Schadverdichtungen in Ackerböden

- Entstehung, Folgen, Gegenmaßnahmen -

14. Wissenschaftliche Fachtagung

5. Dezember 2001

Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn

T		1		1 .
	n	h	0	It.
		11	1	H.

	Seite
Teil 2: 14. Wissenschaftliche Fachtagung	Selle
Einführung: Schadverdichtungen in Ackerböden – Entstehung, Folgen, Gegenmaßnahmen – Introduction: Detrimental compaction in arable soils – formation, consequences, counter-measures	
G. W. Brümmer	71
Die Verformung von Böden – Ursachen und Folgen für eine nachhaltige Landnutzung Soil deformation – causes and consequences for a sustainable landuse Rainer Horn	75
Die Grundzüge des Schad-Verdichtungs-Gefährdungs-Konzeptes (SVGK) und ein Anwendungsbeispiel	
Concept of assessment of soil compaction risk and an example for realisation M. Frielinghaus, H. Petelkau und K. Seidel	86
Beratung zur guten fachlichen Praxis zum Schutz des Bodengefüges – Ansätze, Strategien, offene Fragen	
Consultation for protection of the soil structure - approaches, strategies, open questions H. Stahl, W. Schmidt und U. Gierke	101
Penetrometermessungen zur Erfassung von Bodenverdichtungen, Befragung über Bodenverdichtungen und Bodenschutz in ausgewählten Regionen in NRW Penetration resistance – Survey on soil compaction and soil protection in three North Rhine-Wesphalia regions	
G. Friedrich, S. Sadowski, B. Cramer und H. Franken	114
Möglichkeiten zur Verbesserung des Bodengefüges durch fruchtfolgetechnische Anbaumaßnahmen	
Chances for the improvement of the soil texture by crop rotation W. Buchner	125
Ein praxisorientiertes Konzept mit Lösungsansätzen und Ergebnissen zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen	
A practice-oriented concept with solutions and results to the precaution against soil compaction J. Brunotte, C. Sommer und M. Lebert	136
Bodenbelastung durch Rad- und Achslasten von Landmaschinen in der	
Zuckerrübenernte Soil load by axle and tire loads of sugar beet harvesters P. Schulze Lammers, M.Tschepe und J. Strätz	150

Schadverdichtungen in Ackerböden

- Entstehung, Folgen, Gegenmaßnahmen -

Einführung

Detrimental compaction in arable soils – formation, consequences, counter-measures

Introduction to the workshop

G. W. Brümmer

Die zunehmende Öffnung der nationalen Märkte und deren Anpassung an den Weltmarkt hat die Landwirtschaft in den letzten Jahrzehnten außerordentlich unter Druck gesetzt und in Richtung auf eine zunehmende Rationalisierung und Betriebsvergrößerung gedrängt.

Mit der Rationalisierung verbunden war und ist der Zwang zum Einsatz immer schlagkräftigerer und damit meist größerer und schwererer Maschinen und Geräte. Die Folge sind erhöhte Radlasten und Kontaktflächendrücke und damit erhöhte Bodenbelastungen, die insbesondere bei Befahren von feuchtem und nassem Boden eine Schädigung der Bodenstruktur (Bodengefüge) bewirken. Besonders bei einer späten Ernte im Herbst – wie z.B. bei der Zuckerrüben-Ernte 1998 – können ungünstige Witterungsbedingungen herrschen, die zu hoher Bodenfeuchte führen und bei der Bergung des Erntegutes starke Schäden an der Bodenstruktur bewirken. Dadurch kann es zu einer nachhaltigen und längerfristigen Abnahme der Bodenfruchtbarkeit kommen.

Aus diesem Grund fordert auch das am 01.03.1999 in Kraft getretene Bundesbodenschutzgesetz im §17 eine Vorsorgepflicht bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung zur Vermeidung von Bodenschäden. §17, Absatz 2, Satz 1 bis 4 lauten:

§17

Gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft

- (2) Grundsätze der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung sind die nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens als natürlicher Ressource. Zu den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis gehört insbesondere, dass
 - 1. die *Bodenbearbeitung* unter Berücksichtigung der Witterung grundsätzlich standortangepasst zu erfolgen hat,
 - 2. die Bodenstruktur erhalten oder verbessert wird,
 - 3. *Bodenverdichtungen*, insbesondere durch Berücksichtigung der Bodenart, Bodenfeuchtigkeit und des von den zur landwirtschaftlichen Bodennutzung eingesetzten Geräten verursachten Bodendrucks soweit wie möglich vermieden werden,

4. *Bodenabträge* durch eine standortangepasste Nutzung, insbesondere durch Berücksichtigung der Hangneigung, der Wasser- und Windverhältnisse sowie der Bodenbedeckung möglichst vermieden werden.

Generell werden die folgenden beiden Formen der Bodenverdichtung unterschieden:

- 1. **Einlagerungsverdichtung**, die durch natürliche pedogene Prozesse infolge einer Verlagerung von Stoffen aus dem Oberboden (A-Horizont) und Einlagerung in den Unterboden (B-Horizont) entsteht, wie z.B. durch die Verlagerung von Ton, Humus und Fe-/Al-Oxiden.
- 2. Sackungsverdichtung, die durch das Eigengewicht des Bodens in geringem Maße entstehen kann und vor allem durch Befahren des Bodens mit schweren Landmaschinen bei hoher Bodenfeuchte und durch Bodenverknetung bedingt ist (Abbildungen 1-4). Neben einer meist weniger problematischen Oberbodenverdichtung kann es dabei auch zu einer Krumenbasisverdichtung und einer nur sehr schwer wieder zu beseitigenden Unterbodenverdichtung mit häufiger Ausbildung von Plattengefüge und z.T. auch Kohärentgefüge (besonders bei ton- und schluffreichen Böden) kommen.

Bei allen Formen der Bodenverdichtung finden häufig folgende Veränderungen bodenphysikalischer Eigenschaften statt:

- Zunahme der Lagerungsdichte,
- Abnahme der Anteile an groben Poren, vor allem an weiten Grobporen (> $50 \mu m$ Durchmesser),
- Zunahme der Anteile an Mittel- und Feinporen (10 0,2 μ m bzw. < 0,2 μ m Durchmesser) und
- Umwandlung des in nicht bis wenig verdichtete Böden vorwiegend vertikal ausgerichteten Porensystems in ein vor allem bei Plattengefüge überwiegend horizontal ausgebildeten Porensystems. Ein solches Plattengefüge wirkt dann als Stauund Sperrschicht für Wasser und Luft sowie Pflanzenwurzeln und Bodentiere.

Damit können gravierende Veränderungen in der Durchwurzelbarkeit und biologischen Aktivität der Böden, in deren Wasser-/Lufthaushalt und Redoxbedingungen sowie in der Nährstoffverfügbarkeit verbunden sein. Schadverdichtungen in Böden führen deshalb zu wesentlichen Veränderungen der Bodenfunktionen, von denen die allgemeinen Kreisläufe von Wasser, Luft und Nährstoffen in der Ökosphäre betroffen sind. Bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung kann es besonders in sehr trockenen wie auch sehr feuchten Jahren zu Ertragseinbußen kommen. In sehr trockenen Jahren kann Wassermangel infolge einer verringerten Durchwurzelbarkeit des Unterbodens zu Mindererträgen führen, während in sehr feuchten Jahren Stauwasser und Luftmangel verbunden mit Reduktions-Fäulnisprozessen im Oberboden Ertragseinbußen bewirken können. Zudem ist die Wasserinfiltration nach starken Niederschlägen bei ausgeprägten Krumenbasis- und Unterbodenverdichtungen deutlich verringert, so dass ein erhöhter Oberflächenabfluss und damit verbunden ein erhöhter Bodenabtrag die Folge sind (vgl. §17, (2), 4).

Unter den heutigen ökonomischen Rahmenbedingungen der Landwirtschaft ist einerseits der Einsatz schlagkräftiger Erntemaschinen zwingend erforderlich; andererseits muss die landwirtschaftliche Bodennutzung Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen treffen, um die Bodenfunktionen nicht zu schädigen und die Bodenfruchtbarkeit als Grundlage der landwirtschaftlichen Produktion zu erhalten. Zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen ist deshalb eine den Bodenschutz integrierende Planung bei der Wahl des Bodennutzungs- und Anbausystems sowie der Fruchtfolgegestaltung, der Arten- und Sortenwahl und anderer pflanzenbaulicher Maßnahmen erforderlich, wobei die klimatischen und bodenspezifischen Gegebenheiten und die ökonomischen Bedingungen den Rahmen hierfür setzen.

Eine solche integrierende Planung stellt damit eine Querschnittsaufgabe der verschiedenen landwirtschaftlichen Disziplinen dar. In den folgenden Beiträgen wird deshalb das Thema "Bodenschadverdichtungen" zunächst aus der Sicht der Bodenkunde (Beiträge von R. Horn sowie von H. Petelkau & M. Frielinghaus) und der Beratung (Beitrag von W. Schmidt & H. Stahl) behandelt, dann aus der Sicht des Ackerbaues (Beiträge von G. Friedrich & H. Franken sowie von W. Buchner) und schließlich aus der Sicht der Landtechnik (Beiträge von C. Sommer, J. Brunotte & M. Lebert sowie von P. Schulze Lammers). Wegen der allgemeinen Bedeutung und großen Aktualität dieses Themas sind hierzu außerdem in den letzten Jahren eine Reihe wichtiger Veröffentlichungen von verschiedenen in Wissenschaft, Beratung und Politik tätigen Organisationen herausgegeben worden, die als nachfolgende Literaturangaben aufgeführt sind.

Literaturangaben

- ATV-DVWK Merkblatt 901 (2002): Gefügestabilität, Teil **3**, 27 S., Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef.
- Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.) (2001): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. 105 S., BMVEL, Referat 516, Postfach, 53107 Bonn.
- DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft (1995): Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden, Teil I: Mechanische Belastbarkeit. Heft **234**, 12 S., Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef.
- DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft (1997): Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden, Teil II: Auflastabhängige Veränderungen von bodenphysikalischen Kennwerten. Heft **235**, 7 S., Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef.
- HORN, R., VAN DEN AKKER, J.J.H. und ARVIDSSON, J. (Hrsg.) (2000): Subsoil compaction. Advances in Geoecology **32**, 462 S.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (1998): Bodenbearbeitung und Bodenschutz Schlussfolgerungen für gute fachliche Praxis. Arbeitspapier **266**, 130 S.



Abb. 3 Abb. 4

Abbildungen 1 bis 4: Schädigung der Bodenstruktur und Bodenverdichtungen durch Befahren des Bodens mit schweren Landmaschinen im feuchten Zustand. (1) Fahrspuren, (2) Zuckerrübenernte, (3) Auflaufschäden als Folge von Bodenverdichtungen, (4) Krumenbasisverdichtung

Prof. Dr. Gerhard W. Brümmer Institut für Bodenkunde Nussallee 13, 53115 Bonn

Fax: 02 28 - 73 27 82

E-Mail: bruemmer@boden.uni-bonn.de

Die Verformung von Böden

- Ursachen und Folgen für eine nachhaltige Landnutzung

Soil deformation – causes and consequences for a sustainable landuse

Rainer Horn

1 Einleitung

Seit das Bundesbodenschutzgesetz am 01. März 1999 in Kraft getreten ist, werden verstärkt auch allgemein anwendbare Verfahren und Empfehlungen für die untergesetzlichen Regelwerke diskutiert. Im Mittelpunkt des Gesetzes steht u.a. der nachhaltige Schutz der Funktionen des Bodens, wobei nach § 17 unter dem Stichwort: gute fachliche Praxis der Erhalt der Bodenstruktur, die Vermeidung von Bodenverdichtungen sowie die Verhinderung von Bodenabträgen als wesentliche Schutzziele hervorgehoben werden. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie vor allem durch die Bodeneigenschaften und Standortbedingungen (Klima, Vegetation etc.) vorgegeben, die aktuelle Bodenbelastung z.B. durch Landmaschinen an die mechanische Belastbarkeit des Standortes angepaßt werden kann bzw. inwiefern durch eine zusätzliche Bodendeformation es zu einer entsprechenden irreversiblen Änderung von Bodenfunktionen kommen kann, die mit dem Begriff Nachhaltigkeit nicht zu vereinbaren sind. In diesem Zusammenhang ist auch die Bodendegradation durch Erosion zu berücksichtigen, deren Ursache in vielen Fällen ebenfalls eine unsachgemäße Landbewirtschaftung ist. Eine ausführlichere Zusammenstellung der in diesem Referat angeschnittenen Fragen findet man in Horn et al. (2000). Generell stellt eine intakte Bodenstruktur die zentrale Kenngröße für viele physikalisch/chemische und biologische Prozesse in Böden dar. Daher differiert auch die Einschätzung der Folgen der Bewirtschaftung von Böden mit immer größer werdenden Maschinen zwischen mehr an den Böden als nichtvermehrbares Gut oder an Landtechnischen Entwicklungen interessierten Betrachtern, wobei die Definition einer noch akzeptablen Einsinktiefe (in Bezug auf was? Und mit welchen Auswirkungen und Folgen auch immer bis in welche Tiefe) als scheinbare und daher gegebenenfalls auch trügerischer Sicherheit voraussichtlich nicht zielführend sein kann.

In der angewandten bzw. der eher grundlagenorientierten Literatur findet man zum Thema Bodenverdichtung nicht nur allgemein bekannte Hinweise über Ertragseinbußen bzw. Unsicherheiten im Hinblick auf einen gleichmäßig hohen Ertrag, Bearbeitungserschwernisse, reduzierte Infiltration oder geringere Bodenerwärmung und Saatauflauf, sondern u.a. auch Daten von Funktionsänderungen (Wasser- und Luftleitfähigkeit, Wurzelwachstum und N2O Produktion, die im Falle einer Verdichtung eintreten können. Die Frage ist daher zu beantworten, wie die Verknüpfung dieser Informationen mit denjenigen der bodenkundlich/mechanischen Analytik erzielt werden kann und inwiefern daraus ein auch regionenspezifisch anwendbares Prognosemodell als Hilfsmittel für die Beratung bzw. den Praktiker abgeleitet werden kann. Unter dem Begriff der Bodenverformung wird dabei im Folgenden die Summe

aus Bodenverdichtung als Maß für die durch Volumenreduktion induzierte Zunahme der Lagerungsdichte und der bei gleichem Bodenvolumen durch eine ausschließliche Scherung hervorgerufene Änderung der Bodenfunktion bei gleichbleibender Lagerungsdichte verstanden. Durch Scherung kann der Vorgang der Verdichtung zusätzlich verstärkt werden, bei einer Scherung hingegen wirkt folglich niemals eine Verdichtung mit (Abb.1).

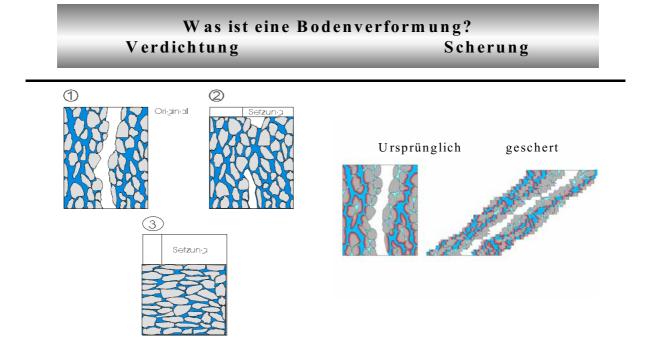


Abb.1: Bodenverformung als Folge der Bodenverdichtung und Scherung (schematische Darstellung)

2 Bodenphysikalisch – mechanische Kenngrößen

2.1 Bodenvorbelastung als Maß für die Bodenstabilität (=Eigenfestigkeit) und -belastbarkeit

Böden sind in Abhängigkeit von der natürlichen Bodenentwicklung ebenso wie in Abhängigkeit von der Bewirtschaftungsweise unterschiedlich stabil, wobei diese Eigenstabilität anhand des Wertes der mechanischen Vorbelastung quantifiziert werden kann. Er gilt als Maß für die max. akzeptable mechanische Belastbarkeit, die auch durch hydraulische oder durch chemische Fällungs- und Verkittungsvorgänge neben früheren mechanischen Belastungen hervorgerufen sein kann. Der Grundgedanke liegt somit darin, daß aktuelle Belastungen ohne Gefährdung der vorhandenen Bodenstruktur und -funktionen bis zum Wert der Vorbelastungen toleriert werden können, wohingegen darüber hinausgehend es zu Änderungen von Bodenfunktionen kommen wird. Als Beispiel der horizont- und landnutzungsspezifischen Bodenstabilität dienen die Tiefenverteilungen der Vorbelastung in einer Parabraunerde aus Löß unter 2 verschiedenen Nutzungen (Abb.2).

Es zeigt sich, dass bei gleicher Vorentwässerung z.B. die Festigkeit in Abhängigkeit von der Bodenentwicklung horizontspezifisch variiert und zusätzlich bei gleicher Profilausprägung je nach Bewirtschaftungsweise unterschiedlich große

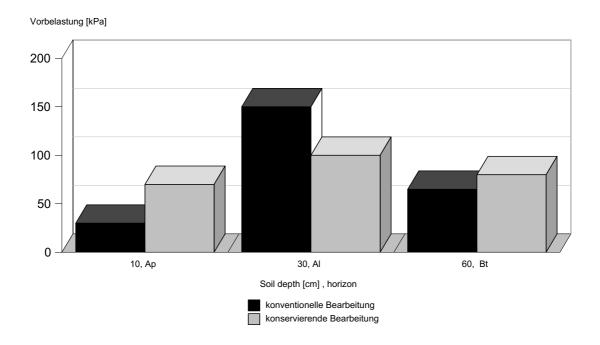


Abb.2: Tiefenverteilung der mechanischen Eigenfestigkeit (=Vorbelastung) kPa in einer Parabraunerde aus Löß in Abhängigkeit von der Bearbeitung. Vorentwässerung – 6kPa

Werte der Vorbelastung zu erwarten sind. Je geringer die aktuelle mechanische Belastung bei gegebenem Wassergehalt, je größer gleichzeitig die biologische und natürliche Bodenentwicklung als Folge von Be- und Entwässerung sind, um so größer ist auch die Eigenfestigkeit, dargestellt als Wert der Vorbelastung. Langjährige Reduzierung der Bodenbearbeitung (konv. – konservierend) resultiert stets in einer Zunahme der Bodenfestigkeit und damit bleiben die Bodenfunktionen bis zum Erreichen der größeren Auflasten erhalten.

2.2 Druckfortpflanzung und Bodendeformation

Da jeder an der Bodenoberfläche aufgebrachte Druck stets dreidimensional im Boden weitergetragen wird, werden auch tiefere und weiter von der Lotrechten entfernt liegende Bodenbereiche belastet. Konsequenterweise werden vor allem das weite Grobporensystem und die Porenkontinuität sowie damit verbunden auch die Funktionen von Böden im Zusammenhang mit dem Pflanzenwachstum, Filter- und Pufferwirkung, Medium für Grundund Trinkwasserneubildung beeinträchtigt.

Generell gilt, daß bei gleichem Druck im Übergangsbereich Reifen/Boden mit gleichermaßen steigender Kontaktfläche und Maschinenmasse der Druck tiefer in den Boden fortgepflanzt wird. Folglich beinhaltet die in den letzten Jahrzehnten um das 3 - 4fache gesteigerte

Maschinenmasse trotz der entsprechenden Reifenentwicklungen eine tieferreichende Druckfortpflanzung und damit Beeinträchtigung der Bodenfunktionen, falls der Boden nicht über eine entsprechende Eigenfestigkeit bei günstiger Porenfunktion verfügt. Bei vergleichbaren externen Kenngrößen (Reifen, Last, Geschwindigkeit und Häufigkeit der Überrollung der Ackerflächen) steigt das Druckkompensationsvermögen umso stärker, je strukturstabiler und je trockener der Boden ist, wobei jede Form der konservierenden Bodenbewirtschaftung nach Erreichen eines dynamischen Stabilitätsgleichgewichtes zu einer deutlicheren Druckkompensation beiträgt. Wiederholte kurzfristige Befahrungen führen folglich stets zu einer weiteren Spannungsakkumulation ebenso wie durch diese Belastungen eine gleichzeitige 3 dimensionale Bodenbewegung einsetzt. (Abb.3) Beide Aspekte resultieren in einer gegebenenfalls intensiven Bodendeformation bei gleichzeitiger Änderung der Bodenporenfunktionen. (s.Abb.1)

Mit steigendem Reifen- oder Gummilaufbandschlupf treten nicht nur höhere und damit gegebenenfalls die Eigenfestigkeit des Bodens überschreitende Haupt- und Scherspannungen in den einzelnen Bodentiefen auf, sondern der Boden wird sehr viel intensiver bewegt, wodurch wiederum selbst bei kleinen vertikalen Bewegungsbeträgen durch die tangentiale Verscherung die Bodenfunktion nachhaltig verändert wird.

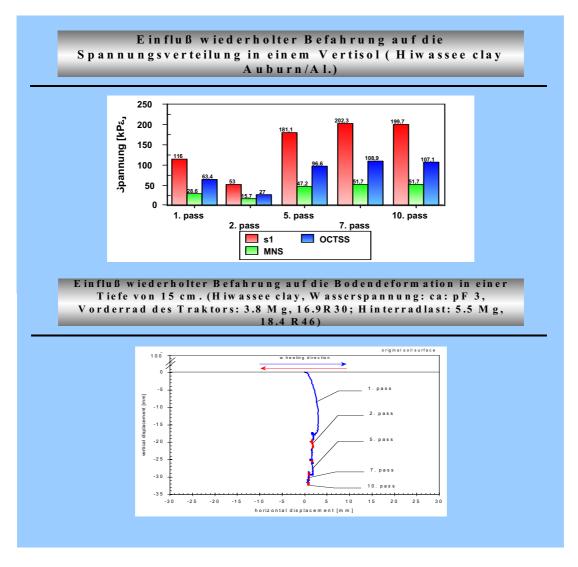


Abb.3: Druckfortpflanzung und Bodenbewegung im Verlaufe von 10 Befahrungen

Man erkennt aber ebenfalls, daß eine Druckkompensation ohne nachteilige Folgen für die Bodennutzung nur solange gegeben ist, wie die wirksamen Drücke nicht die Eigenstabilität überschreiten.

