekapazitäten haben allerdings meistens höhere Radlasten und somit das Risiko von Bodenschadverdichtungen zur Folge.

Termingebundene Feldarbeiten und auch Vorgaben für die Ernte durch Handel und verarbeitende Industrie bzw. der überbetriebliche Maschineneinsatz durch Lohnunternehmer und Maschinenringe führen oftmals zum Befahren der Felder bei zu feuchten und deshalb weniger tragfähigen Böden.

Gesunde, d. h. in ihrer gesamten Tiefe unverdichtete Böden mit entsprechender Mächtigkeit der Ackerkrume sind Grundlage für die wirtschaftliche Existenz eines landwirtschaftlichen Betriebes. Deshalb ist es wichtig, die Leistungsfähigkeit des Bodens als Standort für die landwirtschaftliche Nutzung zu erhalten.

Böden sind Lebensraum für Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen. Sie sind Bestandteil des Wasser- und Nährstoffkreislaufs, sie haben Filter- und Puffereigenschaften. Böden dienen deshalb dem Schutz der Oberflächengewässer und des Grundwassers. Das Bodenschutzgesetz schreibt vor, Bodenverdichtungen so weit wie möglich zu vermeiden.

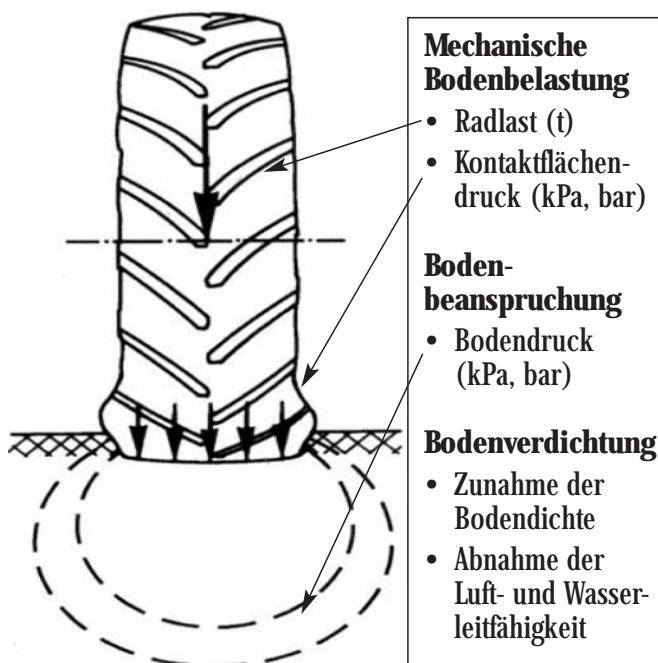


## 2. Entstehung von Bodenverdichtungen

Bodenverdichtungen entstehen vor allem durch die von den Fahrwerken verursachte Bodenbeanspruchung. Kontaktflächendruck und Radlast sind die wesentlichen Fahrwerkskennwerte für die Bodenbeanspruchung. Daneben spielen Überrollhäufigkeit und Radschlupf eine große Rolle.

Der **Kontaktflächendruck** kennzeichnet die je Reifenauflandsfläche wirkende Gewichtskraft. Bei ausgelasteten, weich einfedernden Radialreifen entspricht er etwa dem Reifeninnendruck. Hoher Kontaktflächendruck verursacht große Spurtiefen und kann vor allem das Gefüge des Oberbodens schädigen.