Der häufig im Zusammenhang mit dem Begriff Bodenschonung definierte Einsatz von Gleisketten an Bodenbearbeitungsmaschinen zeigt die Grenzen einer solchen Technik für die Bodenstruktur und damit für die Bodenschonung auf. Als Beispiel hierfür sei nur die scherende Verformung z.B. unter Gleisketten (Gummilaufbänder) erwähnt. Selbst bei mittleren Schlupfbeträgen von 10 – 15 % konnte unter definierten Freilandbedingungen selbst bei mäßig feuchten sandig – schluffigen Böden eine horizontale und gleichzeitig auch vertikale Bodenbewegung von bis zu 4 cm nach hinten und bis zu 3 cm versetzt nach unten nachgewiesen werden. Ein höherer Schlupfanteil von bis zu 30 % verstärkt diesen scherenden Effekt.(Abb.4)

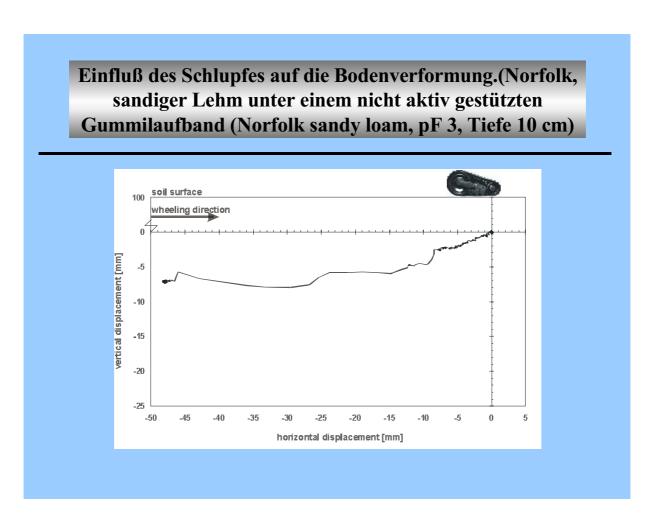


Abb.4: Bodenbewegung unter einem Gummilaufband

3 Folgen der Bodendeformation

3.1 Auswirkungen einer Bodendeformation auf Wasser- und Gashaushalt

Abb. 5 zeigt schematisch die während einer Verdichtung und Scherung eintretende Änderung der Porenfunktionen. Mit zunehmender Setzung sinkt der Anteil an gasleitenden vorrangig groben Poren und damit die gesättigte Wasserleitfähigkeit, wohingegen gleichzeitig die ungesättigte Wasserleitfähigkeit steigt. Die geringere Infiltration bzw. die stauende Nässe und länger anhaltende Feuchtphasen resultieren in einer verspäteten Erwärmung der Böden, länger wirksamen niedrigen Redoxpotentialen und somit Ionenmobilisierungen. Mit steigender mechanischer und scherender Belastung kommt es verstärkt zur Einregelung der Bodenpartikel und damit wird durch die Bildung der Plattenstrukturen nicht nur die horizontale Wasserleitfähigkeit größer als die vertikale, sondern es kommt an selbst nur leicht geneigten Hängen zu einer deutlichen Erhöhung der Erosionsempfindlichkeit.

Was sind die Folgen einer Bodenverdichtung?

Einfluß der Bodendeformation auf den Wasser- und Gasfluss

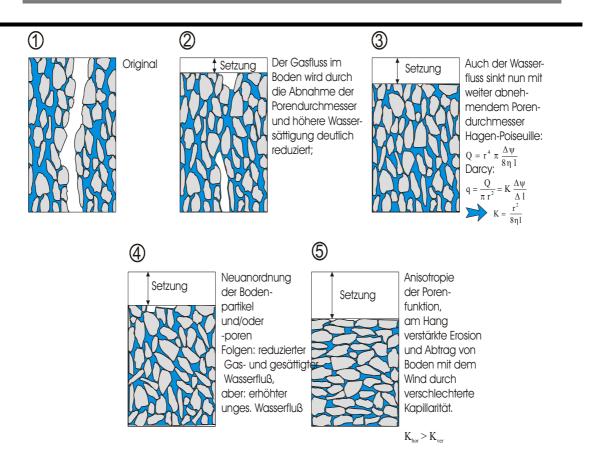


Abb.5: Auswirkung einer Bodendeformation auf den Wasser und Gashaushalt

3.2 Auswirkungen auf Bodenfauna

Aus zahlreichen Untersuchungen der Braunschweiger zoologischen Arbeitsgruppe läßt sich zweifelsfrei nachweisen, dass mit steigender Belastung und -häufigkeit die Anzahl u.a. an Regenwürmern zurückgeht und dass auf den Flächen mit vergleichbar langwirksamer konservierender Bodenbewirtschaftung die Abnahmen erst bei größeren Auflasten und Häufigkeiten auftraten. (s. a. Schrader 2001))

3.3 Einige Hinweise auf Erträge

Unter landwirtschaftlichen Gesichtspunkten zählt in erster Linie der Ertrag und der sich daraus errechnende Gewinn. Vor diesem Hintergrund sind Einbußen von bis zu 35 % im ersten Jahr nach der Bodenverformung als durchaus warnendes Merkmal zu betrachten und selbst wenn diese Abnahmen weniger ausgeprägt sind, steigt die Ertragsunsicherheit, wenn man den Erhebungsuntersuchungen z. B. von Vorhees (2000 in Horn et al. 2000) folgt. Dies ist vor dem Hintergrund der durch die klimatischen Bedingungen (zu hohe Feuchte oder zu lange Trockenheit während der Vegetationsperiode verbunden mit einem entsprechend eingeschränkten Wurzelwachstum) erklärlich. (s. a. Horn und Hartge 2001)

3.4 Auswirkung einer Bodendeformation auf Bodenerosion

Es ist seit langem unstrittig, daß als Ergebnis der Bodenverformung nicht nur die Wasserinfiltration um ein Vielfaches geringer wird, sondern daß auch durch die Einregelung der Bodenpartikel und Bildung von Plattengefüge die laterale Wasserleitfäühigkeit im Vergleich zur vertikalen steigt und somit mit einem verstärkten hangparallelen Wasser – und Stofftransport gerechnet werden muß. Eine entsprechende schematische Darstellung der auch über den Prozeß des Interflow erklärbaren Vorganges wird durch die Bodenverdichtung mitr Plattenbildung im Untergrund und gleichzeitiger verstärkter (Zer-)scherung des Oberbodens noch verstärkt. In gleicher Weise läßt sich auch der erhöhte Bodenabtrag per Wind erklären, da in diesem Fall aufgrund der Zerscherung und anschließenden Austrocknung gekoppelt mit einer verminderten kapillaren Wassernachlieferung aus dem Untergrund die an der Oberfläche liegenden Partikel leichter bereits bei geringerer Windgeschwindigkeit mobilisiert werden können.

4 Möglichkeiten der Prognose der mechanischen Belastbarkeit und der auflastabhängigen Änderung von ökologischen Kenngrößen

4.1 Vorhersage der Eigenfestigkeit von Böden

Durch die Kombination der bodenhorizontspezifischen Eigenfestigkeit bei den jeweils definierten Randbedingungen und der Intensität der Druckfortpflanzung läßt sich sowohl eine potentielle als auch aktuelle Prognose der Auswirkungen einer mechanischen Belastung aud die Änderung des Eigenfestigkeit (=zusätzliche Bodendeformation durch nicht an den Standort angepaßter Einsatz von Landmaschinen) als auch der bei Überschreitung der Eigenfestigkeit zu erwartenden Änderung von Bodenfunktionen, die im Erstverdichtungsbereich durch eine plastische Verformung zu erwarten sind. Folglich lassen

sich dann auch Empfehlungen für die Landtechnische Weiterentwicklung von Geräten als auch für den Praktiker bzw. den Berater geben, wobei die entsprechenden Grenzwerte z.B. hinsichtlich der Wasser- oder Luftleitfähigkeit standort-, vegetations- und damit auch klimaspezifisch gegeben werden könnten. Basierend auf den Arbeiten von Horn 1981, Lebert 1989, DVWK 1995,1997, 2001) sowie dem im Rahmen des SIDASS Vorhabens (Horn et al. 2001) weiterentwickelten Konzepten können nunmehr Karten der mechanischen Belastbarkeit auf jedem Maßstab (Europakarte – Hofbodenkarte) abgeleitet werden. In Abb. 6 ist beispielsweise die Karte der mechanischen Belastbarkeit der Bundesrepublik Deutschland als Funktion der Vorentwässerung (pF 1.8 entspricht dem Feuchtigkeitsszustand im zeitigen Frühjahr, während pF2.5 demjenigen in Sommer bzw. zur Ernte definiert. Die Unterteilung in die Klassen sehr gering (<30kPa) gering 30 – 60 kPa, mittel 60 – 90 kPa, hoch 90 – 120 kPa und sehr hoch 120 – 150 kPa dient auch als Einschätzung der maximal akzeptablen Reifenkontaktflächendrücke. Man erkennt, daß z.B. in Schleswig Holstein oder Mecklemburg Vorpommern die durch Eiszeit geprägten Geschiebemergelgebiete weniger stabil sind als die Geestlandschaft und daß darüber hinaus durch Austrocknung die Festigkeit steigt.

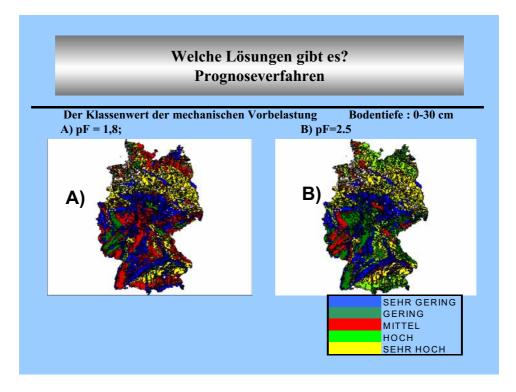


Abb.6: Kartenmäßige Darstellung der mechanischen Belastbarkeit von Böden der Bundesrepublik Deutschland im Oberboden bei 2 Vorentwässerungsstufen (pF 1.8 = Frühjahr, pF 2.5 = zumindest zu erwartende Sommertrockenheit)

4.2 Dokumentation der auflastabhängigen Änderung von ökologischen Bodenfunktionen durch eine Bodenverformung

Basierend auf der Annahme, daß im Erstverdichtungsbereich eine plastische Verformung des Porenraumes einsetzt und damit auch die Wasser- und Gasleitfähgikeit verschlechtert werden muß, ist in Abb. 7 zum einen die Verteilung der Luftleitfähigkeit im Gleichgewicht mit der Eigenfestigkeit als auch für einen Belastungsfall dargestellt. Hierbei wurde der

Reifenkontaktflächendruck (Gegenspieler zur Vorbelastung des Bodens) sowie die Radlast entsprechend den in der Bundesrepublik nicht unüblichen Belastungssituationen gewählt. Während der Ernte wären z.T. bei auch nicht günstigeren Klimabedingungen (Rüben-, Kartoffelernte) noch weit größere Werte zu berücksichtigen. Man erkennt die unterschiedlich intensive Änderung der Bodenfunktionen in den einzelnen Regionen; Austrocknung und geänderte mechanische Belastungskennwerte variieren das Bild.

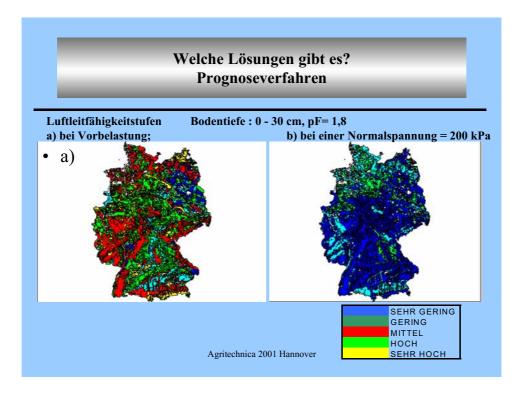


Abb.7: Auswirkung einer mechanischen Belastung auf die Porenfunktion: Luftleitfähigkeit zum Zeitpunkt maximaler Eigenfestigkeit und bei einer Belastung mit 200 kPa

5 Schlussfolgerung

Böden weisen eine entwicklungs- und landnutzungsabhängige Bodengefügeentwicklung auf, die anhand der Werte der Vorbelastung als Maß für die Eigenfestigkeit und bodengefügeabhängigen Bodenfunktionen dokumentiert werden kann. Unter der Voraussetzung, daß im Erstverdichtungsbereich d.h. nach Überschreitung der Vorbelastung Hohlraumsystem irreversibel zusammengepreßt wird während Wiederverdichtungsbereich d.h. bei Auflasten kleiner als die Vorbelastung seine Funktionen erhält, kann nun ebenfalls eine Prognose der Bodeneigenschaften als auch über die Auswirkungen von Belastungen auf die Änderung von Eigenschaften vorgenommen werden. Sowohl die Berechnung der tiefenabhängigen Änderung von Bodenfunktionen als auch die weitere Präzisierung der Aussage auf der Ebene der Hofbodenkarte oder weiterer Maßstäbe ist mit dem entwickelten Programm realisierbar und eröffnet damit völlig neue Wege im Hinblick auf die nachhaltige Bodenbearbeitung bzw. Analyse der mechanischen Belastbarkeit. Wesentlich ist, daß mit diesem Verfahren die Möglichkeit der Prognose von verschiedenen Bodenfunktionen gegeben ist und stets die unter in situ Bedingungen tatsächlich auch wirksamen Bodeneigenschaften berücksichtigt werden.

6 Zusammenfassung

- Böden verfügen über eine horizontspezifische Eigenfestigkeit (=Vorbelastung), so dass auch die mechanische Belastbarkeit der Böden in der Landschaft variiert.
- Die Druckfortpflanzung in Abhängigkeit von den exogenen Kenngrößen erfolgt stets dreidimensional.
- Die Bodenverformung als Kombination von Scherung und Verdichtung führt zu einer deutlichen Änderung der ökologischen Bodenfunktionen und des Ertragpotentials im Erstverdichtungsbereich
- Eine Vorhersage der Belastbarkeit und der Auswirkungen einer aktuellen Belastung ist mittels des SIDASS Modells möglich sowohl als potentielle aber auch für den Schlag (Hofbodenkarte) zu einem gegebenen Zeitpunkt und Wassersättigungsgrad.

7 Abstract

- Mechanical strength of structured arable soils can be defined and quantified by the precompression stress value as well as landuse systems alter the strength. Soil deformation is the result of both soil compaction (i.e. increase in bulk density) and in soil shearing (changes in soil functions at constant bulk density) which results in a completely different consideration of soil tillage and landuse effects.
- Stress and strain distribution always occurs three-dimensionally in soils and results in a profound change in soil properties if the internal soil strength is exceeded by the actual stress applied.
- Sustainable landuse requires the avoidance of stresses at the various depths which exceed
 the internal soil strength in order to not furthermore change the internal soil functions
 (parameters like air or water permeability or accessibility to particle or aggregate
 surfaces.)
- The soil strength and the stress dependent changes of soil physical properties can be predicted by the SIDASS model which does not only allow to obtain a potential overview of the properties at the site but which can be also used as a decision model for instructions and further economic decisions or for machine construction.

8 Weiterführende Literatur

- DVWK 1995: Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden Teil I: Mechanische Belastbarkeit. Merkblatt 234 Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft, Bonn
- DVWK 1997: Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden Teil II: Ableitung physikalischer Kenngrößen. Mechanische Belastbarkeit. Merkblatt 235, Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft, Bonn
- DVWK 2001: Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden Teil III: Empfehlungen zur standortgerechten Landbewirtschaftung. Merkblatt 236 im Druck in Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft, Bonn

- FLEIGE, H. 2000: Oberflächenabfluß und Bodenabtrag in Fahrspuren eines Jungmoränenstandortes. Diss. Schriftenreihe des Institutes für Pflanzenernährung und Bodenkunde,
- HORN, R. 1981: Die Bedeutung der Aggregierung von Böden für die mechanische Belastbarkeit in dem für Tritt relevanten Auflastbereich. Habilitationsschrift Schriftenreihe FB 14 TU Berlin H.10
- HORN, R. und K.H. HARTGE 2001: Das Befahren von Ackerflächen als Eingriff in den Wasserhaushalt. Wasser und Boden 53, 13 19
- HORN, R., J.J.H. VAN DEN AKKER, J. ARVIDSSON (eds) 2000: Subsoil Compaction Distribution, Processes and Consequences. Advances in Geoecology 32, 462 pgs.
- HORN, R., SIMOTA, C., FLEIGE, H., DEXTER, A.R., RAJKAI, K., ROSA, D. de al 2001: Möglichkeit der Prognose der mechanischen Belastbarkeit von Ackerböden. Wasser und Boden 53, 9 13
- LEBERT, M. 1989: Beurteilung und Vorhersage der mechanischen Belastbarkeit von Ackerböden. Bayreuther Bodenkundliche Berichte 12.
- SCHRADER, S. 2001: Ackerboden als Nutz- und Schutzgut aus ökologischer Sicht. Wasser und Boden 53, 1-4
- Weißkopf, P., U. Ziehlmann, C. Wiermann, R. Horn, Th. Anken, E. Diserens 2000: Influences of conventional and onland-ploughing on soil structure. Advances in Geoecology 32, 73 82

Prof. Dr. Rainer Horn Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde Christian Albrechts Universität Olshausenstr. 40, 24118 Kiel rhorn@soils.uni-kiel.de

Die Grundzüge des Schad-Verdichtungs-Gefährdungs-Konzeptes (SVGK) und ein Anwendungsbeispiel

Concept of assessment of soil compaction risk and an example for realisation

M. Frielinghaus, H. Petelkau und K. Seidel

1 Problemstellung

Ob Böden normal verdichtet oder schadverdichtet sind, kann nur in Zusammenhang mit der Realisierung ihrer Funktionen beurteilt werden. Von diesen können in erster Linie die Produktions-, die Lebensraum-, die Regel- und Transformationsfunktionen beeinträchtigt werden, wenn Böden über ihr natürliches Maß hinaus verdichtet werden.

Infolge technogener Überlastung wird das Porensystem im Boden vielfach soweit reduziert, dass im Boden ablaufende Prozesse zeitweilig oder dauerhaft gestört sein können. Aus ökologischer Sicht muss in solchen Fällen von Bodenschadverdichtungen gesprochen werden. In der Regel bedeutet das für einen Pflanzenbestand eine Verschlechterung der Versorgung mit Luft und Wasser und führt zu einer dauerhaften Beeinträchtigung der Ertragsfähigkeit und Ertragssicherheit. Meist sind auch die Infiltration von Niederschlagswasser in den Boden und die Wasserspeicherung gestört. Außerdem können die Lebensbedingungen für Bodentiere und Mikroorganismen drastisch verschlechtert sein.

Bodenschadverdichtungen gehören zu den Risiken der agrarischen Produktion, da die so genutzten Flächen befahren werden müssen. Doch ist das Risiko in der Regel durch standortangepasste Einschränkung der Belastung zu beherrschen und zu vermindern. Nicht jede Bodenverdichtung ist eine Schadverdichtung, daher ist eine möglichst genaue Bewertung der tatsächlichen Risiken notwendig. Diese ergeben sich aus der Neigung der Böden zur Dichtlagerung über pflanzenverträgliche Bereiche hinaus, wenn sie zu starken Drücken ausgesetzt werden. Als Grundlage für die Bewertung sind verschiedene Konzepte ausgearbeitet worden, die nebeneinander ihre Berechtigung haben und z. Z. für die Vorsorge gegen Bodenschadverdichtung erprobt werden. (HORN et al. 2000), (PETELKAU et al. 2000), (SOMMER 1998), (WERNER et al. 1999).

Ein Konzept zur mittel- und langfristig anzusetzenden Vorsorge, das auf der Pflanze als Indikator für die Bewertung der Bodenverdichtungsgrade beruht, wird nachfolgend entwickelt und beispielhaft dargestellt.

2 Ökologische Schadverdichtungsbereiche

Um den Bodenschutz gegen Schadverdichtungen effektiv und nachhaltig gestalten zu können, wird der Indikator Pflanzenentwicklung als am sichersten angesehen, weil Pflanzenwurzeln auf physikalische Bodenveränderungen sensibel reagieren. Pflanzen entwickeln sich am besten, wenn sie eine intakte Bodenstruktur (optimaler Bodenlagerungszustand) vorfinden.

Aus langjährigen Versuchen wurde eine enge Korrelation zwischen Wurzelanzahl und Lagerungsdichte ermittelt (Abb. 1).

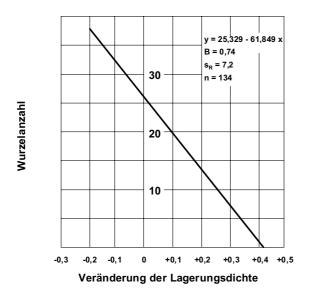


Abb. 1: Korrelation zwischen Wurzelanzahl und Lagerungsdichte (Verallgemeinerung aus 134 Versuchen mit verschiedenen Böden)

In Hinblick auf die Wurzelentwicklung ist die Korrelation zur Lagerungsdichte für viele Fruchtarten signifikant abgesichert (PETELKAU et al. 2000) (Abb. 2).

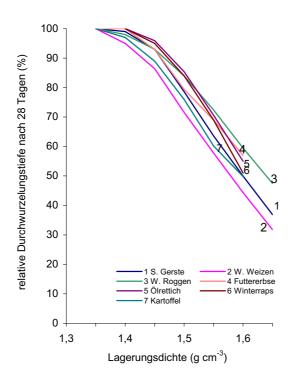


Abb. 2: Relative Durchwurzelungstiefe verschiedener Kulturpflanzen in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte des Bodens

Sicherlich kann durch die Lagerungsdichte keine komplexe Charakterisierung des Gefügezustandes gegeben werden, aber dieser Parameter ist in der Praxis durch einfache Methoden, wie z. B. Penetrometermessungen, bestimmbar. Es ist daher naheliegend und nachvollziehbar, wenn der Verdichtungszustand der Böden sowie Begrenzungen der mechanischen Bodenbelastung vor allem pflanzenökologisch definiert und aus den mit der zu erwartenden Pflanzenentwicklung eng korrelierenden Lagerungsdichte hergeleitet werden. Aus einer Vielzahl von Feld- und Laborversuchen bei definierten Bedingungen ist für 72 % der Ergebnisse ein signifikanter Zusammenhang zwischen Lagerungsdichte und Ertrag ermittelt worden. Aus den Ergebnissen konnten ökologische Schadverdichtungsstufen und bereiche abgeleitet werden (Abb. 3).

Im vorliegenden Indikationskonzept wird der optimale Lagerungsdichtebereich bearbeiteter Krumenböden als der Lagerungsdichtewert (g/cm³) \pm 0,05 g/cm³ definiert, bei dem keine messbaren Ertragseinbußen auftreten. Dieser Bereich ist für jeden Standort, abhängig von der vorherrschenden Bodenart und dem Bodenaufbau, verschieden. Daher werden in der Abbildung 3 nicht die absoluten Trockenrohdichtewerte sondern deren Veränderungen dargestellt.