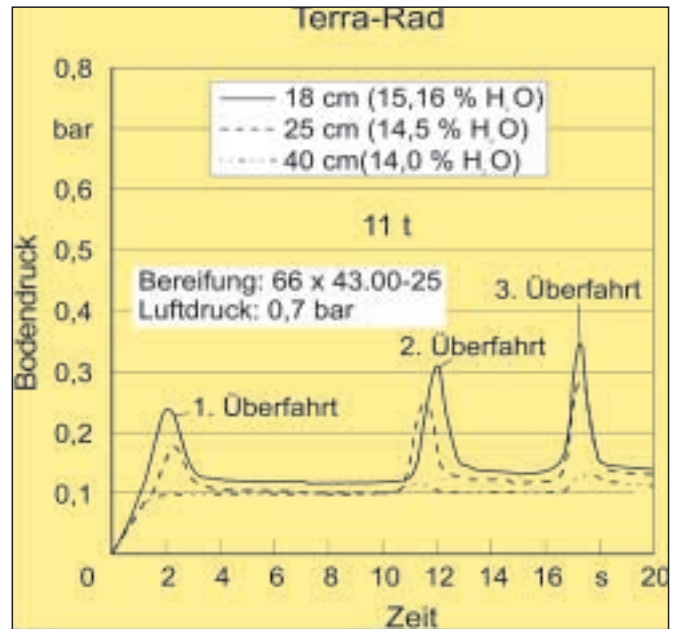
Die **Radlast** ist die absolute Last je Einzelrad. Bei gleichem Kontaktflächendruck nimmt die Tiefenwirkung des Belastungsimpulses mit steigender Radlast zu. Hohe Radlasten können den Unterboden schädigen.



Bedeutung grundlegender Begriffe (Sommer 1985; verändert)

Die **mechanische Bodenbelastung** wird mit der Radlast in t und dem Kontaktflächendruck in der Berührungsfläche Laufwerk/Boden in kPa (100 kPa = 1 bar) angegeben.

Schließlich kommt der **Überrollhäufigkeit** eine besondere Bedeutung zu. Wird der Boden durch mehrfaches Befahren in derselben Spur mit gleicher Radlast und gleichem Kontaktflächendruck wiederholt beansprucht, dann steigt der Bodendruck so, als wäre der Boden mit einer höheren Radlast überfahren worden.



Mehrfache Überrollung der gleichen Spur erhöht den Bodendruck (BMVEL 2001)

Bei der Kraftübertragung auf den Boden kommt es zu einer Boden- und Reifendeformation sowie zu einem Gleiten. Dieser als **Schlupf** bezeichnete Vorgang bewirkt ein bodenschädliches Zuschmieren von Bodenporen, wie z. B. Regenwurmängen.

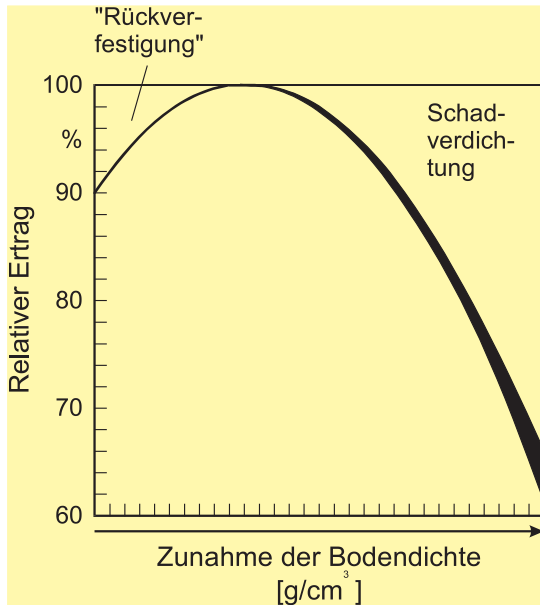
Die Folgen einer Belastung während des Befahrens sind mechanische Spannungen im Boden – die **Bodenbeanspruchung**. Übersteigt die Bodenbeanspruchung die Eigenstabilität des Bodengefüges, ist die Folge eine Abnahme des Porenvolumens. Betroffen können sowohl (luftführende) Grobporen als auch (wasserspeichernde) Mittelporen sein. Das in den Bodenporen befindliche Wasser fördert diesen Vorgang, weil es als Gleitfilm für die Partikelbewegung wirkt. **Feuchte Böden sind deshalb wesentlich verdichtungsempfindlicher als trockene.** Die Tragfähigkeit des Bodens hängt außerdem von der Stabilität der Bodenaggregate ab. Gut strukturierte Böden mit einer stabilen Lebendverbauung der Bodenteilchen weisen einen erhöhten Widerstand gegen Verformung auf.



Ermittlung des Bodendrucks mittels Sonden (Würfel, Karlsruhe)

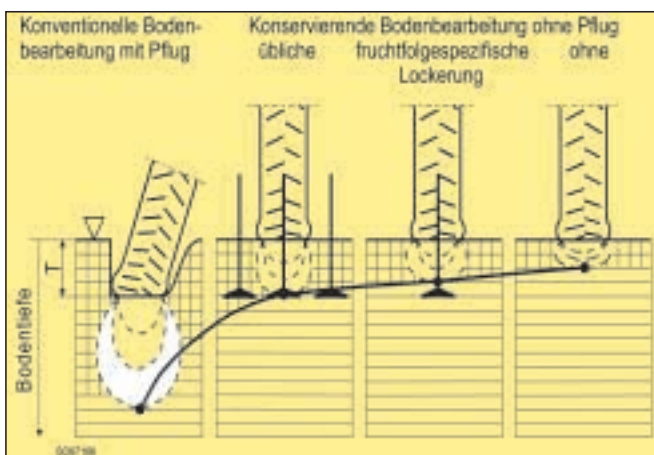


Eine **Bodenschadverdichtung** liegt vor, wenn das Porensystem im Boden so weit verformt ist, dass die Versorgung mit Luft und Wasser für den Pflanzenbestand und damit die Ertragsfähigkeit und Ertragsicherheit dauerhaft beeinträchtigt wird. Bei zu lockerem Saatbett ist dagegen eine Rückverfestigung erwünscht.



Beziehung zwischen Pflanzenertrag und Bodendichte für eine Bodenart und Bodenfeuchte (BMVEL 2001)

Bodenbelastungen entstehen vor allem durch die **Grundbodenbearbeitung**, insbesondere durch Pflügen, wenn dabei in der Furche gefahren wird (Pflugsohlenverdichtungen). Pfluglose Verfahren schneiden diesbezüglich besser ab.



Tiefenwirkung einer Druckzweifel während der Durchführung unterschiedlicher Bodenbearbeitung (Sommer, 1998)

Hohe Belastungen können außerdem bei der **Ernte** und bei der **Ausbringung** von **Stallmist** und **Gülle** auftreten. Maßnahmen gegen mögliche Bodenschadverdichtungen sollen an solchen Belastungsschwerpunkten ansetzen.

### 3. Merkmale und Auswirkungen von schadverdichtetem Bodengefüge

Schadverdichtetes Bodengefüge ist kompakt, porenarm und bricht scharfkantig. Der Porenraum für Wasser, Luft, Bodentiere und Pflanzenwurzeln ist eingeschränkt. Das durch Pflanzenwurzel und Regenwürmer erzeugte Leitbahnsystem im Boden ist zerstört; nur wenige blasenförmige Hohlräume ohne räumlichen Verbund bleiben erhalten.



Gestörtes Wurzelwachstum

(AID, Bonn)

Die Auswirkungen von Schadverdichtungen sind:

- Rückgang der Wasserleitfähigkeit (Wasserstau bei Nässe, ungenügender kapillarer Wasseraufstieg bei Trockenheit);
- eingeschränktes Wasseraufnahmevermögen des Bodens, dadurch erhöhter oberflächiger Wasserabfluss mit zunehmender Erosionsgefahr;
- gestörte Boden- und Wurzelatmung durch Sauerstoffmangel, dadurch gestörtes Wurzelwachstum mit ungünstigen Nährstoffaufnahmebedingungen;
- Rückgang des nutzbaren Vorrats an Bodenwasser.