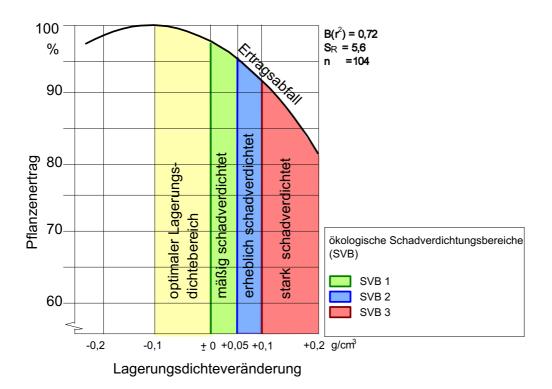


Abb. 3: Pflanzenabhängige ökologische Schadverdichtungsbereiche

Steigt die Lagerungsdichte über den substratspezifischen optimalen Bereich hinaus immer mehr an, fallen die Erträge immer stärker ab. Daraus ist abzuleiten, dass eine pflanzen-ökologisch wirksame und nachweisbare Schadverdichtung zu den Ertragsdepressionen führt. Die vorgenommene Unterteilung in die Schadverdichtungsbereiche (SVB) wird aus der Ertragskurve abgeleitet:

- ⇒ keine signifikante Ertragsbeeinflussung: Optimalbereich
- ⇒ SVB 1: (2 bis 5 % Ertragsdepression) mäßig schadverdichtet (grün), beginnt an der oberen Grenze des optimalen Lagerungsdichtebereiches
- ⇒ SVB 2: (5 bis 10 % Ertragsdepression) erheblich schadverdichtet (blau), beginnt in einem Bereich, der um 0,05 g/cm³ oberhalb der optimalen Lagerungsdichtegrenze liegt
- ⇒ SVB 3: (über 10 % Ertragsdepression) stark schadverdichtet (rot), beginnt bei Schadverdichtungen, die um 0,10 g/cm³ oberhalb der optimalen Lagerungsdichtegrenze liegen.

Während die Schadverdichtungen in den SVB 1 und 2 (mäßig und erheblich schadverdichtet) durch Bodenbearbeitung wieder gelockert werden können und noch keine Schadverdichtungen in der Krumenbasis oder im Unterboden auftreten, sind diese in den Bereichen SVB 3 mit starker Schadverdichtung durchaus zu erwarten.

3 Technogen verursachte Bodenschadverdichtungen

Auf Ackerflächen können Schadverdichtungen in Krume und Unterboden eigentlich nur durch starke technogene Bodenbelastungen entstehen. Die notwendige Entwicklung zu leistungsstarken Ackerschleppern, Erntemaschinen und Transportfahrzeugen wird vielfach mit höheren Radlasten erkauft. Das führt auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen zu einer über die Verträglichkeit des Bodens hinausgehende Belastung, in deren Ergebnis vielfach Bodenschadverdichtungen verschiedener Ausprägungsgrade auftreten.

Je mehr die Radlasten der Maschinen, Geräte oder Transportfahrzeuge ansteigen, um so stärker erhöht sich der Bodendruck in die Tiefe. Das bedeutet, dass auch der unter der Ackerkrume liegende Unterboden geschädigt und verdichtet werden kann. Eine solche Tiefenwirkung entsteht ebenfalls bei wiederholtem Befahren mit gleichen Radlasten im Bereich der Fahrspuren, d. h. immer tiefer liegende Bodenschichten werden nach und nach in den Verdichtungsprozess einbezogen. Krumenbasis- und Unterbodenverdichtungen können durch eine normale Bodenbearbeitung nicht wieder beseitigt werden und beeinflussen die Bodenfunktionen negativ.

Die Eigenstabilität eines Bodens, die er gewissermaßen dem Druck entgegensetzt, ist abhängig von dem Bodensubstrat (Textur und Humusgehalt), der bereits vorhandenen Lagerungsdichte [g/cm³] sowie der Bodenfeuchtigkeit (dem Gehalt an beweglichem Bodenwasser, gemessen in [% nFK]). Wird durch einen Belastungsimpuls die vorhandene Eigenstabilität überschritten, wird der Boden verdichtet. Die differenzierte Wirkung der Radlasten bei einer Momentbelastung auf die physikalischen Eigenschaften verschiedener Böden wird an zwei Beispielen aufgezeigt.

Als Beispiel diente ein Rad (Dimension: 60 cm breit, Außendurchmesser 1,88 m, Kontaktfläche 0,282 m²), das mit 20, 45 und 100 kN Radlast auf den Boden einwirkte. Die Veränderungen der physikalischen Parameter wurden nach zwei Überrollungen durch das Proberad gemessen, wobei der Schlupf aus versuchstechnischen Gründen vernachlässigt werden musste.

Tab. 1: Einfluss der Bodenbelastung durch 3 verschiedene Radlasten auf die Lagerungsdichte, wichtige bodenphysikalische Parameter und die Pflanzenerträge für einen Beispielsboden der Bodenart Lehmiger Sand (S14) nach 2 Überrollungen

Bodenart: Sl4	Bodensu	ıbstrat: 14 % Ton, 32	2 % Schluff, 54 % S	and, 2,2 % OBS
stark lehmiger Sand	Bodenfe	uchte: 70 % nFK (15	5,4 Masse-%)	
Belastungsparameter				
Kontaktfläche	$[m^2]$	0,282 (Reifenbreit	e: 60 cm)	
Radlast	[kN]	20	45	100
		(geringe Radlast)	(hohe Radlast)	(sehr hohe Radlast)
Mittlerer Kontaktflächendr	uck bei 70	% nFK		
	[kPa]	70	160	380
Bodenphysikalische Param	eter			
Lagerungsdichte	[g/cm ³]	1,49	1,59	1,69
Porenvolumen	[%]	42,9	39,1	35,1
Schichtstärke des Ap	[cm]	30,0	28,1	26,4
Luftkapazität	[%]	14,4	8,7	4,0
Pflanzenerträge				
(Relative Ertragsverluste)	[%]	0	8	19

Die Ergebnisse zeigen, dass bereits nach einer Überfahrt (2 Überrollungen) mit 45 kN Radlast eine Verschlechterung des Bodenzustandes (Porenvolumen, Schichtstärke der Ackerkrume und Luftkapazität) eintreten. Daraus resultiert ein relativer Ernteverlust von 8 %. Betrachtet man den Bodenzustand nach einer Überfahrt mit einer Radlast von 100 kN , so nimmt die Lagerungsdichte weiter zu und die eben genannten Bodenzustandskennwerte verschlechtern sich noch weiter. Daraus resultiert der relative Ertragsverlust von 19 %. Diese Zunahme der Lagerungsdichte und damit verbunden die Verschlechterung des Gefügezustandes verläuft nicht bei allen Bodenarten gleich, wie in Tabelle 2 gezeigt wird.

Tab. 2: Einfluss der Bodenbelastung durch 3 verschiedene Radlasten auf die Lagerungsdichte, wichtige bodenphysikalische Parameter und die Pflanzenerträge für einen Beispielsboden der Bodenart Sandiger Lehm (Ls4) nach 2 Überrollungen

Bodenart: Ls4	Dodonau	hatrati 24 0/ Tan 26	5 0/ Sahluff 50 0/ S	and 20/ ODS							
		ıbstrat: 24 % Ton, 26		allu, 5 % OBS							
stark sandiger Lehm	Bodenfe	uchte: 70 % nFK (19	9,4 Masse-%)								
Belastungsparameter											
Kontaktfläche	$[m^2]$	0,282 (Reifenbreit	e: 60 cm)								
Radlast	[kN]	20	45	100							
		(geringe Radlast)	(hohe Radlast)	(sehr hohe Radlast)							
Mittlerer Kontaktflächendruck bei 70 % nFK											
	[kPa]	70	160	380							
Bodenphysikalische Paramo	eter										
Lagerungsdichte	$[g/cm^3]$	1,39	1,51	1,65							
Porenvolumen	[%]	46,2	41,6	36,2							
Schichtstärke des Ap	[cm]	31,3	28,8	26,3							
Luftkapazität	[%]	14,1	6,7	2,0							
Pflanzenerträge											
(Relative Ertragsverluste)	[%]	0	4	18							

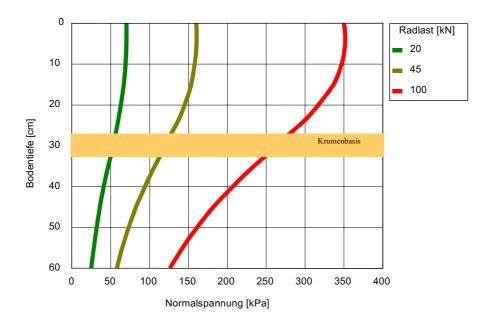


Abb. 4: Die durch den Bodendruck der Räder ausgelöste Normalspannung beim Einwirken von drei verschiedenen Radlasten

Der durch die Bodenbelastung erzeugte Bodendruck setzt sich nach unten in den Unterboden fort, wie in der Abbildung 4 verdeutlicht wird.

Da der Bodenhorizont unter etwa 30 cm durch Bodenbearbeitung in der Regel nicht "repariert" werden kann, aber für die ökologischen Funktionen einschließlich des Pflanzenwachstums unverzichtbar und daher in optimalem Zustand erhalten werden muss, werden die kritischen Werte der Lagerungsdichtebereiche (Abb. 3) bei mehrmaliger oder hoher Bodenbelastung bei vielen Böden schnell überschritten. Erhöht sich die Anzahl der Überrollungen, kommt das einer Quasi-Radlasterhöhung gleich, was die Tiefenwirkung weiter erhöht.

4 Schadverdichtungsgefährdungsstufen der Böden

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Ackerböden sehr unterschiedlich auf Druckbelastungen reagieren. Mittels Kompressions- und Schertests konnte das Druck-Setzungsverhalten von Böden differenzierter Korngrößenzusammensetzung Humusgehalte bei unterschiedlichen Bodenfeuchten bestimmt werden (PETELKAU 1984). Die Kompression erfolgte durch Momentbelastungen mit Drücken zwischen 50 und 500 kPa. Der Vergleich der erzielten Lagerungsdichten mit den ökologischen Schadverdichtungsbereichen (Abb. 3) ermöglichte eine Ausweisung der zulässigen Belastbarkeitskennwerte (keine Überschreitung der optimalen SVB) sowie der maximal möglichen Belastbarkeitskennwerte (Überschreitung, aber Behebung durch nachfolgende Bodenbearbeitung). Aus dem Vergleich ergibt sich die Schadverdichtungsgefährdung der Böden. Zur Vereinfachung nachfolgender Operationen wurden die verschiedenen Böden in Schad-Verdichtungs-Gefährdungs-Klassen (SVGK) zusammengefasst (Abb. 5).

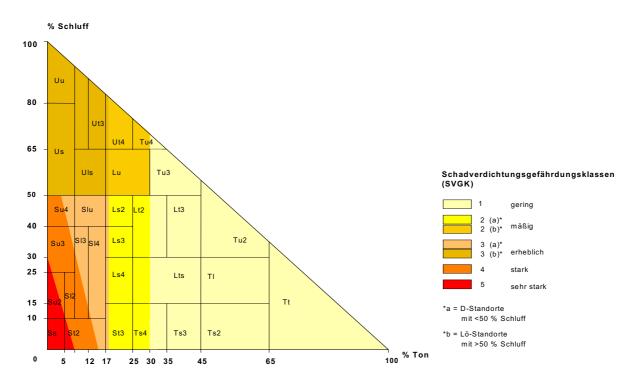


Abb. 5: Texturabhängige Schadverdichtungsgefährdungsklassen für Böden, basierend auf der KA 4

Um über eine parzellenscharfe Indikation hinaus Angaben für größere Regionen treffen zu können, wurde als Datenbasis die Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung im Maßstab 1: 25.000, die flächendeckend in digitaler Form für die östlichen Bundesländer vorliegt, genutzt (LIEBEROTH et al. 1983). Ein Beispiel für auf dieser Basis erstellte Gefährdungskarten von Standorten zeigt Abbildung 6.

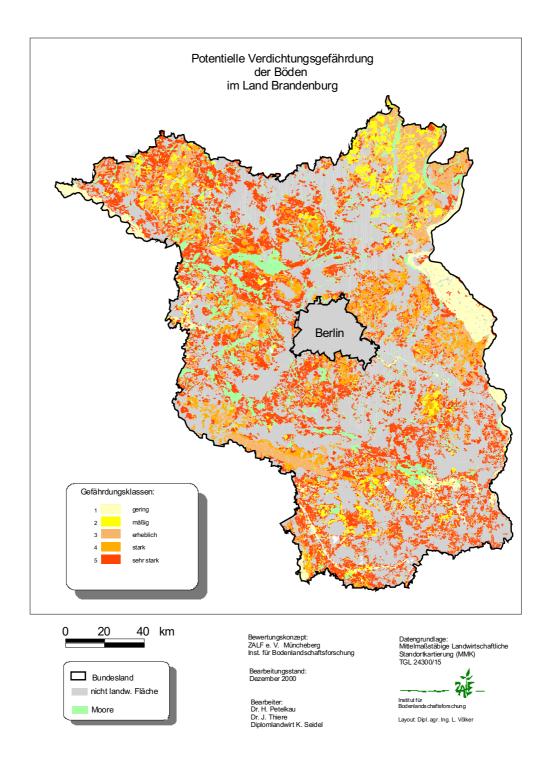


Abb. 6: Karte der Schadverdichtungsgefährdungsklassen für die Böden des Bundeslandes Brandenburg, basierend auf der MMK

5 Die Bewertung der technogenen Belastung

Die Festlegung der Schadverdichtungsklassen 1 bis 5 verdeutlicht, dass es für jede Klasse zur Einhaltung des optimalen Lagerungsdichtebereiches eine obere Belastbarkeit gibt (Abb. 7).

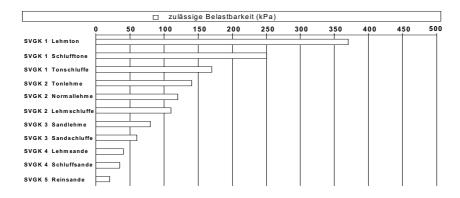


Abb. 7: Belastbarkeit bei einer Bodenfeuchte von 70 % nFK der Bodenartengruppen in den SVGK 1 bis 5 zur Einhaltung des optimalen Lagerungsdichtebereiches

Diese Belastbarkeitswerte können nicht bei allen Arbeitsgängen im Pflanzenbau eingehalten werden. Daher ist ein zweiter Wert, die maximal zulässige Belastbarkeit angegeben (Abb. 8). In diesen Fällen können die in der Ackerkrume auftretenden Verdichtungsschäden durch Bodenbearbeitung beseitigt werden, ohne dass Schäden in der Krumenbasis entstehen.

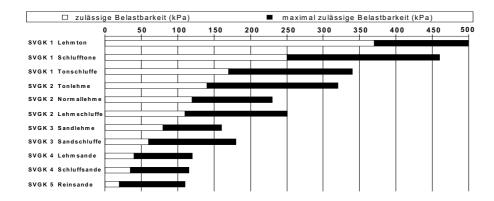


Abb. 8: Maximal zulässige Belastbarkeit bei einer Bodenfeuchte von 70 % nFK der Bodenartengruppen in den SVGK 1 bis 5

Nachfolgend werden Technikabläufe vorgestellt, deren Fahrwerksausstattung bereits auf die Einhaltung der Maximalwerte ausgerichtet sind. Damit werden Entscheidungshilfen für den vorsorgenden Bodenschutz gegeben.

In der Tabelle 3 wird ein Beispiel für den Zuckerrübenanbau auf den Böden der gering gefährdeten Klasse SVGK 1 gegeben.

Die eingesetzte Technik und die Fahrwerksparameter zeigen, dass bei keinem Arbeitsgang ein Schadverdichtungsrisiko für die Krumenbasis besteht. Die bei der Rübenernte mit dem Bunkerroder in der Ackerkrume eintretenden mäßigen Schadverdichtungen können durch nachfolgende Bodenbearbeitung beseitigt werden. Die rot skizzierten Kontaktflächendrücke führen auf diesen gering gefährdeten Böden noch nicht zu Schadverdichtungen.

Tab. 3: Arbeitsgangfolge und Fahrwerksparameter bodenschonender Technik für den Anbau von Zuckerrüben auf Lehmtonen, Schlufftonen und Tonschluffen (SVGK 1)

Arb	eitsgang (Ag)	Eingesetzte Technik	Arbeits- breite/	Achse	Fahrwe		ı		htungsris kerkrum		Verdichtungsrisiko der Krumenbasis		
			Reihen- weite		*RB	RL	KFD	je Arbe	eitsgang		je Arbe	eitsgang	
			[m]		[cm]	[kPa]	[kN]	ohne	mäßig	erhebl.	ohne	mäßig	erhebl.
1	Grunddüngung	Traktor 140 kW	9,00	1	48	13,7	70						
		Düngerstreuer		2 3	58 38	29,0 45,0	110 420		X		X		
2	Grubbern	Traktor 180 kW	6,00	1	48	13,9	70						
				2	62	36,2	120	X			X		
3	Mineraldüngung	Traktor 70 kW Anbaudüngerstreuer	18,00	1 2	39 48	4,0 26,0	30 130	x			x		
4	Grubbern	Traktor 180 kW	6,00	1	48	13,9	70						
				2	62	36,2	70	X			X		
5	Pflügen	Traktor 180 kW	3,20	1	59	13,6	60						
		9-furchig (Onland)		2	69	37,5	60	X			X		
6	Saatbettbereitung	Traktor 140 kW SBB-Kombination	9,00	1 2	49 59	13,7 29,0	70 110	x			x		
				3	38	10,0	120						
7	Einzelkornaussaat	Traktor 70 kW	9,00	1	44	8,5	60						
		Einzelkorndrille		2	48	13,0	60	X			X		
8/	Mineraldüngung (2 x)	Traktor 70 kW Anbaudüngerstreuer	18,00	1 2	39 48	4,0 26,0	30 110	x			x		
								Λ			Α		
10/	Pflanzenschutz	Traktor 70 kW	18,00	1	44	6,8	50						
11	(2 x)	Anhänge-Feldspritze		2 3	48 36	20,7	90	Х			х		
12	Rübenroden	Bunkerroder 20 t	3,00	1	80	100,0	270						
				2	80	100,0	270		x		x		

^{*} RB = Radbreite, RL = Radlast, KFD = Kontaktflächendruck

Würde man auf Böden in der SVGK 2 die gleiche Technik einsetzen wie in der SVGK 1, wären schon Schäden in der Krumenbasis zu vermuten (Tab. 4).

Tab. 4: Zuckerrübenanbau auf Tonlehmen, Normallehmen und Lehmschluffen mit mäßiger Schadverdichtungsgefährdung (SVGK 2) mit gleicher Technik

Arbeitsgang (Ag)		Eingesetzte Technik	Arbeits- breite/	Achse	Fahrwerks-				Verdichtungsrisiko der Ackerkrume			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis		
			Reihen- weite		*RB RL KFD		je Arbeitsgang			je Arbeitsgang				
			[m]		[cm]	[kPa]	[kN]	ohne mäßig erhebl.		ohne	mäßig	erhebl.		
1	Grunddüngung	Traktor 140 kW Düngerstreuer	9,00	1 2 3	48 58 38	13,7 29,0 45,0	70 110 420			x		X		
12	Rübebroden	Bunkerroder 20 t	3,00	1 2	80 80	100,0	270 270			X		X		

^{*} RB = Radbreite, RL = Radlast, KFD = Kontaktflächendruck

Werden die Fahrwerksparameter durch andere Technik und breitere Reifen den Standortbedingungen angepasst, wird das Risiko sichtbar vermindert, die Lasteneinträge werden geringer (Tab. 5).

Tab. 5: Vorschläge für eine bodenschonende Technik für den Anbau von Zuckerrüben auf Böden der SVGK 2 für die oben aufgeführten Arbeitsgänge mit vermindertem Risiko

Arbeitsgang (Ag)		Eingesetzte Technik	Arbeits- breite/	Achse	Fahrwerks- parameter		Verdichtungsrisiko der Ackerkrume			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis			
			Reihen- weite		*RB	RL	KFD	je Arbeitsgang		je Arbeitsgang			
			[m]		[cm]	[kPa]	[kN]	ohne mäßig erhebl.		ohne	mäßig	erhebl.	
1	Grunddüngung	Traktor 140 kW Düngerstreuer (Tandemachse)	9,00	1 2 3 4	60 72 56 56	13,7 29,0 25,0 25,0	60 80 160 160		X		х		
12	Rübenroden	Bunkerroder 6 t	3,00	1 2	70 76	71,3 47,5	200 170		x		х		

^{*} RB = Radbreite, RL = Radlast, KFD = Kontaktflächendruck

Würde man die für die Böden der SVGK 1 zulässige Technik sogar in der SVGK 3 mit erheblich gefährdeten Böden einsetzen, würden sich erhebliche Risiken für die Ackerkrume und die Krumenbasis ergeben. Auch hier müssen die Arbeitsgänge Grunddüngung und Rübenroden entsprechend "entschärft" und bodenschonend gestaltet werden, um wiederum dem Risiko entsprechend die Krumenbasis zu "entlasten" (Tab. 6 und 7).

Tab. 6: Arbeitsgänge und eingesetzte Technik aus den Empfehlungen für die SVGK 1 (Tab. 3) für den Anbau von Zuckerrüben auf Sandlehmen und Sandschluffen mit erheblicher Schadverdichtungsgefährdung (SVGK 3) mit erheblichem Schadverdichtungsrisiko

Arbeitsgang (Ag)		Eingesetzte Technik	Arbeits- breite/	Achse		Fahrwerks- parameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis		
			Reihen-		*RB	RL	RL KFD je Arbeitsg		eitsgang		je Arbeitsgang			
			weite											
			[m]		[cm]	[kPa]	[kN]	ohne	mäßig	erhebl.	ohne	mäßig	erhebl.	
1	Grunddüngung	Traktor 140 kW	9,00	1	48	13,7	70							
		Düngerstreuer		2	58	29,0	110			x			x	
				3	38	45,0	420							
12	Rübebroden	Bunkerroder 20 t	3,00	1	80	100,0	270							
				2	80	100,0	270			X			X	

^{*} RB = Radbreite, RL = Radlast, KFD = Kontaktflächendruck

Tab. 7: Vorschläge für eine bodenschonende und standortangepasste Technik für die oben aufgeführten Arbeitsgänge mit vermindertem Risiko

Arbeitsgang (Ag) Eingesetzte		Eingesetzte Technik	Arbeits- breite/	Achse		Fahrwerks- parameter			Verdichtungsrisiko der Ackerkrume			Verdichtungsrisiko der Krumenbasis	
			Reihen- weite		*RB	RL	KFD	je Arbeitsgang		je Arbeitsgang			
			,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,										
			[m]		[cm]	[kPa]	[kN]	ohne	mäßig	erhebl.	ohne	mäßig	erhebl.
1	Grunddüngung	Traktor 140 kW	9,00	1	60	13,7	60						
		Düngerstreuer		2	72	29,0	80						
		(Tandemachse)		3	56	25,0	160		X		X		
				4	56	25,0	160						
12	Rübenroden	Roder ohne	3,00	1	70	53,3	150						
		Bunkernutzung		2	76	35,5	130		x		x		
13	Sammeltransport	Feldtransporter 6 t	3,00	1	80	26,4	100						
				2	110	39,6	90		X		X		

^{*} RB = Radbreite, RL = Radlast, KFD = Kontaktflächendruck

In Abbildung 9 wird deutlich, dass die Veränderung der Erntetechnik oder die Begrenzung der Bunkerkapazität eine Entlastung besonders der Krumenbasis und des Unterbodens bewirkt, weil die Bodendrücke in die Tiefe deutlich reduziert werden können.

Das Beispiel zeigt, dass die für die SVGK vorgegebenen maximalen Belastungsgrenzen in der Zuckerrübenproduktion mittelfristig durchaus auch auf empfindlichen Standorten eingehalten werden können.