Verdichtungen in Sommergerste

(Volk, Soest)

Die Schadfaktoren wirken jedoch nicht immer in gleicher Weise:

- In Trockenjahren ist der Boden stabiler.
- In Jahren mit pflanzenbedarfsgerechter Niederschlagsverteilung ist die Behinderung der Wasseraufnahme aus tieferen Bodenschichten nicht ertragswirksam.
- Wintergetreide wird wegen der längeren Vegetationszeit besser mit Bodenverdichtungen fertig als Sommergetreide.
- Schadverdichtungen können durch erhöhten Aufwand an Dünger, Bodenbearbeitung und Pflanzenschutzmitteln überdeckt, aber nicht beseitigt werden.

#### 4. „Selbsteilungskräfte“ des Bodens

Auf ein schadverdichtetes Bodengefüge wirken natürliche Prozesse ein:

- Durch wiederholtes Quellen und Schrumpfen sowie Gefrieren und Auftauen bilden sich immer feiner gegliederte Risse und in der Folge neue Aggregate.
- Regenwürmer und Pflanzenwurzeln bohren Röhren in den Boden und schaffen Luft- und Wasserabzugsbahnen.
- Regenwürmer fressen verdichtete humose Bodenaggregate und scheiden lockere, durch Schleim stabilisierte Bodenaggregate aus.



Regenwürmer sorgen für stabile Bodenaggregate  
(Unterseher, Freiburg)

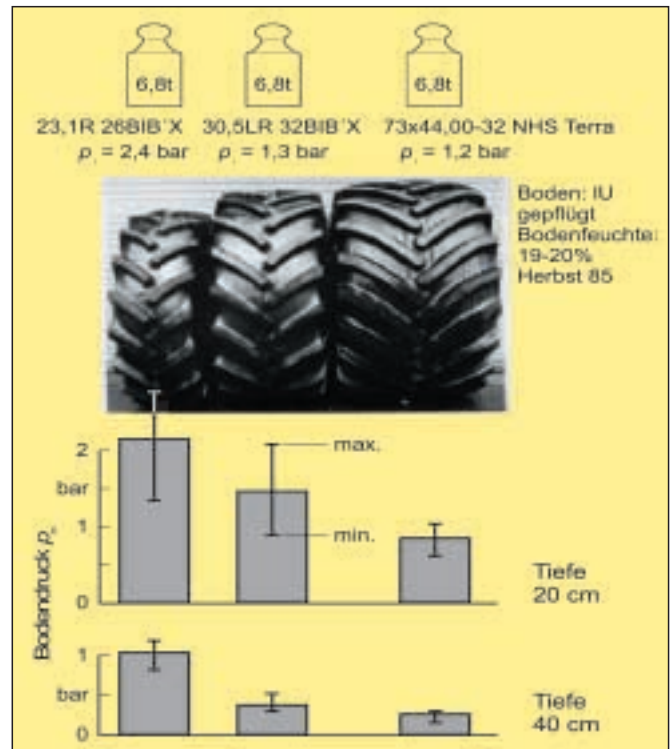
Diese natürlichen Prozesse gehen nur langsam vor sich. Sandböden reagieren besonders träge. Die Wirkung nimmt mit zunehmender Bodentiefe ab. Wird der Ackerboden stark belastet und verdichtet, so wird ein zuvor erzielter Lockerungserfolg wieder zunichte gemacht.

#### 5. Bodenschadverdichtungen vermeiden

Der Landwirt hat viele Möglichkeiten, den Boden schonend zu befahren und damit Verdichtungen zu vermeiden.

##### Nutzung technischer Möglichkeiten

Die Vergrößerung der Radaufstandsfläche, früher durch Gitter- und Zwillingsräder, heute eleganter mit **Breit- und Terrareifen**, hat bei gleicher Radlast die Verringerung des Kontaktflächendrucks zur Folge. Dies führt zu einem geringeren Bodendruck insbesondere in der Ackerkrume.