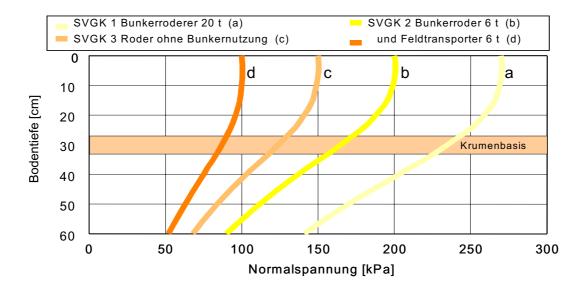


Abb. 9: Bodendruck, ausgedrückt als Normalspannung, in Abhängigkeit von der Bodentiefe bei an die Belastbarkeit der SVGK angepasster Zuckerrübenerntetechnik

Die hier vorgestellte Bewertung für die Zuckerrübentechnik liegt inzwischen vollständig für die Technik anderer Anbausysteme vor (LANDESAMT FÜR UMWELT, ... 2001).

6 Ausblick

Bei Feldarbeiten unter den klimatischen Bedingungen in Mitteleuropa muss davon ausgegangen werden, dass während bestimmter pflanzenbaulich vorgegebener Zeitspannen die Böden nicht im hoch belastbaren trockenen Zustand sind.

Deshalb kann eine Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen nur in der Weise realisiert werden, dass die Maschinen- und Fahrzeugausstattung in Zukunft den Standortbedingungen und damit dem jeweiligen Risiko angepasst wird. Gemessen an substratspezifischen ökologischen Lagerungsdichtebereichen, deren jeweiliges Level durch die Pflanzen als Indikator bestimmt wird, lässt sich eine risikoverminderte technogene Belastung im jeweils vorliegenden Bodenfeuchtezustand mittels Tabellen und Berechnungsformeln ermitteln. Das vorliegende Verfahren stellt einen Beitrag für die gute fachliche Praxis (§17 des BBodSchG) dar, die auf den Erhalt der Bodenfunktionen und eine nachhaltige Produktion gerichtet sein muss. Daraus könnte eine umweltgerechte Subventionierung der Ausstattung mit bodenschonender Technik abgeleitet werden.

Da der Landwirt nur dann dem ökologisch bewertbaren Risiko der Bodenschadverdichtung begegnen kann, wenn er über die standortspezifisch geeignete Technik verfügt, soll das Verfahren im Sinne der Vorsorge demzufolge vor allem eine Entscheidungshilfe für die mittelfristige Ausrüstung mit bodenschonenden Maschinen und Transportmitteln sein.

Die verschiedenen Konzepte der Risikoabschätzung, die z. Z. bestehen und durchaus alle ihre Berechtigung zur Bewertung verschiedener Aspekte des Bodengefüges haben, sollten harmonisiert werden. Das ist in erster Linie Aufgabe der Wissenschaft. Dazu muss eine Bewertung weiterer Bodenfunktionen wie Infiltrabilität und Filterleistung, Wasserspeicherkapazität, Luftpermeabilität u. a. in Abhängigkeit von der Bodenstruktur mittels Indikatoren vorgenommen werden.

7 Zusammenfassung

Das vorliegende Konzept zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen basiert auf einem Vergleich des Druck-Setzungsverhaltens verschiedener Böden bei definierter Belastung und der daraus resultierenden Lagerungsdichte mit den für die Pflanzenentwicklung optimal oder negativ wirkenden Lagerungsdichtebereichen im Boden.

Die Auswertung von 104 Experimenten mit gestaffelten Lagerungsdichten im Boden ergab eine signifikante Korrelation zwischen Pflanzenentwicklung und Lagerungsdichteveränderungen. Auf dieser Basis ist es möglich, für die Pflanze als Indikator vier ökologisch begründete Bereiche von optimal bis stark verdichtet abzuleiten.

Ergebnisse von Kompressions- und Schertests an diversen Böden verschiedener Korngrößenzusammensetzung bei differenzierten Humus- und Bodenfeuchtgehalten erlauben die Ableitung von fünf Schadverdichtungsgefährdungsklassen. Jede dieser standortabhängig definierten Klassen erlaubt eine bestimmte obere Belastung des jeweiligen Bodens ohne Schäden.

Die Bewertung der Achslasten und der Kontaktflächendrücke für jede landwirtschaftliche Operation sowie die Bewertung der Anzahl der Überrollungen innerhalb einer Anbaufolge macht die Risiken für sensible Standorte sichtbar. Daraus lassen sich Entscheidungshilfen für eine standortangepasste, bodenschonende Technikausstattung ableiten, die mittelfristig angestrebt werden sollte.

8 Abstract

The concept for prevention against soil compaction is based on the following steps: Soil bulk density values greater than the optimal range result in ecological damage and reduced plant/ root development. The term for this range is soil compaction of varying intensities. On the basis of long-term experiments (104 crops and density combinations), four classes of soil compaction can be determined. These ecological soil compaction classes will be interpreted with DSC-steps (Degrees of Soil Compaction).

The results of a compression and shear strength test form the basis for 5 CRC-classes (compaction risk classes) of different soil substrates. The tests are conducted using disturbed, field-moisture soil samples in cylindrical boxes. The pistil pressure indicated on the boxes resulted from 50 kPa to 500 kPa at several levels. The dominating influential factor was the soil substrate, which had different textures in all of the tests.

The loading impacts resulting from the operating gears of farm machinery and transport in various field operations and operation sequences, as well as in the respective crop rotations have been analyzed. The following traffic parameters resulted in an altered bulk density of the trafficed soils: high axial loads, high contact pressure per area, high frequency traffic. The detailed appraisal of the individual processes for different soils shows that there are many possibilities to reduce the risk of reversible topsoil without subsoil compaction. The risk of soil compaction may be reduced through the following Best Management Practices: decreasing the axial loads, increasing the contact area for wheels, and reducing or combinating wheelings.

Literatur

- AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Auflage, 392 S.
- BUNDESMINISTERIUM F. VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (eds) (2001): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. (Bund-Länder-Papier). 105 S.
- HORN, R.; J.J.H. VAN DEN AKKER, AND J. ARVIDSSON (eds) (2000): Subsoil compaction. Advances in Geology 32, 462 pp.
- LANDESAMT F. UMWELT, NATURSCHUTZ UND GEOLOGIE (eds) (2001): Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern. Bodenschadverdichtungen. 47 S.
- LIEBEROTH, I., P. DUNKELGOD, W. GUNIA, J. THIERE (1983): Auswertungsrichtlinie MMK Stand 1983. AdL. FZB Müncheberg. 55 S.
- PETELKAU, H. (1984): Auswirkungen von Schadverdichtungen auf Bodeneigenschaften und Pflanzenertrag sowie Maßnahmen zu ihrer Minderung. Tag.-Ber. AdL.
- SEIDEL, PETELKAU, H., K. M. FRIELINGHAUS (2000): Ermittlung des Verdichtungswiderstandes von Böden des Landes Brandenburg und Bewertung von Landmaschinen landwirtschaftlichen Anbauverfahren und hinsichtlich Beeinträchtigung von Bodenfunktionen durch die Verursachung von schwer regenerierbaren Schadverdichtungen. ZALF Müncheberg. F- und E-Bericht im Auftrag des MUNR des Landes Brandenburg, 145 S.
- SOMMER, C. (1998): Ein Konzept zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtungen in der der pflanzlichen Produktion. Bodenschutz 1, 12-16.
- WERNER, D. und R. PAUL (1999): Kennzeichnung der Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden. Z. Wasser und Boden **51**, 10-14.

Prof. Dr. Monika Frielinghaus, Dr. Heinz Petelkau, Dipl. Landw. Klaus Seidel ZALF e. V. Müncheberg, Institut für Bodenlandschaftsforschung Eberswalder Str. 84, D-15374 Müncheberg, e.mail: frielinghaus@zalf.de

Beratung zur guten fachlichen Praxis zum Schutz des Bodengefüges – Ansätze, Strategien, offene Fragen

Consultation for the protection of the soil structure - approaches, strategies, open questions

H. Stahl, W. Schmidt und U. Gierke

1 Einleitung

Bezüglich des landwirtschaftlichen Bodengefügeschutzes hat das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) einen eindeutigen Auftrag formuliert. So heißt es im § 17 Abs. 2 BBodSchG:

- Die Bodenstruktur ist zu erhalten und zu verbessern.
- Bodenverdichtungen sind soweit wie möglich zu vermeiden.

Soweit wie möglich vermeiden bedeutet:

- Das Handeln in der Praxis ist darauf auszurichten, dass schädliche Bodenverdichtungen möglichst nicht auftreten, d.h. gegen Null gehen, da das Regenerationsvermögen des Bodens gegenüber diesen Beeinträchtigungen sehr begrenzt bzw. schwer einschätzbar ist.
- Es ist das Mögliche zu tun, d.h. der jeweils aktuelle Stand der Technik und des Wissens ist anzuwenden.

§ 17 Abs. 1 BBodSchG gibt zudem vor, wie diese Ziele erreicht werden sollen. Dort lautet es: Die landwirtschaftlichen Beratungsstellen sollen die Grundsätze zur guten fachlichen Praxis gemäß § 17 Abs.2 BBodSchG vermitteln.

Dieser Ansatz zum Bodengefügeschutz ist praxisgerecht und erfolgversprechend. Zum einen ist er dynamisch, da eine kontinuierliche Verbesserung der guten fachlichen Praxis angestrebt wird. Zum anderen setzt er auf die Einsicht sowie ein aktives, bewusstes Handeln der Landwirte.

Der Schlüssel zum flächendeckenden Schutz des Bodengefüges ist somit die gute fachliche Praxis, die den Landwirten letztlich nur im Rahmen der Beratung und Ausbildung vermittelt werden kann. Hingegen ist nicht zu erwarten, dass im Bodengefügeschutz nachhaltige Fortschritte auf ordnungsrechtlichem Wege zu erzielen sind, da Schädigungen des Bodengefüges auf landwirtschaftlichen Flächen aller Voraussicht nach mittelfristig nicht justitiabel nachweisbar sein werden.

Aktuell sind die Grundsätze zur guten fachlichen Praxis näher konkretisiert worden (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT 2001, KTBL 1998). Bei genauer Betrachtung ist zu erkennen, dass alle hier empfohlenen Maßnahmen sowohl den Anforderungen der Vorsorge als auch denen der Gefahrenabwehr gerecht werden. Somit ist fraglich, ob auf der Basis des §17 Abs. 3 BBodSchG das

Ordnungsrecht überhaupt bemüht werden soll bzw. kann, um den Bodengefügeschutz in der Landwirtschaft voran zu treiben.

Die Strategie im landwirtschaftlichen Bodengefügeschutz muss daher auf eine Intensivierung der Beratung und Aufklärung bauen, die das Ziel hat eine Belastung des Bodengefüges möglichst zu verhindern.

2 Natürliche und betriebliche Rahmenbedingungen in Sachsen und Schwerpunkte des landwirtschaftlichen Bodengefügeschutzes

Stuft man die Böden des gesamten Ackerlandes in Sachsen gemäß der natürlichen Standorteinheiten (NStE) ein, so sind 51 % der Ackerfläche lößbestimmt, 26 % Verwitterungsböden, 21 % Diluvial-Böden aus Geschiebelehm/-mergel und Sand (z. T. mit Sandlöß Überdeckung) sowie 2 % Auenböden (LFUG 1997).

Die Ackerfläche in Sachsen (726.853 ha) wurde im Jahr 2000 zu 59 % mit Getreide (davon 24 % Winterweizen), zu 13 % mit Ackerfutter (davon 7,7 % Silomais), zu 3,6 % mit Hackfrüchten (davon 2,3 % Zuckerrüben) und zu 8 % mit Ölsaaten bestellt. Die Stillegung umfasste 11,7 % der Ackerfläche (LFL 2001).

Insgesamt wirtschaften 6.683 Betriebe (inkl. Gartenbau) in Sachsen. Davon bewirtschaften 17 % der Betriebe mit Betriebsgrößen zwischen 100 ha bis 1.000 ha rund 38 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF). 4 % der Betriebe sind größer als 1.000 ha, mit einem Anteil von 50 % an der LF.

Die Geräte- und Maschinenausstattung von 22 repräsentativen Betrieben in Sachsen zeigt, dass bei den Traktoren im Durchschnitt aller kW-Klassen und Reifenausstattungen die Radlasten der 1. und 2. Achse (unter Berücksichtigung der Standardabweichung) zwischen 10 kN und 40 kN liegen. Gleichzeitig bewegen sich die mittleren Kontaktflächendrücke, ebenfalls unter Berücksichtigung der Standardabweichung, zwischen 90 kPa und 120 kPa (Tab. 1).

Bezüglich der mittleren Kontaktflächendrücke liegen die übrigen Maschinen mit den betriebsüblichen Reifenausstattungen im Bereich von 180 kPa bis 340 kPa und damit 100 bis 200 kPa über den Traktoren (Tab. 1). Spitzenwerte erreichen die Kartoffellegemaschinen (Kontaktflächendruck im Durchschnitt rund 460 kPa). Allerdings handelt es sich hierbei um einachsige Alttechnik. Bei den Radlasten erreichen Mähdrescher und Rübenroder deutlich höhere Werte als die Traktoren, die je nach Achse zwischen 40 kN und 120 kN liegen. Die übrigen Maschinen liegen diesbezüglich auf dem Niveau der Traktoren (Tab. 1).

Tab. 1: Radlasten und mittlere Kontaktflächendrücke wichtiger Maschinen in 22 (10.000 ha LN) repräsentativen sächsischen Betrieben (Stand Frühjahr 2001, MW: Mittelwert, s: Standardabweichung)

Maschinengruppen	Radlast		Kontaktfläch	endruck	Radlast		Kontaktfläche	ndruck
(n = Anzahl Betriebe)	1. Achse		1. Achse		2. Achse		2. Achse	
	MW	s	MW	S	MW	S	MW	s
	[kN]		[kPa]		[kN]		[kPa]	
Traktoren 35-100 kW	9	1,6	98	21,7	14	1,5	81	9,9
(n=22) Traktoren 101- 150 kW (n=15)	14	2,4	77	13,2	23	3,2	83	12,6
Traktoren >150 kW (n=12)	25	10,7	86	25,5	24	2,8	76	13,3
Mähdrescher	58	15,0	213	41,2	16	5,4	141	43,6
(n=22)								
Rübenroder	61	13,8	211	40,5	89	31,4	175	61,1
(n=13)								
Kartoffelroder* (n=11)	21	3,0	238	13,2				
Kartoffellegemaschinen*	28	7,6	460	124,1				
(n=11) Feldhäcksler (n=12)	25	7,8	115	40,8	17	7,6	166	42,2
PSM-Technik,gezogen (n=20)	22	5,3	224	107,3	24	1,4	161	14,4
Transporttechnik (n=22)	26	3,8	254	27,7	26	4,8	260	21,7

^{*:} einachsige, im Anhängebetrieb gefahrene Alttechnik

Aus diesen Rahmenbedingungen ergibt sich, dass durch eine intensive Beratung von relativ wenigen Betrieben verhältnismäßig gut ein flächendeckender landwirtschaftlicher Bodengefügeschutz in die Praxis umgesetzt werden könnte. Fruchtartspezifisch sollte hierbei der Schwerpunkt des landwirtschaftlichen Bodengefügeschutzes bei den Druschfrüchten sowie dem Silomais liegen. Die Stillegung verdient besondere Beachtung aus der Sicht des natürlichen Regenerationspotenzials von Böden.

Aus der Sicht der Bodenbelastung (Tab. 1) sowie der Anbaustruktur stehen im Rahmen ackerund pflanzenbaulicher Arbeiten und Maßnahmen insbesondere das Pflügen (Furchenrad), der Mähdrusch, Pflanzenschutz und Düngung sowie der Transport im Vordergrund.

Bezüglich der Böden ist in Sachsen ein Schwerpunkt bei den lößbestimmten Standorten zu sehen, da hier gleichzeitig auch eine hohe Erosionsgefährdung vorliegt (SCHMIDT et al. 2001). Darüber hinaus wird keine Unterscheidung der Böden bezüglich ihrer Belastungsempfindlichkeit vorgenommen. Nimmt man die Vorbelastung der einzelnen Böden als Anhaltspunkt für ihre Belastbarkeit, so variiert diese, in Abhängigkeit von der Bodenart sowie vom Bodenbearbeitungssystem, in einer Spannbreite von 50 kPa bis 150 kPa, wie Literaturdaten (SEMMEL 1993, FLEIGE und HORN 2001, HORN und FLEIGE 2001), eigenen Messungen (Tab. 2) sowie der Klassifizierung der Vorbelastung nach DVWK-Merkblatt 234 (DVWK 1995) zu entnehmen ist. Diese Spannbreite entspricht der mechanischen Belastung durch die in Sachsen eingesetzten landwirtschaftlichen Fahrzeuge und Maschinen, wenn man die mittleren Kontaktflächendrücke (Tab. 1) zum Vergleich heranzieht. Potenziell besteht daher immer die Gefahr einer Überschreitung der Belastbarkeit im Spektrum aller sächsischen Böden, so dass sie folglich generell als belastungsempfindlich anzusehen sind.

3 Basisschutz Bodengefüge

In Kenntnis der landwirtschaftlichen Praxis und der aktuellen Beratungskapazitäten ist als erster Schritt im landwirtschaftlichen Bodengefügeschutz zunächst ein Basisschutz anzustreben. Dieser sollte folgenden Anforderungen gerecht werden:

- Er sollte zeitnah und flächendeckend anwendbar sein und im Betrieb nach einem einfachen Schema ohne großen Managementaufwand umsetzbar sein.
- Der Beratungsbedarf sollte nur moderat sein.
- Der Basisschutz sollte mittelfristig zur guten fachlichen Praxis werden.
- Maßnahmen sollten sich gut und einfach im Rahmen von Agrarumweltmaßnahmen (Modulation) fördern, umsetzen und überprüfen lassen.

Ein Ziel dieses Basisschutzes ist die Verbesserung der Tragfähigkeit und des natürlichen Regenerationsvermögens des Bodens. Hier ist aus sächsischer Sicht die konservierende Bodenbearbeitung eine gut geeignete Maßnahme (SCHMIDT et al. 2001).

Das andere Ziel ist die Minderung der Bodenbeanspruchung. Vorzugsweise sollte dies durch das Onland-Pflügen sowie die Vergrößerung der Reifenaufstandsflächen (Verbreiterung der Reifen und/ oder Anpassung des Reifeninnendrucks) erreicht werden.

Die fachlichen Gründe für die Schwerpunktsetzung auf diese Maßnahmen sollen nun im einzelnen erläutert werden.

3.1 Konservierende Bodenbearbeitung

Aufgrund der vorteilhaften Wirkungen der konservierenden Bodenbearbeitung auf das Bodenleben, die vertikale Durchporung sowie die Aggregatstabilität (KRÜCK et al. 2001) und auf die Wasserinfiltration bei Starkniederschlägen (ZIMMERLING et al. 2001) wird in Sachsen dieses Bodenbearbeitungssystem als zentrale Maßnahme eines vorsorgenden sowie nachhaltigen Bodenschutzes, insbesondere bezüglich Wasser- und Winderosion, empfohlen (SCHMIDT et al. 2001).

Wie der Tabelle 2 zu entnehmen ist, hat dieses Bodenbearbeitungssystem auch Auswirkungen auf die Tragfähigkeit bzw. die Stabilität des Bodengefüges, gekennzeichnet durch den Parameter Vorbelastung Pv, die gesättigte Wasserleitfähigkeit kf sowie die Trockenrohdichte TRD.

Im Pflughorizont Ap ist zu erkennen, dass die Vorbelastung auf einem Niveau von 60 kPa bis 80 kPa liegt, also 20 % bis 40 % niedriger als im rezenten Pflughorizont rAp mit Werten der Vorbelastung von 87 kPa bis 133 kPa (Tab. 2). Die niedrigen Werte nach dem Pflügen sind mit der Störung des Bodengefüges durch das Pflügen, welches ein Einzelaggregatgefüge herstellt, zu erklären. Die hohen Werte bei konservierender Bodenbearbeitung bestätigen auch die Erfahrungen aus der Praxis. Hier wird festgestellt, dass konservierend bestellte Böden im Frühjahr eher befahrbar sind und flachere Fahrspuren aufweisen. Erklärbar ist dies mit der geringeren Störung des Bodenlebens, mit höheren Aggregatstabilitäten (KRÜCK et al. 2001) sowie einem höheren Anteil vertikaler Poren, erkennbar an den kf-Werten in Tabelle 2, wobei die vertikale Porenausrichtung eine stabilisierende Funktion besitzt. Bemerkenswert ist, dass bei der Direktsaat am Standort Lüttewitz mit 133 kPa der höchste Vorbelastungswert bei gleichzeitig hohen kf-Werten gemessen wurde (Tab. 2).

Begründet ist dies durch die Tatsache, dass bei Direktsaat keine mechanischen Eingriffe in das Bodengefüge mehr stattfinden. Dies ist auch ein Hinweis dahingehend, dass Lockerungsmaßnahmen insbesondere auch in der Krumenbasis, bei denen sich die Praxis in der Regel an der Festigkeit und der Bodendichte orientiert, gut überlegt werden müssen.

Tab. 2: Vorbelastung (Pv), gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf) und Trockenrohdichte (TRD) in der Bodentiefe 20 – 25 cm (Ap- bzw. rAp-Horizont) auf mit Pflug bzw. konservierend bestellten Ackerflächen in Sachsen im Frühjahr 2001

Standort	Bodenbe- arbeitungssystem	$Pv_{pF 1,8; 45 min}$ $[kPa]$ $n = 6$	kf [cm/d] n = 6	TRD [g/cm³] n = 6
Bodenart				
Lüttewitz*	Pflug	83	258	1,32
Ut3	Direktsaat	133	441	1,47
	Konservierend (flache Lockerung)	122	460	1,62
	Konservierend (tiefe Lockerung)	113	843	1,45
Zschortau*	Pflug	59	678	1,33
Uls	Konservierend (flache Lockerung)	111	2.175	1,47
	Konservierend (tiefe Lockerung)	114	1.347	1,46
Methau	Pflug	78	642	1,31
Ut3	Konservierend	108	429	1,52
Köllitsch	Pflug	70	970	1,30
Slu	Konservierend	87	11	1,69
Littdorf	Pflug	70	104	1,45
Ut3/ Ut4	Konservierend	87	5	1,55

^{*} Bodenbearbeitungsversuche der Südzucker AG

Inwiefern diese höheren Tragfähigkeiten aus der Sicht des Bodengefüges vorteilhaft sind, lässt sich, wie oben bereits angedeutet, nur beurteilen, wenn parallel auch die Funktionalität des Bodengefüges beachtet wird. In Tabelle 2 dient hierzu die gesättigte Wasserleitfähigkeit kf. An den Standorten Lüttewitz und Zschortau ist zu erkennen, dass konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat neben der Tragfähigkeit auch die gesättigte Wasserleitfähigkeit deutlich verbessert haben.