Gemessener Bodendruck unter drei verschiedenen Reifen bei einer Radlast von 6.8 t und einem Reifen-innendruck (pi) von 2.4, 1.3 und 1.2 bar (von links)  
(BMVEL 2001)



Zuckerrübenaussaat

(Wetzler, Heilbronn)



Reifen mit großem Luftvolumen besitzen eine höhere Tragkraft bei gleichem Reifendruck. Sie können bei einem Kontaktflächendruck von 1 bar Radlasten bis 5 t abstützen.

Mit **Druckregelanlagen** bei Radialreifen ist eine Anpassung des Reifeninnendrucks an Straßen- und Ackerverhältnisse möglich, wobei auf dem Ackerboden ein möglichst niedriger Reifeninnendruck anzustreben ist. Niedriger Kontaktflächendruck und eine größere Reifenaufstandsfläche bewirken flachere Spuren und durch eine bessere Bodenverzahnung einen geringeren Schlupf. Daraus resultieren eine höhere Zugkraft und ein niedrigerer Kraftstoffverbrauch. Für eine schnelle und sichere Straßenfahrt mit einem geringen Rollwiderstand sind dagegen Reifen mit hohem Luftdruck erforderlich.

| Radlast | Fahrbahn | Reifenart   | $p_i$ (bar)  |
|---------|----------|-------------|--------------|
| 3 t     | Straße   | 18.4 R 38   | 1,6          |
|         | Acker    |             | 0,8          |
|         |          | 650/65 R 38 | 0,98<br>0,5  |
| 6 t     | Straße   | 800/65 R 32 | 0,6          |
|         | Acker    |             | 0,4          |
|         |          | 18.4 R 38   | 4,41<br>2,98 |
| 6 t     | Straße   | 650/65 R 38 | 2,9          |
|         | Acker    |             | 1,9          |
|         |          | 800/65 R 32 | 1,7<br>1,1   |

Richtwerte für minimale Reifeninnendrucke  $p_i$  (in bar) gängiger Reifen (BMVEL 2001)



Schlepper mit Reifenregelanlage (Volk, Soest)

Grundsätzlich sollte bei Bestellarbeiten mit höchstens 1 bar Reifendruck und bei Erntearbeiten mit höchstens 2 bar Reifendruck gefahren werden.

Weitere Entwicklungen sind **Gummibandlaufwerke**, **Dreispurfahrzeuge** und Fahrwerke mit **Knickgelenk**.



Dreirad (Reinhard, Sinsheim)

Diese verteilen die Gesamtlast auf eine breite Aufstandsfläche bzw. auf mehrere Terra-Reifen über die gesamte Fahrzeugbreite. Eine geringere Überrollhäufigkeit schont den Boden und hinterlässt eine ebene Ackeroberfläche mit positiven Folgen für eine sich anschließende Bestellung.



Mähdrescher mit Gummibandlaufwerk (Werkfoto Claas)

Weitere Möglichkeiten zur Verringerung der Bodenbelastungen sind der Einsatz von Aufsattel- anstatt von Anbaugeräten, die Verwendung von Anhängegeräten (z. B. Anhängespritze) zur Reduzierung der Hinterachslast des Traktors, sowie Allradantrieb und eine Schlupfanzeige.



Anhängespritze (Würfel, Karlsruhe)

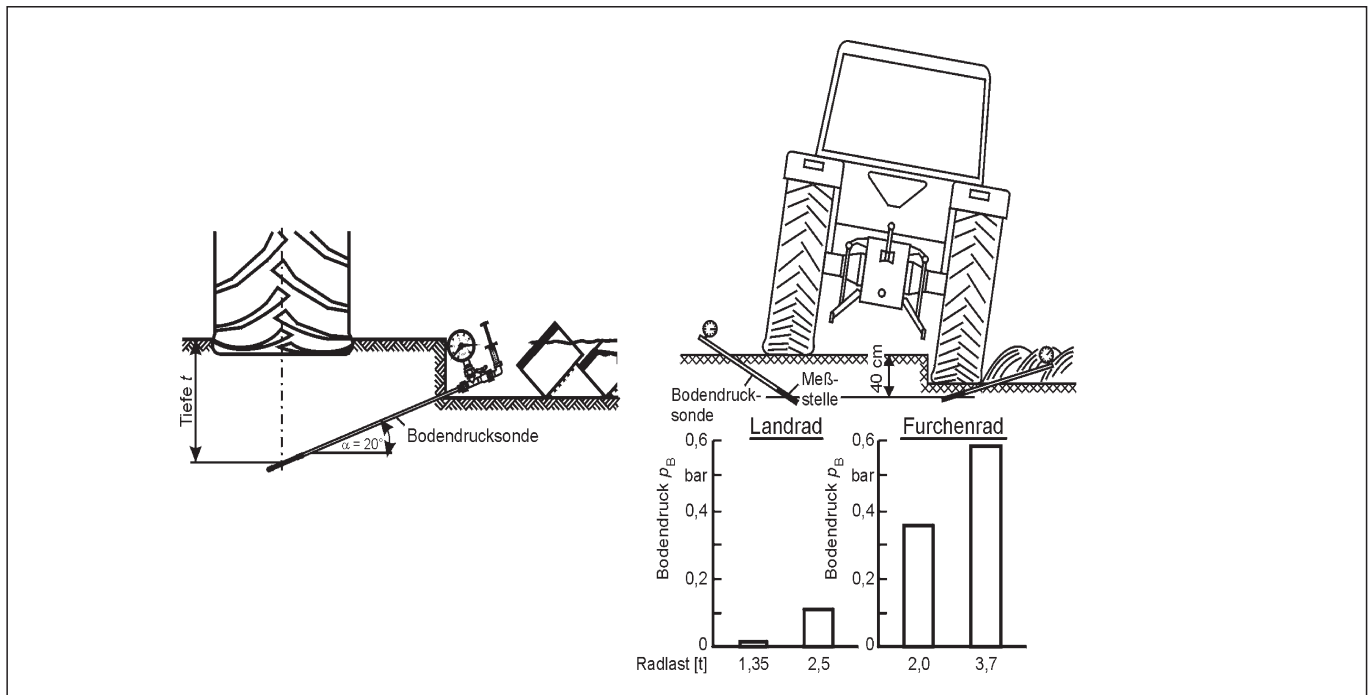
## Bodenschonende Arbeitsverfahren

Die heute angebotenen **Pflüge** verfügen über Vorrichtungen, die sowohl das Fahren in der Furche, als auch außerhalb der Furche erlauben. Wird **außerhalb der Furche** (Onland-Pflügen) gefahren, so kommt es zu einer geringeren Beanspruchung des Unterbodens; auch deshalb, weil die Kontaktfläche Rad/Boden von der Furchensohle an die Bodenoberfläche verlegt ist. Eventuelle Krumenverdichtungen werden durch die Bodenbearbeitung wieder aufgehoben.



Onland-Pflügen

(FAT, CH-Tänikon)



Onland-Pflügen (links): der Bodendruck ist in 40 cm Tiefe geringer als beim Fahren in der Furche unter dem Furchenrad (rechts).

(BMVEL 2001)

ben. Probleme für die Traction ergeben sich nur bei sehr lockerem bzw. feuchtem Oberboden. Der erhöhte Schlupf führt dann zur Zerstörung der Oberflächenkrümel. In diesen Fällen ist es sinnvoller, in der Furche zu fahren, um über eine gute Verzahnung von Reifen und Furchenkanten ausreichend Zugkraft zu entwickeln.