Am Standort Methau liegt der kf-Wert bei konservierender Bearbeitung zwar niedriger als bei Bearbeitung mit dem Pflug, er bewegt sich aber auf einem hohen Niveau (Tab. 2). In Köllitsch liegt der kf-Wert in der konservierend bestellten Variante hingegen deutlich niedriger als in der Pflugvariante, und zwar bei einem kritischen Wert von 10 cm/d. Am Standort Littdorf bewegt sich der kf-Wert auf der konservierend bestellten Variante mit 5 cm/d ebenfalls deutlich unter der Pflugvariante (kf-Wert 104 cm/d, Tab. 2).

Anhand der kf-Werte wird deutlich, dass auch bei konservierender Bodenbearbeitung intensiv auf den Bodengefügeschutz geachtet werden muss. Dies um so mehr, als noch nicht hinreichend geklärt ist, ob auf konservierend bestellten Flächen infolge der dort geringeren Fahrspurtiefen nicht die Reifenkontaktflächen kleiner und somit die Kontaktflächendrücke erhöht werden. Die Daten in der Tabelle 2 zeigen, dass der Parameter Trockenrohdichte (TRD) zwar ein Anhaltspunkt für die Tragfähigkeit sein kann, aber allein betrachtet ebenso ungeeignet ist, den Zustand des Bodengefüges zu kennzeichnen wie die Vorbelastung.

Insgesamt zeigen diese Daten ähnliche Tendenzen, wie sie auch SEMMEL 1993 in seinen Untersuchungen festgestellt hat, nämlich dass konservierende Bodenbearbeitung zu günstigeren bodenphysikalischen und –mechanischen Verhältnissen im Vergleich zum Pflugeinsatz führt. Vorbehaltlich vertiefender Untersuchungen kann daher davon ausgegangen werden, dass die konservierende Bodenbearbeitung eine geeignete Basis für den Bodengefügeschutz dar stellen kann.

Tab. 3:	Flächenentwicklung	der	Mulchsaat	im	Förderprogramm	Umweltgerechte
	Landwirtschaft des Fro	eistaat	es Sachsen (v	verände	ert nach SCHMIDT et	al. 2001)

Jahr	Flächenumfang	Anteil an Ackerfläche in Sachsen* [%]		
1993/1994	4.146	0,6		
1994/1995	27.096	3,8		
1995/1996	44.585	6,3		
1996/1997	54.188	7,5		
1997/1998	74.721	10,3		
1998/1999	79.084	10,9		
1999/2000	104.672	14,4		
2000/2001	147.077	20,2		

^{*} bezogen auf 727 Tsd. ha Ackerfläche

Aus sächsischer Sicht bietet sich die Schutzmaßnahme auch insofern an, als sich die konservierende Bodenbearbeitung, u. a. infolge Förderung durch das Programm Umweltgerechte Landwirtschaft in Sachsen in Höhe von 25 €/ha, einer zunehmenden Akzeptanz erfreut. So werden heute bereits 20 % der sächsischen Ackerfläche im Rahmen dieses Agrarumweltprogramms konservierend und in Mulchsaat bestellt (Tab. 3).

3.2 Onland-Pflügen

Der größte Anteil der sächsischen Ackerfläche wird auch weiterhin gepflügt. Für diese Ackerflächen stellt sich das seit den 50iger Jahren bekannte Problem der Pflugsohlenbildung sowie der Krumenbasisverdichtungen durch die Furchenräder des Schleppers (SÖHNE 1953, FIEDLER und REISSIG 1964). Auch neuere Untersuchungen und Analysen weisen auf die Gefahren für das Bodengefüge durch die Knetung, Scherung sowie den Druck des Furchenrades hin (LEBERT und SPRINGOB 1994) und empfehlen vor diesem Hintergrund die Erfordernis des Pflügens grundsätzlich zu überdenken (HARTGE 1983). Beim konventionellen Pflügen ist insbesondere das Gefüge der Krumenbasis gefährdet, also ein Bodenhorizont, in dem die natürlichen gefügebildenden bzw. -regenerierenden Prozesse langsamer verlaufen als in der Ackerkrume. Hier sind mechanische Lockerungsmaßnahmen tiefenbedingt sehr energie- und damit kostenaufwändig. Gleichzeitig senken derartige Maßnahmen die mechanische Belastbarkeit dieses Bodenhorizonts und erhöhen somit die Verdichtungsgefahr. Daher ist für die gepflügten sächsischen Ackerflächen eine Lösung zum vorsorgenden flächendeckenden Bodengefügeschutz anzustreben. Diese muss die mit den konventionellen Bodenbearbeitungsverfahren verbundenen Gefahren für das Bodengefüge minimieren bzw. vermeiden helfen.

Vor diesem Hintergrund ist das Onland-Pflügen wirksame Maßnahme. Bisher hat dieses Verfahren allerdings noch keinen Eingang in die landwirtschaftliche Praxis in Sachsen gefunden. Da mittlerweile verbesserte Lenkhilfen für Onland-Pflüge verfügbar sind und zukünftig sicherlich noch verbessert werden, wird angestrebt, dem Onland-Pflügen über Beratung und Förderung zu einer stärkeren Verbreitung in der Praxis zu verhelfen.

Wird Onland-Pflügen zudem mit einem Absenken der Pflugtiefe auf 10-15 cm verbunden, besteht ein fließender Übergang zu konservierenden Bodenbearbeitungssystemen.

3.3 Bodendruckminderung durch Reifenverbreiterung

Tabelle 1 verdeutlicht die Höhe der mittleren Kontaktflächendrücke, die durch landwirtschaftliche Geräte und Maschinen auf das Bodengefüge übertragen werden und eine Ursache für Bodenverdichtungen sein können.

Eine Strategie zur Senkung der Kontaktflächendrücke kann die Vergrößerung der Reifenaufstandsfläche darstellen. Die Messungen des Bodendrucks unter einem Standard- und einem Terrareifen belegen die Wirksamkeit der Reifenverbreiterung (Abb. 1). Es zeigt sich in diesem Fall, dass eine Verdoppelung der Reifenbreite den Bodendruck in 20 cm Bodentiefe von 80 kPa auf 40 kPa halbiert. In Abbildung 1 ist jedoch auch erkennbar, dass der Druckabbau in tieferen Bodenschichten unter dem breiten Reifen langsamer erfolgt als unter dem schmalen Reifen. Eine Tatsache, die aus der Sicht des Schutzes des Unterbodengefüges in jedem Fall bei der Fahrwerksgestaltung mit erwogen werden sollte. Im vorliegenden Untersuchungsbeispiel ist dies aber aus der Sicht des Unterbodens nicht relevant, da in beiden Fällen die Bodendrücke unter der Vorbelastung liegen.

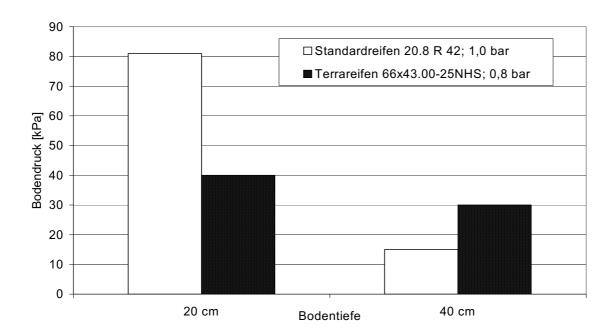


Abb. 1: Druckabbau im Boden in Abhängigkeit von der Reifenbreite (Radlast 2,3 t; Bodenfeuchte pF 2,0; Bodenart Ut3; konservierend bestellt, DMS (Dehnungsmessstreifen-Sensor)

Die in Sachsen im Jahre 2001 durchgeführten Erhebungen (Tab. 1) haben bezüglich der Reifenausstattung ergeben, dass die Betriebe bei den Breitreifen sowie dem Einsatz von Zwillingsreifen noch erhebliche Reserven aus der Sicht des vorbeugenden Bodengefügeschutzes haben, die durch Beratung und Förderung erschlossen werden sollten.

So zeigt sich bei den Traktoren (Ergebnisse nicht dargestellt), dass die Traktoren der Leistungsklasse $100-150 \, \mathrm{kW}$ an beiden Achsen nur etwa zu $20 \, \%$ mit Breitreifen ausgestattet sind. Bei den Traktoren über $150 \, \mathrm{kW}$ liegt hier der Ausstattungsgrad bei $60 \, \% - 80 \, \%$. Insbesondere in Betrieben mit $500 \, \mathrm{bis} \, 1000 \, \mathrm{ha}$ waren diese Traktoren zu $80 \, \%$ mit Breitreifen ausgestattet. Terrareifen kamen nur bei den Traktoren mit $100 \, \mathrm{kW}$ bis $150 \, \mathrm{kW}$, insbesondere nur in den Betrieben mit mehr als $1000 \, \mathrm{ha}$, bei einem geringen Ausstattungsgrad von unter $10 \, \%$, zum Einsatz. Zwillingsreifen wurden nur in den Betrieben mit über $500 \, \mathrm{ha}$ zur Verfügung gehalten. Hier können $15 \, \%$ bis $20 \, \%$ der Traktoren mit Zwillingsreifen ausgerüstet werden.

Für die Traktoren bestehen somit noch erhebliche Reserven, um über breitere Reifen sowie durch die Ankopplung von Zwillingsreifen die Bodenbelastung zu reduzieren.

Bezüglich der Mähdrescher ist festzustellen, dass diese an der Vorderachse in der Regel zu 100 % werkseitig mit Breitreifen ausgestattet sind (Abb. 2). Für die Hinterachse werden hier nur Ausstattungsgrade von 40 % bis 60 % erzielt. Terrareifen und Zwillingsreifen sind hingegen überhaupt nicht vorhanden. Insbesondere für die Vorderachse, wo Radlasten bis zu 80 kN auf das Bodengefüge einwirken, ist eine im Verhältnis zur Radlast überproportionale Erhöhung der Reifenaufstandsfläche zu empfehlen, um der großen Tiefenwirkung der Radlast sowie dem langsameren Druckabbau in die Tiefe bei breiteren Reifen (Abb. 1) entgegen zu wirken.

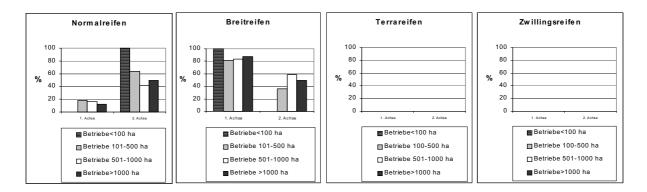


Abb. 2: Reifenausstattung von Mähdreschern bei unterschiedlicher Betriebsgröße (22 Betriebe, entsprechend 10.000 ha LN)

3.4 Bodendruckminderung durch Reifeninnendruckabsenkung

Eine weitere Möglichkeit zur Minderung der Bodenbelastung durch Fahrwerke besteht in der Reifeninnendruckabsenkung/ -anpassung, abgestimmt auf die jeweiligen Transport- und Zugkraftanforderungen. Die in Abbildung 3 dargestellten Messungen zeigen, dass mit einer Halbierung des Reifeninnendrucks etwa eine Halbierung des Bodendrucks in 20 cm Tiefe und eine Drittelung in 40 cm Tiefe erzielt werden konnte. Nimmt man die Vorbelastungen des Standortes Köllitsch (Tab. 2), an dem diese Messungen erfolgten, als Anhaltspunkt, so wird dort durch die Reifeninnendruckabsenkung der Gefahr, dass die Belastbarkeit des Bodengefüges überschritten wird, wirksam begegnet. Da Reifendruckregelanlagen in Sachsen aktuell noch kaum verbreitet sind, bietet sich diese Maßnahme zur Verbesserung des Bodengefügeschutzes im Rahmen der Beratung und Förderung an.

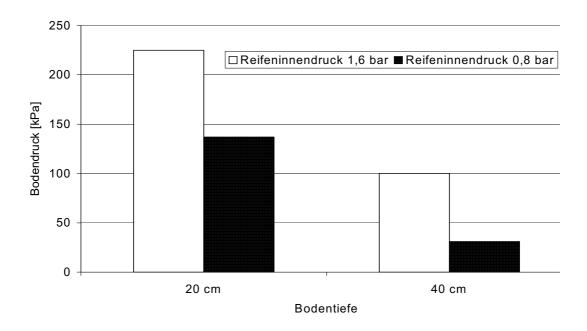


Abb. 3: Einfluss einer Reifendruckabsenkung auf die Druckausbreitung in den Boden (Reifen 710/70R38; Radlast 2,5 t; Bodenfeuchte pF 2,0; Bodenart Slu; konservierend bestellt; DMS-Sensor)

4 Standort- und betriebsspezifische Schutzkonzepte

Wenn langfristig dass Ziel erreicht werden soll, Bodengefügebelastungen soweit wie möglich zu vermeiden, ist es erforderlich über den Basisschutz hinaus standort- und betriebsspezifische Konzepte zum Bodengefügeschutz zu entwickeln (DEUTSCHER BUNDESTAG 2000). Diese sollten aus sächsischer Sicht folgende Punkte beinhalten:

- Eine schlagspezifische Schwachstellenanalyse zur Bodenbelastung,
- eine bodenfeuchte- bzw. bodentragfähigkeitsorientierte Planung der Feld- und Grünlandarbeiten,
- eine gefügeschutzorientierte Organisation aller Transporte auf dem Feld und dem Grünland,
- eine gefügeschutzorientierte Schlaggestaltung,
- Kosten/ Nutzen-Bewertungen des Bodengefügeschutzes.

Da bezüglich vieler dieser Punkte noch Forschungsbedarf besteht und aktuell nach Lösungen gesucht wird, können hier derzeit kaum praxisreife Lösungen angeboten werden. Mögliche Maßnahmen, wie z.B. die schlagspezifische Schwachstellenanalyse zur Bodenbelastung erreichen schnell Grenzen infolge des damit verbundenen hohen Beratungs- und Untersuchungsbedarfes. Daher ist dieser Bereich als eine langfristige Beratungsaufgabe anzusehen.

5 Offene Fragen

Wie dargestellt, bestehen viele offene Fragen im Bereich der standort- und betriebsspezifischen Schutzkonzepte. Besondere Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die Frage nach der Bewertung und Erfassung der Tragfähigkeit der Böden sowie die Vorhersage und Messung der Druckausbreitung im Boden unter dem Reifen.

Aktuell ist in der Fachwelt noch umstritten, inwieweit der Parameter Vorbelastung Pv geeignet ist, die Tragfähigkeit des Bodens zu kennzeichnen. Da dieser Parameter über das DVWK-Merkblatt 234 (DVWK 1995) sowie als DIN-Vornorm 19688 (DIN 2000) eingeführt ist bzw. werden soll, sollte man sich mit diesem Parameter zwar kritisch auseinander setzen, gleichzeitig aber überlegen, wie er pragmatisch und praktikabel einsetzbar ist.

So ist davon auszugehen, dass der Parameter Vorbelastung insbesondere auf der Basis modellierter Werte schwerlich ordnungsrechtlich nutzbar sein wird. Zu dieser Überlegung geben auch die in Tabelle 2 dargestellten erheblichen, vorrangig bewirtschaftungsbedingten Schwankungen der Vorbelastung an einem Standort Anlass. Andererseits besteht die Sorge, der Bodengefügeschutz würde in der Praxis und in der Industrie ohne ordnungsrechtliche Regelungen nicht ernst genommen.

Daher wird aus der Sicht der Beratung und der Steuerung des technischen Fortschritts vorgeschlagen, die Vorbelastung Pv eines Bodens als Anhaltspunkt bzw. als Orientierungsgröße für die Bodenbelastung mit folgender Maßgabe zu nutzen:

Der tiefenbezogene Bodendruck sollte kleiner allenfalls gleich der tiefenbezogenen Vorbelastung sein.

Dieser Ansatz entspricht in etwa den Überlegungen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft zum Druckbelastungsquotient. Dieser stellt den mittleren Kontaktflächendruck dem Vorbelastungswert eines Bodens an der unteren Grenze der Funktionalität des Porensystems gegenüber.

Dieses oben skizzierte Vorgehen könnte dazu genutzt werden, landwirtschaftlichen Maschinen und Geräten ein "Gefügeschutzsiegel" zu verleihen. Der Landwirt hätte so eine größere Sicherheit bei der Maschinen- und Geräteauswahl. Zudem entstünde am Markt ein Wettbewerbskriterium, welches Antrieb für den technischen Fortschritt und für Selbstbeschränkungen bzw. weiterer Bemühungen der Industrie bezüglich der Entwicklung gefügeschonender Technik sein könnte.

Weiterhin offen bleibt die Frage der ökonomischen Bewertungen zum Bodengefügeschutz, wie sie der wissenschaftliche Beirat Bodenschutz beim BMU (DEUTSCHER BUNDESTAG 2000) für die landwirtschaftliche Praxis gefordert hat. Als Hintergrund ist hier zu sehen, dass Landwirte nur Maßnahmen durchführen werden, die ihr wirtschaftliches Überleben langfristig nicht in Frage stellen. Eine berechtigte Anforderung die im Sinne der Nachhaltigkeit gemäß der Agenda 21 auch beim Bodengefügeschutz zu erfüllen ist, wenn auf diesem Gebiet Fortschritte erzielt werden sollen.

6 Fazit

In Sachsen soll ein Basisschutz des Bodengefüges durch die landwirtschaftliche Fachberatung verankert werden. Hierbei bildet die dauerhaft **Praxis** konservierende Bodenbearbeitung, auch auf Grund der steigenden Akzeptanz bei den Landwirten, einen Schwerpunkt dar. Für die konventionell bestellten Flächen soll zukünftig das in Sachsen z. Zt. noch wenig verbreitete Onland-Pflügen empfohlen werden. Durch diese Maßnahme kann, wie bei konservierender Bodenbearbeitung, ein Beitrag zu einem flächendeckenden Bodengefügeschutz geleistet werden.

Vor dem Hintergrund knapper Personal- und Finanzbudgets ist aus der Sicht des landwirtschaftlichen Bodengefügeschutzes darauf hinzuweisen, das nachhaltige Fortschritte eine intensive Beratung erfordern. Im Gegensatz dazu ist das Ordnungsrecht für den landwirtschaftlichen Bodengefügeschutz nicht das Mittel der Wahl, da dieser Bereich in absehbarer Zeit nicht justitiabel regelbar ist.

Wünschenswert wäre es daher, wenn es in § 17 Abs. 1 BBodSchG heißen könnte:

Die landwirtschaftlichen Beratungsstellen <u>müssen</u> die Grundsätze zur guten fachlichen Praxis gemäß Abs.2 vermitteln.

Im Zusammenhang mit der Beratung sollte auch überlegt werden, inwiefern der Bodengefügeschutz über Agrarumweltmaßnahmen im Rahmen der ab dem Jahre 2003 beginnenden Modulation gefördert werden kann. Hintergrund hierfür ist die Tatsache, dass die verschiedenen Maßnahmen des Basisgefügeschutzes (Breit- und Terrabereifung, Reifendruckregelanlagen, Onland-Pflüge, dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung usw.) in der Einführungsphase mit z. T. erheblichen Kosten für die Betriebe verbunden sind. Übereinstimmend mit § 21 Abs. 4 BBodSchG zu ist empfehlen auf bestimmten Ackerflächen ein Monitoring zum Bodengefüge durchzuführen, wie dies z. B. bereits in Thüringen und Bayern erfolgt. Damit wäre für die Zukunft eine hinreichend genaue Überprüfung der guten fachlichen Praxis möglich.

7 Zusammenfassung

Auf Grundlage einer Umfrage in 22 landwirtschaftlichen Betrieben und bodenphysikalischen sowie -mechanischen Messungen wird das landwirtschaftliche Schutzkonzept für das Bodengefüge begründet. Basisschutzmaßnahmen die Als werden konservierende Bodenbearbeitung, das Onland-Pflügen sowie die Reifenverbreiterung Reifeninnendruckabsenkung empfohlen. landwirtschaftlichen Insgesamt sollte im Bodengefügeschutz auf eine intensive Beratung gemäß § 17 Abs. 1 Bundes-Bodenschutzgesetz BBodSchG gesetzt werden.

8 Summary

Based on interrogations in 22 farms and on soilphysical and -mechanical measurements the agricultural conception for the protection of the soil structure is explained from the saxonian point of view. Conservation tillage, onland-ploughing as well as the enlargement of the tire and the reduction of the tire inflation pressure are recommended as basis-protection. Altogether an agricultural protection of the soil structure should be based on an intense deliberation according to § 17 No. 1 of the federal soil protection law (BBodSchG).

Danksagung

Wir danken den Betrieben, die uns die Untersuchungen ermöglicht haben.

Insbesondere der Südzucker AG wird dafür gedankt, dass die Bodenbearbeitungsversuche an den Standorten Lüttewitz und Zschortau für die Bodengefügeuntersuchungen genutzt werden konnten.

Literatur

- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT 2001: Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. Broschüre, 105 S..
- DEUTSCHER BUNDESTAG, 2000: Wege zum vorsorgenden Bodenschutz Fachliche Grundlagen und konzeptionelle Schritte für eine erweiterte Boden-Vorsorge. Gutachten des wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Drucksache 14/2834.
- DIN 2000: Bodenbeschaffenheit Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit und Verdichtungsempfindlichkeit von Böden. Vornorm DIN 19688.
- DVWK 1995: Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden. Teil I: Mechanische Belastbarkeit. Vol. 234, S. 18.
- FIEDLER, H. J. und REISSIG, H. 1964: Lehrbuch der Bodenkunde. VEB FISCHER VERLAG JENA.

- FLEIGE, H. und HORN, R. 2001: Stabilitätskennwerte von Ober- und Unterböden in Abhängigkeit von Wasserspannung, Bodenart und Gefügeform auf Basis der CA-Database "Subsoil Compaction". Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 96, 69-70 (2001).
- HARTGE, K.H. 1983: Bodenmechanische Auswirkungen des Pflügens. KALI-BRIEFE (Büntehof) 16 (6) 339-347.
- HORN, R. und FLEIGE, H. 2001: Bewertung der mechanischen Stabilität von Marschböden. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 96, 85-86 (2001).
- KRÜCK, S., NITZSCHE, O., SCHMIDT, W. und UHLIG, U. 2001: Einfluss der Bodenbearbeitung auf Bodenleben und Bodenstruktur. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 96,747-748 (2001).
- KTBL 1998: Bodenbearbeitung und Bodenschutz Schlussfolgerungen für die gute fachliche Praxis. KTBL-Arbeitspapier 266, 130 S..
- LEBERT, M. und SPRINGOB, G. 1994: Zur Rekultivierung von Lößböden (II): Wirkungen verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf die Unterbodenstruktur junger, planierter Flächen. Z. Kulturtechnik u. Landentw., 35, 300-310.
- LFL 2001: Agrar- und Forstinformationssystem Sachsen AFISS.
- LFUG 1997: Bodenatlas des Freistaates Sachsen. Teil 2: Standortkundliche Verhältnisse und Bodennutzung. Materialien zum Bodenschutz. 1997.
- SCHMIDT, W., STAHL, H., NITZSCHE, O., ZIMMERLING, B., KRÜCK, S., ZIMMERMANN, M. und RICHTER, W. 2001: Konservierende Bodenbearbeitung die zentrale Maßnahme eines vorsorgenden und nachhaltigen Bodenschutzes. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 96,791-792 (2001).
- SEMMEL, H. 1993: Auswirkungen kontrollierter Bodenbelastungen auf das Druckfortpflanzungsverhalten und physikalisch-mechanische Kenngrößen in Ackerböden. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Universität Kiel.
- SÖHNE, W. 1953: Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. Grundlagen der Landtechnik (5), 49-63.
- ZIMMERLING, B., NITZSCHE, O., SCHMIDT, W., KRÜCK, S., und ZIMMERMANN, M. 2001: Wasserinfiltration auf konventionell und konservierend bearbeiteten Ackerflächen bei Simulation von Intensivniederschlägen. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 96,771-772 (2001).

Henning Stahl, Walter Schmidt und Ulrich Gierke Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft FB Bodenkultur und Pflanzenbau Gustav-Kühn-Str. 8 04159 Leipzig e-mail: Henning.Stahl@leipzig.lfl.smul.sachsen.de

Penetrometermessungen zur Erfassung von Bodenverdichtungen, Befragung über Bodenverdichtungen und Bodenschutz in ausgewählten Regionen in NRW

Penetration resistance – Survey on soil compaction and soil protection in three North Rhine-Wesphalia regions

G. Friedrich, S. Sadowski, B. Cramer und H. Franken

1 Einleitung

Das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) regelt die Vorsorge und die Vermeidung von Bodenschadverdichtungen. Im § 17 des BBodSchG sind u.a. die Grundsätze für die standortangepaßte Bodenbearbeitung, die Erhaltung und Verbesserung der Bodenstruktur und die Vermeidung von Bodenverdichtungen und Bodenerosion aufgeführt.

Ziel der folgenden Untersuchungen war es, den Informationsstand und –bedarf der Betriebsleiter über das BBodSchG und über Bodenverdichtungen zu ermitteln sowie die Verbreitung von Bodenverdichtungen anhand von Penetrometermessungen zu erfassen.

2 Material und Methoden

2.1 Standorte

Die Befragung der Landwirte und die Eindringwiderstandsmessungen in Ackerschlägen wurden auf 85 Betrieben in den Regionen Euskirchen-Düren (30 Betriebe), Köln-Bonn (25 Betriebe) und Mettmann (30 Betriebe) durchgeführt.

Die untersuchten Regionen unterscheiden sich vor allem durch die Jahresniederschläge. Die Region Euskirchen-Düren liegt im Regenschattengebiet der Eifel und ist mit Jahresniederschlägen < 650 mm als niederschlagsarm anzusprechen. Die Region Mettmann mit mehr als 1000 mm kann als niederschlagsreiches Gebiet bezeichnet werden, während die Region Köln-Bonn mit Niederschlägen zwischen 650 mm und 900 mm im Jahr eine Mittelstellung einnimmt.

Die Böden der untersuchten Ackerschläge in den einzelnen Regionen unterscheiden sich aus ackerbaulicher Sicht kaum. Bei den Lößlandschaften im Raum Euskirchen-Düren und Mettmann handelte es sich um feinsandige bis schluffige Lehme, bei den Böden der Auenlandschaft im Raum Köln-Bonn um schluffige Lehme. Als Bodentypen waren Parabraunerden und Braunerden vertreten.

Um die Vergleichbarkeit der Messungen zu gewährleisten, wurden Ackerschläge, deren Bodenart stark vom Durchschnitt abwich, z.B. sehr sandige Lehme oder tonige Böden, nicht in die Auswertung mit einbezogen.

Die Befragung und die Penetrometermessungen wurden in den Wintermonaten der Jahre 2000 und 2001 durchgeführt.

2.2 Befragung der Betriebsleiter

Der Fragebogen umfasste 4 Bereiche:

- 1. Allgemeine Fragen zum Betrieb (Größe, Betriebsart, Maschinen-, und Arbeitskräftebesatz)
- 2. Bodenbewirtschaftung (konventionell, konservierend bzw. reduziert)
- 3. Bundesbodenschutzgesetz
- 4. Bodenverdichtungen

Die vorliegende Auswertung der Umfrage konzentriert sich auf die Bereiche Bundesbodenschutzgesetz, Bodenverdichtungen und Bodenbewirtschaftung mit folgenden Fragen:

- 1. Haben Sie vom Bundesbodenschutzgesetz erfahren?
- 2. Fühlen Sie sich über das Bundesbodenschutzgesetz informiert?
- 3. Inwiefern sehen Sie Konfliktpotential zwischen dem Bundesbodenschutzgesetz und Ihrem Bewirtschaftungssystem?
- 4. Wie oft kontrollieren Sie Ihre Flächen mit Spaten oder Bodensonde auf Bodenschadverdichtungen?
- 5. Haben Sie auf Ihren Flächen Anzeichen von Bodenschadverdichtungen beobachten können?
- 6. Wie beurteilen Sie Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung hinsichtlich der Vermeidung von Bodenschadverdichtungen?
- 7. Was hat Sie bislang davon abgehalten, auf konservierende Bodenbearbeitungsverfahren umzustellen?

Bei allen Fragen konnten die Betriebsleiter zwischen vorgegebenen Antworten wählen. Traf keine der vorgegebenen Antworten zu, so konnten sie eigene Antworten formulieren. Bei den Fragen 1, 5 und 7 waren Mehrfachnennungen möglich. Alle Betriebsleiter wurden persönlich befragt.

2.3 Eindringwiderstandsmessungen

Für die Messung des Eindringwiderstandes wurde ein elektronischer Penetrometer (Abb. 1) eingesetzt. Mit einem Penetrologger wird der Widerstand gemessen, den der Boden dem Eindringen einer Bodensonde entgegensetzt. Der eingesetzte Penetrologger ermöglicht die Erfassung des Eindringwiderstandes bis in eine Tiefe von 80 cm; die Datenerfassung erfolgt dabei in 1 cm-Abschnitten. Die gemessenen Werte werden in MPa angegeben und können während und nach der Messung sowohl graphisch wie auch numerisch angezeigt werden (Abb. 2), so daß eine sofortige Beurteilung des Bodenzustandes im Feld möglich ist. Die im Feld gewonnenen Daten werden gespeichert und können später dann auf einen PC übertragen werden.

Tiefenmessung und Eindringgeschwindigkeit (20 mm s⁻¹) werden mit Hilfe von Ultraschallwellen erfaßt, die vom Gerät auf eine auf der Bodenoberfläche liegende Metallplatte gesendet und von dieser wieder zurück zum Gerät reflektiert werden.

Je nach Bodenart und erwartetem Eindringwiderstand kann zwischen verschiedenen Sondierstangenstärken und Sondierspitzen gewählt werden. Für die hier durchgeführten Untersuchungen wurde ein Sondierkonus mit einer Meßfläche von 1 cm² und einem Winkel von 60 ° eingesetzt.

Um die Haftreibung zwischen Boden und Sondierstange so gering wie möglich zu halten, ist der äußere Durchmesser des Sondierkonus größer als der der Sondierstange. Der Penetrologger soll außerdem senkrecht in den Boden gedrückt werden; die Neigung des Gerätes kann durch eine im Gerät eingebaute Wasserwaage kontrolliert werden. Eine Überschreitung der Toleranzwerte (Abweichung um 2° von der Vertikalen) wird vom Penetrologger angezeigt.





Abb.1: Penetrologger

Abb. 2: Graphische Darstellung der Meßwerte

Der Eindringwiderstand wird durch Bodenart, Bodentyp, Lagerungsdichte und Bodenfeuchte beeinflußt. Um die Vergleichbarkeit der gemessenen Eindringwiderstände zu gewährleisten, sollten die Messungen bei 80-90 % der Feldkapazität durchgeführt werden. Dazu wurden alle Daten in den Wintermonaten bei ausreichender Bodenfeuchte erhoben. Die Bodenfeuchte wurde in 10 cm Tiefenabschnitten gravimetrisch bestimmt. Die Bodenart wurde mit Hilfe von Bodenkarten und durch Fingerprobe bestimmt.

Um die Antworten des Fragebogens nicht zu beeinflussen, wurden die Penetrometermessungen erst nach der Befragung der Betriebsleiter durchgeführt.

Pro landwirtschaftlicher Betrieb wurden 3-4 Flächen ausgewählt mit jeweils 10 Messwiederholungen pro Fläche, wobei Vorgewende und Fahrgassen ausgelassen wurden. Bei der Auswertung wurden die Meßwerte in Regionen (Euskirchen-Düren, Köln-Bonn und Mettmann) eingeteilt und nach Tiefen getrennt behandelt, um die jeweiligen Tiefenabschnitte charakterisieren zu können: Oberer Krumenbereich (0-20 cm), Krumenbasis (21-45 cm) und Unterboden (46-70 cm Tiefe).

Für die Klassifizierung der Flächen nach Verdichtungsgrad wurden Messungen, die Werte über 1,8 MPa aufwiesen, pro Fläche gezählt und in Klassen eingeteilt (Tab. 1).

Für die Klassifizierung des Eindringwiderstandes in den jeweiligen Tiefenbereichen - als Maßstab für die Stärke der Verdichtung - wurden die Werte in folgende Messbereiche eingeteilt: 1,8-2,2 MPa, 2,3-2,7 MPa, 2,8-3,3 MPa und > 3,3 MPa.

Anzahl der Messungen > 1,8 MPa	Klassifizierung der Fläche
0-1	nicht verdichtet
2-3	gering verdichtet
4-7	partiell verdichtet
8-10	überwiegend verdichtet

Tab. 1: Klassifizierung der Flächen nach Verdichtungsgrad

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Befragung der Betriebsleiter

Aus dem Fragenkatalog über das **Bundesbodenschutzgesetz** werden hier drei Fragen ausgewählt, die sich mit dem Informationsstand der Betriebsleiter über das Gesetz befassen. Der Schwerpunkt wurde dabei auf die Herkunft der Informationen gelegt.

Wie Abbildung 3 zu entnehmen ist, hat eine große Anzahl der Betriebsleiter angegeben, vom Bundesbodenschutzgesetz aus Beratungsveranstaltungen, von Beratern oder aus der Fachpresse erfahren zu haben. Bei dieser Frage waren Mehrfachnennungen möglich. Dabei ist aber zu bemerken, daß 11 % der Befragten angegeben haben, noch gar nichts über das Bundesbodenschutzgesetz erfahren zu haben, während sich aber immerhin 69 % der Befragten "grundsätzlich" oder "im Großen und Ganzen" informiert fühlen (Abb. 4). Es fühlen sich jedoch 31 % der Betriebsleiter "unzureichend" bzw. "nicht informiert", obwohl ein Teil von Ihnen vom Bundesbodenschutzgesetz erfahren hat.

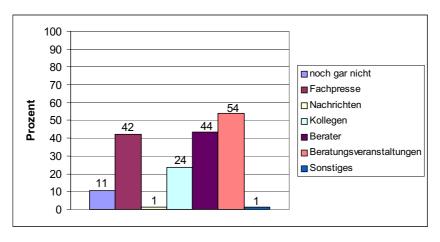


Abb. 3: Wie haben Sie vom Bundesbodenschutzgesetz erfahren?

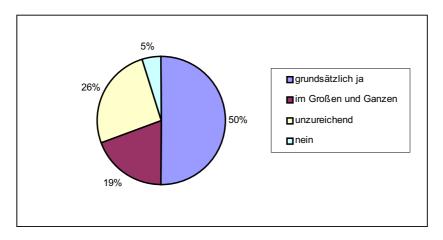


Abb. 4: Fühlen Sie sich über das Bundesbodenschutzgesetz informiert?

Abbildung 5 beantwortet die Frage "Inwiefern sehen Sie Konfliktpotential zwischen dem Bundesbodenschutzgesetz und ihrer Bewirtschaftung?" Eine große Anzahl der Betriebsleiter (59 %) gab an, kein Konfliktpotential zu sehen, davon allerdings 20 % aufgrund mangelnder Kenntnis über das Bundesbodenschutzgesetz. 33 % sehen bei Erosionsproblemen eventuelle Konflikte und 8 % erwarten Einschränkungen in ihrer Bewirtschaftung.

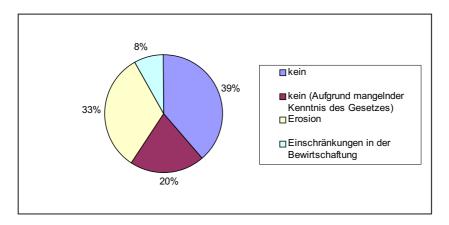


Abb. 5: Inwiefern sehen Sie Konfliktpotential zwischen dem Gesetz und Ihrer Bodenbewirtschaftung?

Dem Fragenkomplex über **Bodenschadverdichtungen** werden zwei Fragen entnommen. Die erste Frage betrifft die Kontrolle der Flächen durch den Betriebsleiter mit einfachen Methoden wie Spatendiagnose oder Handbodensonde (Abb. 6). Die Auswertung hat ergeben, dass 50 % der Betriebsleiter ihre Flächen "gar nicht" oder zuletzt während ihrer Ausbildungszeit kontrolliert haben. 36 % führen Stichproben durch und 14 % machen regelmäßig eine Spatendiagnose oder kontrollieren ihre Flächen mit einer Bodensonde. Die zweite Frage betrifft die eigene Einschätzung über das Vorkommen von Bodenschadverdichtungen auf den Betriebsflächen (Abb. 7). Dabei zeigt sich, dass 20 % der Befragten angegeben haben, keine Anzeichen für Bodenverdichtungen auf ihren Flächen zu beobachten und erwartungsgemäß eine große Anzahl (76 %) lediglich im Vorgewende. Ein relativ hoher Anteil der Befragten (21 % bzw. 15 %) hat Anzeichen dafür, daß an bestimmten Stellen oder gar auf den ganzen Parzellen Schadverdichtungen vorliegen, ohne Berücksichtigung des Vorgewendes.

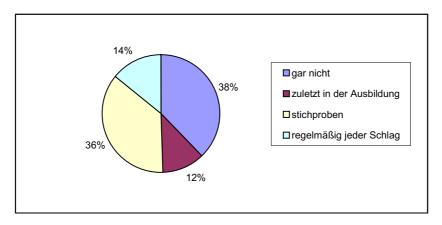


Abb. 6: Wie oft kontrollieren Sie Ihre Flächen mit Spaten oder Bodensonde auf Bodenschadverdichtungen?

Eine große Anzahl der Betriebsleiter (60 %) erachtet **konservierende Bodenbearbeitungsverfahren** hinsichtlich der Vermeidung von Bodenschadverdichtungen als "nicht besser" geeignet bzw. "nicht geeignet" (Abb. 8), die übrigen 40 % halten diese Verfahren für sehr gut geeignet.

Abbildung 9 stellt die Gründe dar, weshalb die befragten Betriebsleiter nicht auf konservierende Bodenbearbeitungsverfahren umstellen wollen. Hauptgrund ist demnach vor allem die Angst vor Krankheits- und Unkrautdruck. Etwa die Hälfte der Befragten glaubt, daß ihr bisheriges Verfahren gut funktioniert. Bei der Auswertung dieser Frage wird noch einmal deutlich, daß noch großer Beratungsbedarf besteht. So gaben 27 % bzw. 36 % eine "unzureichende Beratung" bzw. "keine Kenntnisse" über konservierenden Bearbeitungsverfahren an.

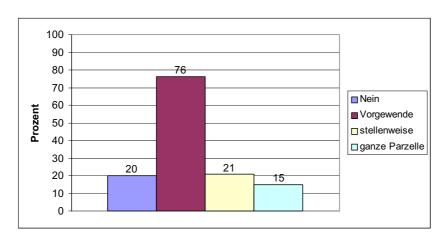


Abb. 7: Haben Sie auf Ihren Flächen Anzeichen für Bodenschadverdichtungen beobachten können?

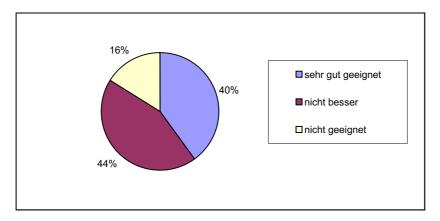


Abb. 8: Wie beurteilen Sie Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung hinsichtlich der Vermeidung von Schadverdichtungen?

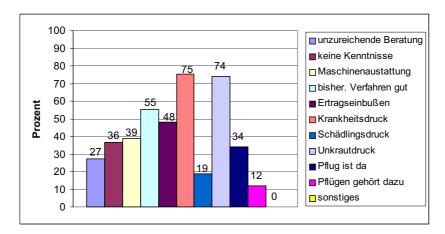


Abb. 9: Was hat Sie davon abgehalten, auf konservierende Bodenbearbeitungsverfahren umzustellen?

3.2 Eindringwiderstand

Oberer Krumenbereich (0-20 cm Tiefe)

Die Klassifizierung der Flächen (Tab. 1) hat ergeben, daß in den Regionen Euskirchen-Düren und Köln-Bonn die meisten Flächen im oberen Krumenbereich (0-20 cm) "nicht" oder nur "gering" verdichtet sind, so daß hier keine Probleme infolge von Verdichtungen zu erwarten sind. Im Raum Mettmann waren hingegen 12 % der Flächen in diesem Tiefenbereich "partiell" verdichtet, ohne Berücksichtigung der Vorgewende (Abb. 10).

Die Flächen mit Werten > 1,8 MPa waren in den einzelnen Regionen relativ gleichmäßig verteilt. 60-70 % der Werte lagen im Bereich 1,8–2,3 MPa und jeweils 20 % sogar in der Stufe 2,3-2,8 MPa, d.h. Meßwerte, bei denen mit Wachstums- und Infiltrationsstörungen zu rechnen ist (Abb. 11). Bei der Interpretation dieser Werte ist allerdings zu beachten, daß in den Räumen Euskirchen-Düren und Köln-Bonn eine geringere Anzahl von Meßkurven insgesamt Werte >1,8 MPa erreichte als im Raum Mettmann (Abb. 10).

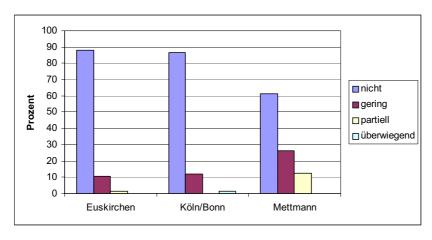


Abb. 10: Klassifizierung der Flächen nach Anzahl der Messungen mit Werten > 1,8 MPa

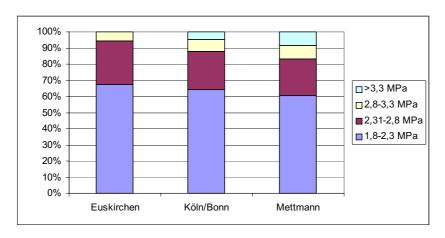


Abb. 11: Klassifizierung der Werte > 1,8 MPa im oberen Krumenbereich (0-20 cm Tiefe)

Krumenbasis (20-45 cm Tiefe)

Analog zur Auswertung im oberen Krumenbereich (0-20 cm Tiefe) ist in den folgenden Abbildungen 12 und 13 die Klassifizierung der Meßwerte für die Krumenbasis (20-45 cm Tiefe) dargestellt. Der Krumenbasisbereich wurde so gewählt, daß eine eventuell vorhandene Pflug- bzw. Schlepperradsohle immer erfaßt werden konnte. Die Werte in der Krumenbasis sind heterogener als die Werte im oberen Krumenbereich. So ist Abbildung 12 zu entnehmen, daß der Anteil der "nicht" bzw. "gering" verdichteten Flächen in allen drei Regionen wesentlich geringer ist als in der Oberkrume, dafür aber die Anteile der "partiell" bzw. "überwiegend" verdichteten Flächen prozentual höher liegen. Betrachtet man diese in den einzelnen Regionen, so ist festzustellen, daß die Gesamtanteile dieser beiden Klassen im Raum Euskirchen-Düren mit etwa 60 % geringer sind als im Raum Mettmann mit 95 %. Im Raum Mettmann liegt außerdem der Anteil der Flächen in der Klassifizierung "überwiegend verdichtet" mit 65 % am höchsten.

Abbildung 13 ist die detaillierte Klassifizierung der Werte > 1,8 MPa in den drei Regionen zu entnehmen. Auch hierbei ist darauf zu achten, daß die absolute Anzahl der Meßwerte in den einzelnen Regionen unterschiedlich ist, und zwar im Raum Euskirchen-Düren am geringsten und im Raum Mettmann am höchsten. Um so mehr fällt ins Gewicht, daß im Raum Mettmann über 55 % der Werte im Verdichtungsbereich > 2,8 MPa liegen und davon allein 40 % in der höchsten Klasse mit Werten > 3,3 MPa.

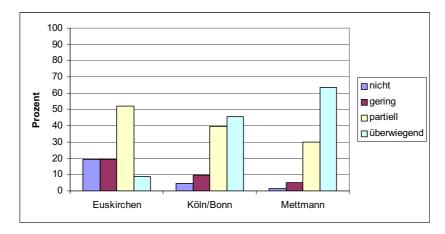


Abb. 12: Klassifizierung der Flächen nach Anzahl der Messungen mit Werten > 1,8 MPa in der Krumenbasis (20-45 cm Tiefe)

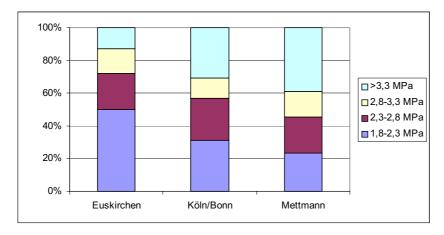


Abb. 13: Klassifizierung der Werte > 1,8 MPa in der Krumenbasis (20-45 cm Tiefe)

4 Schlussfolgerungen

In den Wintermonaten der Jahre 2000 und 2001 wurden in den Regionen Euskirchen-Düren, Köln-Bonn und Mettmann Befragungen und Penetrometermessungen in 85 Betrieben durchgeführt. Diese drei Regionen in NRW unterscheiden sich vor allem in der Höhe der Jahresniederschläge. So fallen in der Region Euskirchen-Düren weniger als 650 mm a⁻¹ und in der Region Mettmann mehr als 1000 mm a⁻¹. Die Region Köln-Bonn nimmt mit 650-900 mm a⁻¹ eine Mittelstellung ein.

Ziel der Befragung war es, zum einem den Kenntnisstand und den Informationsbedarf der Betriebsleiter über das Bundesbodenschutzgesetz und zum anderen die Einschätzung von

Bodenverdichtungen auf ihren Flächen zu erfassen. Diese Aussagen wurden dann mit den Ergebnissen der Penetrometermessungen verglichen, die zeitgleich durchgeführt wurden. Dabei wurde auch die Eignung eines digitalen Penetrologgers für Serienmessungen geprüft.

Die untersuchten Flächen wurden je nach Anzahl der Messungen mit Werten über 1,8 MPa als "nicht", "gering", "partiell" und "überwiegend" verdichtet klassifiziert. Darüber hinaus wurden die gemessenen Werte, je nach der Höhe des Eindringwiderstandes, in 0,5 MPa-Schritte eingeteilt, um die Stärke der Verdichtungen darzustellen.