Leistungsstarke Schlepper mit ausreichender Hubkraft ermöglichen die Einsparung von Arbeitsgängen durch **Gerätekopplung**. Dies dient neben dem Ziel der Kosteneinsparung auch der Bodenschonung durch Reduzierung der Überfahrten. Insbesondere bei konservierender Bodenbearbeitung können Grundbodenbearbeitung, Saattbettbereitung und Aussaat in einem Arbeitsgang durchgeführt werden. Der Kraftstoffverbrauch liegt bei der Kopplung dieser drei Arbeitsgänge um 50% niedriger als bei der Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug und anschließender Bestellsaat.

Wenn mehr als zwei Überfahrten für einen saattfertigen Acker erforderlich sind (z. B. bei Tonböden), dann kann der Einsatz **zapfwellengetriebener Eggen** sinnvoll sein. Durch Erhöhung der Zinkengeschwindigkeit sind bei mittlerer Bodenfeuchte in einer Überfahrt Saattbettbereitung und Saat möglich.

Auch „**Schlagkraft vorhalten**“ hilft, Bodenverdichtungen vorzubeugen, da bei feuchten Bedingungen auf das Befahren und Bearbeiten verzichtet werden kann. Tonböden in Gebieten mit 800 mm Jahresniederschlag verlangen vom Betrieb die doppelte Schlagkraft im Vergleich zu sandigen Standorten mit 500 mm Niederschlag. Hohe Schlagkraft läuft jedoch den Bemühungen um Kosteneinsparungen entgegen. Wer Kosten einspart durch geringe Schlagkraft, der riskiert Bodenverdichtungen. Durch die Nutzung vorhandener Technik im überbetrieblichen Einsatz sind jedoch erhebliche Kosteneinsparungen möglich.



**Fahrgassensysteme**, wie sie im Getreidebau weitgehend üblich sind, begrenzen einen Großteil des Lasteintrages auf Teilbereiche eines Ackerschlages. Fahrgassensysteme erlauben auch im Zuckerrüben- und Kartoffelanbau den Einsatz der breiten Standardbereifung (im Vergleich zum schmalen Pflegereifen) und damit eine Absenkung des Reifeninnendrucks auf 1 bar und darunter. So wird die Schadwirkung der erhöhten Überrollhäufigkeit begrenzt.



*Fahrgassen in Zuckerrüben*

*(Wetzler, Heilbronn)*

Auf Standorten, auf denen gepflügt wird, ist über den Zeitpunkt nachzudenken. Pflügen in den feuchten Herbstmonaten kann zu Krumbasisverdichtungen und zu Bodendruckwirkungen in einer Tiefe führen, in der Werkzeuge und Frost kaum eine lockernde Wirkung entfalten können. Eine Vorverlegung der **Pflugfurche in die Sommermonate** erlaubt in der Regel ein Arbeiten unter trockenen Bedingungen. Um die dann erhaltene Struktur zu konservieren, ist der Anbau von Zwischenfrüchten sinnvoll. Diese schützen zusätzlich die Bodenoberfläche vor Verschlammung bzw. Erosion und unterdrücken Unkräuter.



*Sommerfurche*

*(Volk, Soest)*

## Verbesserung der Tragfähigkeit des Bodens

Sowohl bei wendender als auch bei nichtwendender Lockerung sollte die notwendige **Bearbeitungstiefe** davon abhängen, ob Verdichtungen, die das Wurzelwachstum behindern, beseitigt werden müssen.

**Konservierende Bodenbearbeitung** verbessert die Stabilität und Tragfähigkeit der Böden. Der Einsatz nichtwendender Lockerungswerkzeuge wie z.B. Schichten-grubber erhält im Gegensatz zum Pflügen eine tragfähige Krumbstruktur. Bodentiere als wichtige Gefügebildner werden geschont. Abgestorbene Pflanzenreste bieten Nahrungsgrundlage für Regenwürmer und schützen die Bodenoberfläche vor Verkrustung, Verschlammung und Erosion.