Die Auswertung der Fragen über das **Bundesbodenschutzgesetz** hat ergeben, daß eine große Anzahl der Betriebsleiter vom Bundesbodenschutzgesetz erfahren hat, aber 31 % sich unzureichend oder gar nicht informiert fühlen. 39 % der befragten Betriebsleiter sehen kein Konfliktpotential zwischen ihrer Bodenbewirtschaftung und dem Bundesbodenschutzgesetz, 20 % vermuten jedoch Probleme, allerdings aufgrund mangelnder Kenntnis über das Gesetz.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, daß die Betriebsleiter noch nicht ausreichend über das Gesetz informiert sind und hier noch Beratungsbedarf besteht.

Ein Informations- und Beratungsbedarf besteht auch bei den Verfahren der **konservierenden Bodenbearbeitung**. 36 % der Betriebsleiter gaben an, keine Kenntnisse über diese Verfahren zu haben.

Hinsichtlich der Kontrolle und Einschätzung von **Bodenschadverdichtungen** auf ihren Flächen gaben 50 % der befragten Betriebsleiter an, keine regelmäßigen Kontrollen mit Spatendiagnose oder Handbodensonde durchzuführen. 50 % kontrollieren stichprobenartig (36 %) ihre Flächen oder sogar regelmäßig jeden Schlag (14 %).

Eine große Anzahl der Betriebsleiter (76 %) hat Anzeichen von Bodenschadverdichtungen lediglich in den Vorgewenden beobachtet, 20 % antworteten mit "nein". 21 % bzw. 15 % haben "stellenweise" bzw. "auf ganzen Parzellen" angekreuzt. Diese Einschätzung stimmt nicht mit den Ergebnissen der Penetrometermessungen überein. Die Auswertung ergab, daß die Einschätzung der Betriebsleiter lediglich für die Oberkrume (0-20 cm Tiefe) zutrifft, und nicht mehr für die Krumenbasis (20-45 cm Tiefe). Hier waren im Raum Euskirchen-Düren 61 % der untersuchten Flächen "partiell" oder "überwiegend" verdichtet, im Raum Köln-Bonn 85 % und in der Region Mettmann sogar 90 %. Auch die Anteile der Meßwerte > 2,3 MPa lagen sehr hoch (Abb. 13). Solche Eindringwiderstände sind auch ohne aufwendige Meßgeräte z.B. mit Spaten oder Bodensonde, leicht zu erfassen.

In allen drei Regionen ist die Krumenbasis stärker verdichtet als die Oberkrume. Dies weist auf eine große Verbreitung von Pflugsohlen- bzw. Schlepperradverdichtungen hin. Allerdings ist sowohl die Verbreitung (Abb. 12) als auch die Stärke der Verdichtungen (Abb. 13) in den Regionen sehr unterschiedlich. Da sich die Regionen bzw. die Bewirtschaftungssysteme der Betriebe nicht grundlegend voneinander unterscheiden, kann man die geringere Belastung der Böden mit den geringeren Jahresniederschlägen begründen und daraus bessere Bedingungen für die Bearbeitung und Befahrung der Flächen ableiten.

Der eingesetzte digitale Penetrologger kann unter Berücksichtigung der Einflußfaktoren Bodenfeuchte und Bodenart zur Erfassung von Bodenschadverdichtungen eingesetzt werden. Dies gilt insbesondere für die Bereiche bis 50 cm Tiefe. In tieferen Schichten könnten die Haftreibung und die Handhabung des Gerätes die Ergebnisse beeinflussen.

5 Zusammenfassung

In den Wintermonaten der Jahre 2000 und 2001 wurden in den Regionen Euskirchen-Düren, Köln-Bonn und Mettmann Befragungen und Penetrometermessungen in 85 Betrieben durchgeführt. Ziel der Befragung und Penetrometermessungen war es, zum einem den Kenntnisstand und den Informationsbedarf der Betriebsleiter über das Bundesbodenschutzgesetz und zum anderen die Verbreitung und Stärke von Bodenschadverdichtungen zu erfassen. Die drei Regionen in NRW unterscheiden sich vor allem in der Höhe der Jahresniederschläge bei ähnlichen Bodenverhältnissen.

Die Auswertung zeigt, daß die befragten Betriebsleiter noch nicht ausreichend über das Gesetz informiert sind und hier noch Beratungsbedarf besteht.

Die Einschätzung der Betriebsleiter über das Vorkommen von Bodenverdichtungen auf ihren Flächen stimmt nicht mit den Ergebnissen der Penetrometermessungen überein.

Die Verbreitung von Bodenverdichtungen, vor allem im Bereich der Pflugsohlen , ist in den drei Regionen unterschiedlich ausgeprägt. Da die Böden und die Wirtschaftungsweise nicht grundlegend verschieden sind, sind die Unterschiede mit der Höhe der Jahresniederschläge zu begründen.

6 Summary

In the winter-months of 2000 and 2001 interviews and penetration resistance measurements were conducted in 85 agricultural enterprises of the regions Euskirchen-Düren, Köln-Bonn and Mettmann. The underlying aim was on the one hand to record the farm managers' standard of knowledge and their need for information on the federal soil protection law. On the other hand the survey was aimed at registrating the spread and strength of soil compaction. The three North Rhine-Westphalia regions mainly differ in the level of annual precipitaion under similar soil conditions.

As the evaluation shows the managers questioned are not sufficiently informed about the law yet. Here a need for consulting services exists.

The managers' assessment of the occurrence of soil compaction on their fields does not correspond with the results of the penetration resistance measurements.

The three regions examined differ in the spread of soil compaction, mainly in the area of the plowsoles. Since neither the grounds nor the cultivation system used are basically different the discrepancies mentioned above can be explained by the level of annual precipitation.

Gerardo Friedrich¹, S. Sadowski², B. Cramer¹ und H. Franken¹ Institut für Pflanzenbau
Katzenburgweg 5, 53115 Bonn
² Landwirtschaftskammer Rheinland
Endenicher Allee 60, 53115 Bonn
info@landwirtschaftskammer.de

Möglichkeiten zur Verbesserung des Bodengefüges durch fruchtfolgetechnische Anbaumaßnahmen

Chances for the improvement of the soil texture by crop rotation

W. Buchner

1 Einleitung

Mit dem Inkrafttreten des Bodenschutzgesetzes im März 1998 (BMUNR 1998) und den entsprechenden Ausführungsbestimmungen der Bundes-Bodenschutz-Altlastenverordnung (BMUNR 1999) sind "Bodenschadverdichtungen" zunehmend in den Blickwinkel der Fachbehörden und der angewandten wissenschaftlichen Forschung gerückt. Schien mit dem § 17 des Bundes-Bodenschutzgesetzes zunächst die "gute fachliche Praxis der Bodenbewirtschaftung" im Hinblick auf die praktische Umsetzung in Landwirtschaft und sich hinreichend umschrieben, so zeichnen gegenwärtig Argumentationslinien zur Bewertung schädlicher Bodengefügeveränderungen ab:

- Landwirte sehen nicht zuletzt vor dem Hintergrund beachtlicher Ertragssteigerungen so wurden im Rheinland im Erntejahr 2001 nach einer durchaus ungünstigen Herbstwitterung des Vorjahres Weizenerträge bis 100 dt/ha erzielt bis dahin eingeleitete Vorsorge- bzw. Gefahrenabwehr-Strategien zur Vermeidung von Bodenverdichtungen bestätigt.
- Eine kritische Interpretation des § 2 des Bundes-Bodenschutzgesetzes ordnet andererseits dem Schutzgut Boden eine Funktionsvielfalt zu (Abb. 1), die "Ertragsund Nutzungsfunktionen" unter Abschnitt 3, Buchstabe c, zwar einschließt, nicht aber bevorrechtigt. Die Gesetzgebung fordert somit neben der Sicherung der Ertragsfähigkeit und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit die gleichrangige Berücksichtigung volkswirtschaftlicher, landeskultureller und ökologischer Regelungsfunktionen des Bodens.
- Unter den miteinander eng vernetzten Handlungsgeboten der "guten fachlichen Praxis" des § 17 BBodSchG nimmt die Vermeidung von Wind- und Wassererosionen, namentlich aber von Verdichtungen verstanden als "Gefügeveränderung mit negativen Auswirkungen auf Bodenfunktionen" (DÜRR et al. 1995) einen besonderen Stellenwert ein; insbesondere hohe Lasteinträge durch schwere Erntemaschinen werden im Sinne der vorgenannten Schutzwürdigkeit des Bodens kritisch betrachtet und u.a. Maßnahmen zur Reduzierung der Rad- bzw. Achslasten gefordert.
- Die "Grundsätze und Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung" (BMVEL 1999) des Bodenschutzgesetzes und seiner Ausführungsbestimmungen beschwören erhebliche Zielkonflikte herauf: Humusanreicherung begünstigt Nitratfreisetzung, konservierende Bodenbearbeitung

kann die Mykotoxinbelastungen des Getreides begünstigen, marktgerechte Fruchtfolgen schließen den nicht selten verdichtungsträchtigen Anbau von Blattfrüchten, wie Zuckerrüben, Kartoffeln, Mais und Feldgemüse ein, ohne dass wirtschaftliche Alternativen in der Feldfrucht-Produktion gegeben wären.

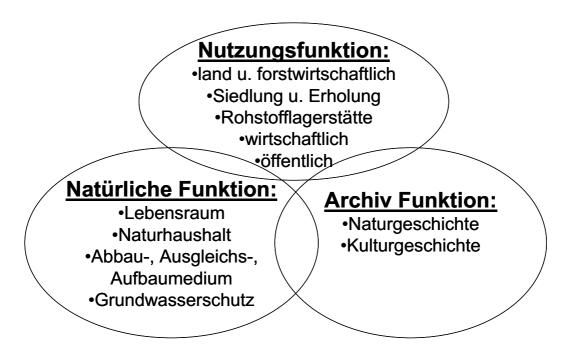


Abb. 1: Funktionen des Bodens gemäß Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG)

Nachfolgende Ausführungen beschreiben vor diesem Hintergrund Teilschritte auf dem Weg zur nachhaltigen Sicherung der Gefügestabilität von Böden in Anpassung an marktgängige Fruchtfolgen und unter Nutzung der "Handlungsspielräume" im Feldfruchtanbau; Ziel eines derartigen Bewirtschaftungsmanagements ist es, ein vorsorgliches, standortgerechtes, die Unvorhersehbarkeit des zukünftigen Witterungsverlaufes einbeziehendes Handlungskonzept zu entwickeln, das auf die physikalisch-biologische Stabilisierung des Bodengefüges ausgerichtet ist.

1 Verringerung des Wetterrisikos

Angesichts weitgespannter Zeithorizonte zur Bewältigung der Bodenbewirtschaftung (Tab. 2) ist im landwirtschaftlichen Betrieb ein zeitkritischer Maßnahmenkatalog umzusetzen; dies beginnt mit der zielsicheren Interpretation des kurz- und mittelfristigen Witterungsgeschehens und umfasst im weitesten Sinne die Bewertung langjähriger fruchtfolgespezifischer Bewirtschaftungsmaßnahmen - namentlich im Hinblick auf die Sicherung der Schutzfunktionen des Bodens. Mit der Berücksichtigung des Bodenfeuchtegehaltes - als möglichen Indikator zur Reduzierung der Schadverdichtungen dient nach praktischen Erfahrungen das Unterschreiten eines Grenzwertes von 85 % der nutzbaren Feldkapazität - ist ein erster Schritt zur Verringerung des Lasteintrages in den Unterboden vollzogen. Als Kriterium und zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenverdichtung wird indessen die nutzbare Feldkapazität – in Folge des dominierenden Einflusses der Bodenart und einer

bislang fehlenden Klassifizierungsmöglichkeit - weitgehend ausgeschlossen (LEBERT, 2002).

In der Beratung wird darauf hingewiesen, dass bzgl. des Einsatzes der Pflanzenschutzspritze, deren Lasteintrag sich je nach Breite des Gestänges auf wenige Prozentanteile der Ackerfläche beschränkt, weniger die mögliche Beeinträchtigung des Bodengefüges, als der Krankheitszustand der Pflanzen oder der optimierte Bekämpfungszeitpunkt des Schaderregers den Einsatzzeitpunkt bestimmen solle.

Tab. 2: Zeiträume, innerhalb derer sich wichtige Bodeneigenschaften und -prozesse verändern (verändert nach versch. Autoren, 1990)

Zeiträume/Jahre	Eigenschaften/Prozesse
$10^{-3} - 10^{0}$ a	Bodentemperatur
ca. wenige Stunden - Jahre	Bodenfeuchte
	Lösungstransporte
	Biologische Aktivität
$10^{1} - 10^{2}$ a	Versauerung
ca. 10 - 100 Jahre	Vergleyung
	Streuumsatz
	Strukturstabilität
$10^{2} - 10^{3}$ a	Dauerhumusgehalt
100 - 1.000 Jahre	C/N-Verhältnis
	Carbonatakkumulation
	Kationenaustauschkapazität
	FE-, Al- und Tonverlagerung
$10^{3} - 10^{4}$ a	Bodentypveränderung
1.000 - 10.000 Jahre	

Die Einbeziehung von inzwischen über Internet verfügbaren Satellitenbilder lässt das Herannahen von Niederschlagsgebieten bereits in einer Stundenauflösung erkennen, womit sich weitere Planungssicherheit ergibt. Das vom Deutschen Wetterdienst – z. B. für die Region des Rheinlandes – zusammen mit der Landwirtschaftskammer Rheinland herausgegebene Wetterfax stützt sich auf eine Vielzahl von Beratungsmodulen, die es ermöglichen, im Bereich der Mittelfristprognose gezielt bodenphysikalische und pflanzenbauliche Kenngrößen in das Bewirtschaftungsmanagement einzuschließen (Abb. 2).

Mit dem Hinweis auf die hohe Schlagkraft der Bestell- und Erntemaschinen verbindet sich nicht selten der Vorschlag, günstige Erntewitterung zu nutzen und verdichtungsträchtige Witterungsabschnitte zu meiden. Dies stößt jedoch im Zuge des überbetrieblichen Maschineneinsatzes, der Lohnunternehmertätigkeit "rund um die Uhr", der kooperativen Wirtschaftsweise mit hohen Flächenpotenzialen und knapper Bemessung des kostenträchtigen Maschinenparks zunehmend auf Engpässe: technische Innovation zur Verminderung von tiefreichenden und biologisch schwer rekultivierfähigen Bodenschadverdichtungen ist insoweit um so mehr gefordert.

WETTERFAX für die LANDWIRTSCHAFT

herausgegeben vom Deutschen Wetterdienst in Geisenheim in Zusammenarbeit mit dem Rheinischen Landwirtschafts-Verband und der Landwirtschaftskammer Rheinland



am Freitag, 4. Januar 2002

Region Köln-Aachener-Bucht

Vorhersage: Ein kräftiges Hoch bestimmt mit trockener und kalter Luft unser Wetter. Am Sonntag zieht ein Tiefausläufer von der Nordsee südwärts und bringt vorübergehend trüberes und milderes Wetter mit sich. Am Samstag herrscht sonniges Wetter mit Tagestemperaturen, die nur wenig über dem Gefrierpunkt liegen. Am Sonntag ziehen immer mehr Wolken auf, und es ist mit etwas Sprühregen oder auch mit Schneegriesel zu rechnen. Auch am Montag fällt bei trübem Wetter noch etwas Niederschlag. Ab Dienstag stellt sich bei veränderlicher Bewölkung mit heiteren Abschnitten wieder trockenes Wetter ein.

Nachtfröste gibt es fast während des gesamten Vorhersagezeitraums.

Vorhersagetag		Sa.	So.	Mo.	Di.	Mi.
vorherrschende Witterung						
tagsüber						
Höchsttemperatur 2 m	[°C]	1	2	3	4	4
Tiefsttemperatur 2 m	[°C]	-4	-5	2	-1	-2
Froststunden 0-24 Uhr (2 m	[Std]	14	11	0	8	15
Tiefsttemperatur am Boden	[°C]	-9	-10	-1	-4	-5
Bodentemperatur in 5 cm T	iefe					
mit Bestand	[°C]	0	0	0	0	0
ohne Bestand	[°C]	-1	-1	0	0	0
Sonnenscheindauer	[Std]	3	2	0	3	2
Niederschlag	[mm]	0	0 - 2	0 - 2	0	0
Wahrscheinlichkeit > 0 mm	[%]	51	84	56	37	55
Sickerwasser in 1 m Tiefe	[mm]	0	0	0	0	0
Bodenzustand [Tiefe]	0 cm	-1	-1	0	-1	-1
	3 cm	-1	0	0	0	-1
Erklärung: 1 = normal, 0 = ge	frierend, -	1 = gefrore	n			
Frosteindringtiefe						
mit Bestand	[cm]	4	4	3	3	3
ohne Bestand	[cm]	13	14	13	12	13
Wind - Richtung/	morgens	SO / 2	W / 2	W / 2	SO / 3	W / 3
Geschwindigkeit [m/s]	mittags	O/3	W/3	NW / 3	S / 4	W / 3
	abends	SO / 2	W / 2	0/3	SW / 3	W / 3

Bei der herrschenden Winterwitterung und den unterschiedlichen Schneehöhen in den Mittelgebirgsregionen stellt sich ein äußerst differenziertes Bild der Frosteindringtiefe dar: Unter Schnee ist die der Frost nur wenige Zentimeter in den Boden eingedrungen. Unter Acker ergibt sich zum Beispiel für die mittleren Böden (sandige Lehme) des Versuchsgutes Wahn ohne Schneeauflage eine Frosteindringtiefe bei Senfzwischenfrucht von 6-9 cm, Winterfurche 9-12 cm, Wintergerste 7-9 cm, Grünland mit längerem Grasaufwuchs 1-3 cm, Grünland kurz 2-4 cm, Grünland sehr kurz 4-5 cm. Die Frosteindringtiefe wird sich bei tagsüber geringern Minusgraden nur langsam nach unten bewegen.

Daraus folgt, dass eine nur den oberen Krumenbereich auflockernde Frostgare auf mittleren und schweren Böden stattfindet, während die Pflugsohlenhorizonte derzeit nicht erreicht werden. Die

Abb. 2: Beispiel für ein "Wetterfax für die Landwirtschaft"

3 Inventarisierung der "Ressource" Boden

Während für den Bereich der Düngung und des Pflanzenschutzes die Maßnahmen der guten fachlichen Praxis durch den Gesetz- und Verordnungsgeber bereits weitgehender für die praktische Landwirtschaft vorgegeben wurden, gewinnt die Vorsorgestrategie zur Erhaltung der Schutzfunktionen im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes und entsprechender Ausführungsbestimmungen nunmehr zusätzliches Gewicht. Den eigentlichen technischen und pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Gefügestabilisierung sollte eine gründliche Inventur und Inventarisierung der "Ressource" Boden vorangestellt werden. Im Zeichen der sich ständig vergrößernden Betriebe richtet sich der Blick des Landwirtes "von der eigenen Scholle" nunmehr vielerorts auf die Betriebsflächen des Kooperationspartners oder der Betriebsgemeinschaft; die in bäuerlichen Familien über Generationen gewonnenen standörtlichen Erfahrungen müssen nun um Erkenntnisse zur Befahrbarkeit, Bearbeitbarkeit, Trag- und Ertragsfähigkeit neuer Flächenpotenziale erweitert werden.

Die Bewertung der Böden nach ihrer Korngrößenzusammensetzung gewinnt im Zuge der ordnungsgemäßen Düngung entscheidendes Gewicht zur Optimierung der Grundnährstoffversorgung und des pH-Wertes. So orientiert sich der anzustrebende pH-Wert auf Ackerland sowohl an der Bodenart, als auch am Humusgehalt und der Bearbeitungstiefe (Tab. 2).

Tab.2:	Anzustrebende	pH-Werte	auf	Ackerland	in	Abhängigkeit	von	Bodenart	und
	Humusgehalt								

Bodenart 1)	anzustrebender pH-Wert bei einem	bei großem Kalkbedarf sind folgende jährliche	Erhaltungskalkung für eine 3-jährige
	Humusgehalt	Höchstgaben nicht zu	Fruchtfolge
	von bis 4 %	überschreiten	(Anhaltswerte)
		kg/ha CaO	kg/ha CaO ²⁾
S	5,6	1.000	600
IS, sU	6,0	1.500	900
ssL, IU	6,4	2.000	1.100
sL, uL, L	6,8	3.000	1.300
utL, tL, T	7,0	4.000	1.600

- 1) Bodenart und Humusgehalt werden zumeist routinemäßig geschätzt. Genaue Angaben sind nur durch eine (einmalige) zusätzliche Analyse möglich.
- 2) Der Kalkbedarf wird unter Berücksichtigung des Aufkalkungszieles in dt/ha Rein-CaO angegeben und für eine Krumenmächtigkeit von 28 cm berechnet. Bei größerer Bearbeitungstiefe sind Zuschläge erforderlich (z.B. 25 % bei einer Pflugtiefe von 35 cm). Finden Kohlensaure Kalke Verwendung, ist eine Umrechnung von CaO auf CaCO3 erforderlich (1 dt CaO = 1,78 CaCO3, 1dt CaCO3 = 0,56 dt CaO).

Quelle: Empfehlungen für die Düngung von Acker- und Grünland nach Bodenuntersuchung, Dr. Detlev v. Fischer 1995

Dem Einsatz von sog. Stechzylindern zur Beschreibung des Porenraumes und der Wasserleitfähigkeit von Böden kommt – gestützt auf eine Vorerkundung im Felde mit Hilfe der Handsonde und des Spatens – zukünftig ein höherer Stellenwert zu (BUCHNER 2000). Die Funktion der Bodenhohlräume muss zukünftig stärker in das Bewirtschaftungsmanagement zur Sicherung der Gefügestruktur einbezogen werden. Es ist angezeigt, dass z. B. die Bodenkundliche Kartieranleitung (AG Boden, 1994) über ihre Verwendung in der Feldkartierung hinaus stärker in die Beratungsaktivität spezialisierter Ackerbauberater eingebunden wird.

Rechnergestützte Bodenwiderstandsmessgeräte sind dazu geeignet, in vergleichenden Untersuchungen Bodenschadverdichtungen nach Tiefe und Mächtigkeit zu sondieren und grafisch darzustellen. Die Handhabung derer wird von BUCHNER und KÖLLER (1993) im Sinne der integrierten Bodenbearbeitung beschrieben. Die in Abb. 3 vergleichend dargestellten Eindringwiderstände auf einem langjährig wendend bzw. bewirtschafteten Feldschlag der Niederterrasse des Rheines zeigen, dass die "Problemzonen" bei nicht-wendender Bodenbewirtschaftung im Bereich einer noch vorhandenen Krumenbasisverdichtung zu orten ist; unter Pflugeinsatz sind hingegen Dichtlagerungen Bereich des Unterbodens lokalisierbar, so dass entsprechende Lockerungsmaßnahmen hierauf gezielt ausgerichtet werden können (WEYER und BUCHNER, 1998).

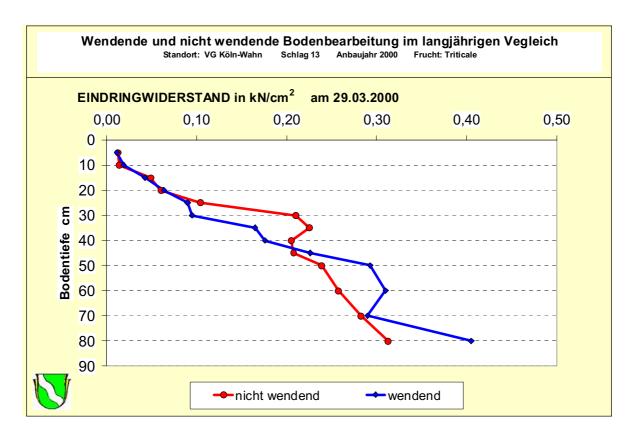


Abb. 3: Wendende und nicht wendende Bodenbearbeitung im langjährigen Vergleich

4 Gezielte Integration von Lockerungseingriffen

Die in der Praxis nicht selten zu beobachtende systematische Lockerung von Böden – z. B. durch zielorientierte und ressourcenschonende Getreideernte – muss Aufbruchmaßnahmen ersetzt werden. Insbesondere gilt es, die Eingriffe, die nach "physikalischem Aufbruch" stets die biologische Lebendverbauung benötigen, auf ein Mindestmaß zu begrenzen: sofern Böden wurzelwegsam stabilisiert sind, erübrigen sich vielerorts energie- und zeitraubende Lockerungsmaßnahmen. Eingebunden in die spezifische Fruchtfolge des Betriebes geht es darum, eine ausreichende Wasserinfiltration – nicht zuletzt auch im Sinne des Grund- und Oberflächenwasserschutzes - durch Aufbau eines funktionierenden Hohlraumgefüges sicherzustellen. Die notwendigen Oberund Unterbodenlockerungsmaßnahmen sollten an dem Ausmaß und der Mächtigkeit von Schadverdichtungszonen ausgerichtet werden (Abb. 4).

Eingriffstiefe bei Ober- und Unterbodenlockerungsmaßnahmen					
Oberbodenlockerung: Ackerkrume, Fahrspuren					
Krumenbasislockerung:	Pflug- und Schlepperradsohlen				
Tieflockerung:	flächenhaftes Aufbrechen und Anheben eines mind. 40 cm tiefen Bodenbereiches				
Tiefpflügen:	Unterfahren und Umwenden von mind. 60 cm tiefen Bodenbereichen				

Die Durchführung von Tieflockerungsmaßnahmen ist im Abschnitt 6 "Unterbodenmelioration" der DIN 1185, Blatt 1 des Fachnormenausschusses Wasserwesen (Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth-Verlag GmbH, Berlin und Köln, Burggrafenstr. 6, 10772 Berlin) eingehend erläutert.

Abb. 4: Eingriffstiefe bei Ober- und Unterbodenlockerungsmaßnahmen

Lockerungseingriffe sind vorzusehen:

- bei verdichteten Böden mit durchlässigem Untergrund, wenn durch gezielte Lockerung der verpressten Horizonte und Schichten ein ausreichender Wasserabzug im Untergrund gewährleistet wird
- auf Böden mit mächtigen Dichtungsschichten oder Horizonten in Kombination mit Rohrdrainung.

Hingegen sind Tieflockerungen in der Regel wenig erfolgreich:

- bei feucht-plastischen tonreichen Böden
- bei Podsolen
- bei schluffreichen Böden mit Tongehalten unter 17 %.

Die Sondermaßnahmen auf rekultivierten Böden – wie sie für das rheinische Braunkohlenrevier auch auf Abbaustandorte in Mitteldeutschland gebräuchlich sind – unterliegen gesonderten Regeln, die an dieser Stelle nicht vertieft werden können.

Lockerungseingriffe führen nur dann zu irreversiblen, mechanischen Aufbrüchen der kompakten Bodenbereiche, wenn der Bodenfeuchtegehalt zum Zeitpunkt des Eingriffes unter 50 % der nutzbaren Feldkapazität liegt; mit dem nachfolgenden Anbau tiefwurzelnder Zwischenfrüchte – Körnerraps, Luzerne, Ölrettich, Marktstammkohl, Sonnenblumen, auf Rekultivierungsflächen auch Steinklee – wird der biologischen Stabilisierung des Bodengefüges Rechnung getragen. Als grundlegende Voraussetzung gilt, dass die Lockerungsbereiche bei höherem Feuchtezustand durch "plastisches Zusammenfließen" letztendlich umso nachteiliger beeinflusst werden (HARTGE, K.H. und SOMMER, C., 1979).

5 Nutzung fruchtfolgespezifischer Eingriffszeiten zur Gefügestabilisierung

Am Beispiel der in den Ackerbauregionen des Rheinlandes vielerorts praktizierten Marktfruchtfolge: Zuckerrüben/Silomais-Kartoffeln-Winterweizen mit Zwischenfruchtanbau sollen die Handlungsspielräume zur zielgerichteten Gefügestabilisierung aufgezeigt werden 5). Hierbei schränkt der hohe Blattfruchtanteil die Möglichkeiten Zwischenfruchtanbau auf den Zeitraum nach der Winterweizenernte ein. Lockerungsmaßnahmen, die dem Aufbruch von mind. 40 cm tiefen Bodenbereichen dienen (sog. Tieflockerung), sind nach den Kulturen Zuckerrüben/Silomais wegen der dann in aller Regel vorherrschenden höheren Bodenfeuchte nicht wirksam durchzuführen. Umso mehr gilt den Zuckerrübenund Silomaisanbau im Rahmen des Mulchsaatverfahrens durchzuführen, um den Zeitraum der "eingriffsfreien" Bodenruhe humusschonend auszuweiten: die Etablierung der Zwischenfrucht nach der Getreideernte kann das vertikal strukturierte Poren- und Wurzelsystem bis zum Zeitpunkt der Zuckerrüben- und Maisernte stabilisieren. Damit wird zugleich der Auflast schwerer Erntemaschinen ein wirksamer Moment der aktiven "Vorbelastung" entgegengesetzt (SCHRADER, 2001).

Im Sinne ungestörter Regenwurmaktivität und möglichst geringer Beeinträchtigung des Infiltrationsvermögens der Böden sollte auf tiefwendende Bodenbearbeitung nach der Zuckerrüben- und Maisernte möglichst verzichtet werden. Die Kartoffel wird in dem vorgenannten Fruchtfolgebeispiel der Zuckerrübe nachgestellt, um ein Bekämpfen von Durchwuchsknollen im nachfolgenden Winterweizenanbau auf chemischem Wege sicherzustellen. Es zeigt sich, dass in milden Wintern das "Zerfrieren" über die Siebketten nicht erfassten Kartoffeln vielerorts nicht gewährleistet war, so dass im nachfolgenden Kartoffelanbau erhebliche Handarbeit zur Bereinigung des Durchwuchses notwendig wurde. Insoweit bietet sich die Umkehr dieser beiden Fruchtfolgeglieder an.

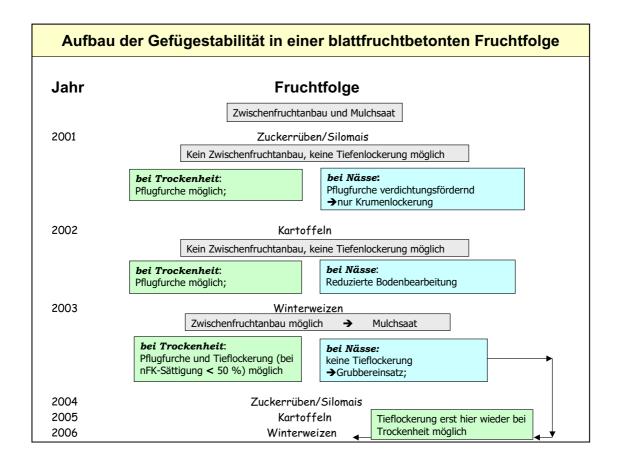


Abb. 5: Aufbau der Gefügestabilität in einer blattfruchtbetonten Fruchtfolge

Die pfluglose Bestellung des Winterweizens in die Gare der abgeernteten Kartoffelböden ist vielerorts gebräuchlich. Treten hingegen witterungsgedingt doch erhebliche Bodenschäden im Zuge der Erntemaßnahmen auf, so sollte im Einzelfall die Flächenstilllegung als "Ganz-Jahres-Strategie" zur Gewährleistung der Bodenruhe in Verbindung mit aktiven Begrünungsund Lockerungsmaßnahmen eingeplant werden. Weitere zukünftige Entwicklungen könnten auch die herbstliche Begrünung insbesondere nach Frühkartoffeln und eine nachfolgende Mulchsaat von Sommerweizen auf tiefgründigen Lößstandorten einbeziehen.

Das Fruchtfolgebeispiel macht indessen auch deutlich, dass bei ungünstiger Witterung - die gezielte Lockerungsmaßnahmen aufgrund zu hoher Bodenfeuchte ausschließt - die Handlungs- und Eingriffszeiträume im Rahmen einer mehrjährigen Fruchtfolge auf Einzeljahre beschränkt bleiben; daraus folgt, dass in Abhängigkeit von Fruchtfolgeplanung und Bodengüte eine sehr langfristige Strategie zur Sicherung der Standortproduktivität angewandt werden muss.

Zusammenfassung

Die Gestaltung der Fruchtfolgen orientiert sich an den Bedürfnissen des Marktes unter Beachtung des standortspezifischen Klimas und der verfügbaren Bodenressource.

Das tägliche Bewirtschaftungsmanagement stützt sich auf die aktive Einbindung des Witterungsgeschehens, insbesondere der kurzen und mittelfristigen Wetterprognosen. Hierbei leisten Vorhersagedienste und Prognosemodelle wertvolle Hilfe.

Die "Ressource" Boden muss vor dem Hintergrund langjähriger Erfahrungen und mit Hilfe geeigneter Analysen, die zukünftig stärker um bodenkundliche Parameter zu erweitern sind, exakt erfasst werden.

Bodenartspezifische Lockerungsmaßnahmen unter Beachtung der Bodenfeuchte und eingebunden in das vom Marktgeschehen abhängige orientierte Anbauspektrum der Feldfrüchte sind ein wichtiger Baustein zur Gefügestabilisierung.

Innovative Agrartechnik, die von den Unternehmen der Landmaschinenindustrie mit hohem Qualitäts- und Entwicklungsstandard angeboten wird, kann hohe Synergieeffekte im Zusammenwirken von Landtechnik und Ackerbau zur weitgehenden Vermeidung von Bodenschadverdichtungen sicherstellen.

Abstract

The organization of crop rotations follows the needs of the market with consideration of the location-specific climate as well as available soil resources.

The daily cultivation management is based upon the active integration of the weather conditions, in particular the short-term and medium-term weather forecast. The electronic media, forecast services an on-line forecast models provide such a valuable service.

Soil as a resource has to be described accurately based on long term observation using suitable analyses. These methods schould be extended to include more pedological parameters in the future.

Soil-specific loosening measures which consider the soil moiture and which are integrated into the market-orientated cultivation spectrum of the field crops are an important building block for structure stabilization.

Innovative agricultural technices as offered by all expert enterprises at high quality can guarantee great synergetic effects resulting from cooperation of agricultural technic and agriculture.

Literaturangaben

AG Boden (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Aufl., E. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart

BMUNR (1998): Bundesbodenschutzgesetz: Gesetz zum Schutz des Bodens vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG vom 17. März 1998)

- BMUNR (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999
- BMVEL (1999): Grundsätze und Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung, Broschüre, 24 Seiten, Bundesanzeiger-Nr. 73 vom 20.04.1999
- BUCHNER, W. und KÖLLER; K.H. (1993): Integrierte Bodenbearbeitung, Ulmer-Verlag, Stuttgart, 126 Seiten
- BUCHNER, W., (2000): Bodenschutz im Brennpunkt, DLZ-Agrarmagazin 14, S. 20-25
- DÜRR, H.-J. et al. (1995): Literaturstudie "Bodenverdichtung"-UBA-Texte 55/95, 203 Seiten
- HARTGE, K.H. und SOMMER, C. (1979): Bodenverdichtungen und ihre Beurteilungen, Z: Kulturtechnik und Flurbereinigung, 20, 257 bis 268
- LEBERT, M. (2002): Mündliche Mitteilung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Betriebstechnik und Bauforschung
- SCHRADER, ST. (2001): Ackerboden als Nutz- und Schutzgut aus ökologischer Sicht, Wasser & Boden, 53/9,4-8 Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin
- WEYER, TH. und BUCHNER, W. (1998): Bodenschadverdichtungen: Ausmaß, Wirkungen und Lösungsansätze. in: Bodenbewirtschaftung im Umbruch, Fachtagung der Universität-GH Paderborn, Fachbereich Agrarwirtschaft, am 08./09.05.2001

Prof. Dr. Werner Buchner Landwirtschaftskammer Rheinland, Referat Landbau, Endenicher Allee 60, 53115 Bonn werner.buchner@lwk-rheinland.nrw.de

Ein praxisorientiertes Konzept mit Lösungsansätzen und Ergebnissen zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen

A practice-oriented concept with solutions and results to the precaution against soil compaction

J. Brunotte, C. Sommer und M. Lebert

1 Einleitung

Rationalisierung und Anforderungen an eine verbesserte Arbeitsqualität haben bei der Landtechnik in den letzten 30 Jahren zu größeren Einheiten und mehr Hightech geführt. So werden heute z.B. die Zuckerrüben 6- statt 1-reihig gerodet bei Erträgen, die im Durchschnitt von 400 auf 550 dt/ha angestiegen sind. Dies hat andererseits zu einer Zunahme der Gesamtmassen von Erntemaschinen und Transportfahrzeugen geführt.

Hohe Radlasten führen zu dem Risiko von Bodenschadverdichtungen auch in größeren Bodentiefen, wenn Böden unter feuchten Bodenbedingungen befahren werden. Um Bodenfunktionen (Produktions,- Regelungs- und Lebensraumfunktion) nachhaltig zu sichern, bedarf es deshalb eines Vorsorge-Konzeptes zur Verminderung von Bodenschadverdichtungen. Ein solches Konzept für "Bodenschonendes Befahren" ist in der FAL theoretisch fundiert und im Rahmen von Felduntersuchungen unter Praxisbedingungen entwickelt worden.

2 Lösungsansätze und Beispiele aus dem Konzept für bodenschonendes Befahren

Literaturrecherchen (SOMMER 1974, DÜRR et al. 1995, KTBL 1998, BMVEL 2001) und Ergebnisse aus Praxisversuchen haben in einem Konzept vier Bausteine zusammengestellt (Abb. 1), die dem Landwirt und Berater Handlungsempfehlungen für betriebs-, standort- und fruchtfolgespezifische Bewirtschaftung aufzeigen sollen:

- 1. Verbesserung der Belastbarkeit des Bodens
- 2. Nutzung technischer Möglichkeiten
- 3. Anpassung von Arbeitsverfahren
- 4. Begrenzung der mechanischen Belastung

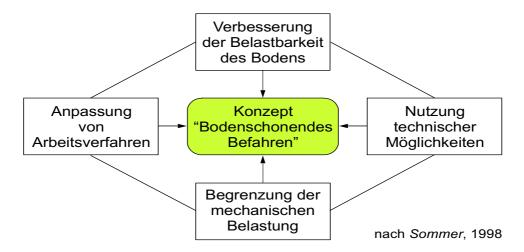


Abb. 1: Konzept "Bodenschonendes Befahren"

Im Folgenden werden Beispiele für Handlungsempfehlungen zu den vier Bausteinen genannt (Brunotte 2000, Sommer 1998).

2.1 Verbesserung der Belastbarkeit des Bodens

Mit schonender, nichtwendender Lockerung durch konservierende Bodenbearbeitung (Schichtengrubber, Parapflug) gelingt es im Vergleich zur Bodenbearbeitung mit Pflug das Bodengefüge weniger zu stören und damit die Tragfähigkeit zu erhöhen. Das Gefüge lagert insgesamt dichter, ohne dass jedoch mit Ertragseinbußen zu rechnen ist. Die Rückstände an der Oberfläche fördern die biologische Aktivität des Bodens, insbesondere die der Regenwürmer, die den Gas- und Wasserhaushalt sicherstellen.

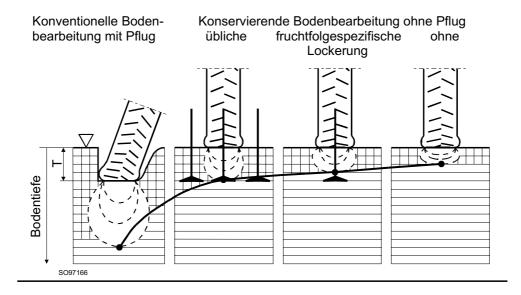


Abb. 2: Tiefenwirkung des Bodendrucks in Abhängigkeit von Bearbeitungsverfahren und Geräteeinsatz

Das Beispiel mit Druckzwiebeln (Abbildung 2) verdeutlicht die Tiefenwirkung einer Bodenbelastung. Am tiefsten reicht sie beim Pflügen mit hoher Radlast in der Furche. Weniger tief reicht sie bei nichtwendender Lockerung, die die Fähigkeit Lasten zu tragen stärkt. So ist die Art der Bodenbearbeitung wesentlich für das Ausmaß von Bodenschadverdichtungen verantwortlich und ist ein wichtiger Bestandteil der Vorsorge.

Zu den Möglichkeiten, die Belastbarkeit von Böden zu verbessern, zählt auch das Befahren und Bearbeiten bei günstigem Bodenzustand (Bodenfeuchte). Dies setzt Vorhalten von Schlagkraft voraus.

2.2 Nutzung technischer Möglichkeiten

Neue Radialreifen als Breit- und Terrareifen führen bei geringem Reifeninnendruck zu einer starken Abplattung des Reifens, damit zu einer Erhöhung der Reifenaufstandsfläche und so zu einer Verringerung des Kontaktflächendruckes. Dies führt insbesondere in der Ackerkrume zu geringem Bodendruck. Sinnvoll ist zukünftig eine lastabhängige Reifendruckregelanlage, um von technischer Seite immer den geringstmöglichen Innendruck zu fahren.

Jüngere Fahrwerksentwicklungen sind Gummibandlaufwerke, Dreispurfahrzeuge und Fahrwerke mit Knickgelenk, welche die Gesamtlast über breite Terrareifen z. T. auf 130 % der Arbeitsbreite abstützen (Abbildung 3). Dies schont aufgrund geringer Überrollhäufigkeit den Boden und hinterlässt eine ebene Ackeroberfläche mit positiven Effekten für eine sich anschließende Bestellung.

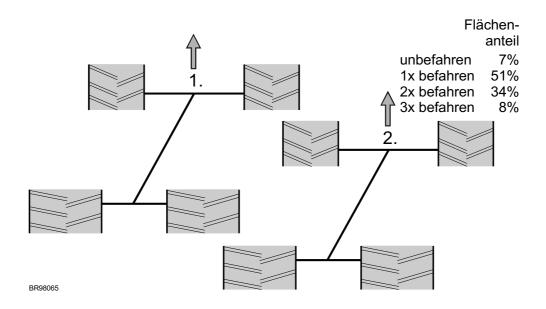
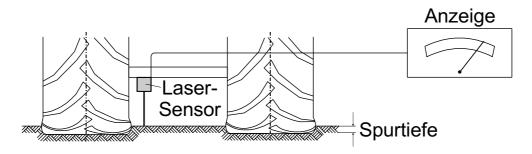


Abb. 3: Spurflächenanteil eines 6-reihigen Köpfrodebunkers mit Knickgelenk und ganz versetzter Spur

Beim Zuckerrübenvollernter ermöglichen neue Köpfsysteme, wie z. B. der Integralschlegler das Roden von einer Seite. Dies entlastet das Vorgewende und beeinflusst die folgenden Arbeitsverfahren positiv.

Der entwickelte Befahrbarkeitssensor (Abbildung 4) ist eine erste technische Lösung, die **online** die Spurtiefe z. B. des Rübenroders an der Vorderachse dem Fahrer anzeigt und damit einen Hinweis zur aktuellen Befahrbarkeit und zum Krumenschutz liefert. Eine Weiterentwicklung soll berührungslos die Veränderung der Bodenstruktur in standortspezieller Tiefe anzeigen.



Vorderräder von 6-reih. Köpfrodebunker

Abb. 4: Lasersensor als technische Lösung eines "Befahrbarkeitssensors"

2.3 Anpassung von Arbeitsverfahren

Beim Onland-Pflügen kommt es zu einer geringeren Beanspruchung des Unterbodens. Evtl. Krumenverdichtungen werden durch die Bodenbearbeitung wieder aufgebrochen. Sensoren helfen beim sicheren Fahren an der Furchenkante. Probleme für die Traktion ergeben sich nur bei sehr lockerem bzw. feuchtem Oberboden. Insgesamt ist natürlich ein gepflügter Boden verdichtungsempfindlicher als ein schonend gelockerter Boden.



Abb. 5: "Rodesaat": Zuckerrübenernte mit Weizenbestellung in direkter Folge als Mulchsaat

Das Zusammenlegen von Arbeitsgängen gelingt besonders gut bei der "Rodesaat" (Abbildung 5): Hier werden am Rübenroder die technischen Ausrüstungen wie Terrareifen, Knickgelenk und Integralschlegler genutzt, um von einer Feldseite zu roden und eine Bestellung in direkter Folge zu ermöglichen. Im seitlichen Abstand von 5-10 m folgt der Bestellschlepper mit Frontgrubber, Kreiselgrubber und Rollscharsämaschine. Der Mulchsaat zur Zuckerrübe folgt eine Mulchsaat zum Winterweizen mit den positiven Folgen einer verbesserten Tragfähigkeit. Das Wetterrisiko zwischen Ernten und Bestellen wird nahezu ausgeschaltet und macht eine Pflugfurche überflüssig.

"Gezielte Heterogenität" wird bei der Bestellung angelegt, indem in gezielt rückverfestigten Saatzeilen das Saatkorn mit gutem Anschluss an das Kapillarsystem abgelegt wird. Die Zwischenräume werden von der Rückverfestigung ausgespart und lagern locker für eine erhöhte Wasserinfiltration. Die Wurzeln suchen sich selbst "die günstigeren Wachstumsbedingungen": bei Trockenheit die kapillarwasserführende Saatzeile, bei Nässe den lockeren sauerstoffführenden Zwischenraum.

Fahrgassensysteme sind im Getreide seit langem etabliert. In Reihenfrüchten wie Zuckerrüben und Kartoffeln liefern sie den breiten Standardreifen Platz (Abbildung 6). Wird gleichzeitig von einer Anbauspritze auf eine Anhängespritze übergegangen, kann aufgrund einer zusätzlichen Radlastminderung der Reifeninnendruck auf ca. 1 bar gesenkt werden und erlaubt auch in Fahrgassen ein bodenschonendes Befahren. Erfahrungen zeigen, dass durch Mulchsaaten auch in Fahrgassen den Regenwürmern ausreichende Lebensbedingungen angeboten werden.