*Boden zu Zuckerrüben konservierend bearbeitet (LPB, Freising)*



*Boden zu Zuckerrüben gepflügt*

*(LPB, Freising)*

**Organische Düngung** und eine **ausreichende Kalkversorgung** tragen zur Stabilisierung des Bodengefüges bei.





*Kalkmangel im Mais (Würfel, Karlsruhe)*

Tiefwurzelnde Zwischenfrüchte fördern die Ausbildung von Wurzelkanälen und damit die Durchwurzelbarkeit des Bodens ohne einen mechanischen Eingriff.

## 6. Bodenverdichtung – auch ein Thema im Grünland!

Schwerere Maschinen bei der Futterernte und größere Radlasten bei der Ausbringung wirtschaftseigener Dünger rücken das Thema Bodenverdichtungen auch im Grünland stärker ins Bewusstsein der Landwirte und Berater. Naturbedingt findet sich Dauergrünland häufig auf Standorten, die aufgrund ihrer Feuchtigkeit ackerbaulich nicht nutzbar sind. Insbesondere **feuchte und nasse Standorte reagieren sehr sensibel auf Druckbelastung**. Der Mangel an Sauerstoff und die Zunahme von Kohlendioxid und anderer für die Graswurzel teilweise toxischer Gasen bewirken einen Rückgang der Durchwurzelung. Daraus resultiert eine Verschlechterung der Grasnarbe aufgrund von abnehmender Triebzahl und Triebdichte sowie vermindertem Deckungsgrad. Dies äußert sich u. a. in Mindererträgen (deutlich sichtbar in Fahrspuren), Veränderungen der botanischen Zusammensetzung und verändertem Nährstoffhaushalt. Pflanzen mit oberirdischen Ausläufern oder Kriechtrieben wie *Gemeine Rispe* oder *Kriechender Hahnenfuß* können sich ausbreiten. Meist verschlechtert



*Bodenverdichtung und Narbenbeschädigung auf Grünland (Elsäßer, Aulendorf)*

sich noch die Stickstoffaufnahme der Pflanzen aus Mineral- und Wirtschaftsdüngern.

Auch **Beweiden** kann je nach Art des Weideverfahrens, der Besatzdichte und der Witterung hinsichtlich der Bodenverdichtung problematisch sein. Offensichtlich kommt es zu steigender Bodenverdichtung mit gesteigerter Beweidungsintensität. Beweidung zerstört in vielen Fällen die Regenwurmgänge an der Bodenoberfläche. Zuteilung großer Flächen je Tier, zeitliche Einschränkungen bzw. gänzlicher Verzicht auf Weidegang bei ungünstiger Witterung wirken vorbeugend.

Bei Grünland sind die Möglichkeiten der Beseitigung bereits eingetretener Verdichtungsschäden im Vergleich zum Ackerbau sehr begrenzt. Der **Wahl des richtigen Befahrungszeitpunktes** (Unterlassung bei hohem Bodenwassergehalt) und der **Technik** (Maschinen, Reifen) kommen demnach **herausragende Bedeutung** zu.



*Mit der Bodensonde verschafft man sich einen guten Überblick über potenzielle Verdichtungen im Boden. (AID, Bonn)*

Weitere Auskünfte zu dieser Thematik geben auch die Ämter für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur.

Herausgeber: Landesanstalt für Pflanzenbau,  
Kutschenweg 20, 76287 Rheinstetten  
Tel.: 07 21 / 95 18 - 30  
Fax: 07 21 / 95 18 - 202  
eMail: poststelle@lap.bwl.de

Druck-Nr. MLR 30/2002-2

Text: Thomas Würfel, MLR Stuttgart  
Dr. Reinhold Vetter, IfuL Müllheim  
Dr. Erich Unterseher, IfuL Müllheim  
PD Dr. Martin Elsäßer

Quellen: „Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen“ von C. Sommer, R. Brandhuber, J. Brunotte und W. Bucher in der Broschüre des BMVEL (2001) „Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion“;  
„Bodenfruchtbarkeit erhalten – Ackerböden vor Schadverdichtungen schützen“, Broschüre der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising.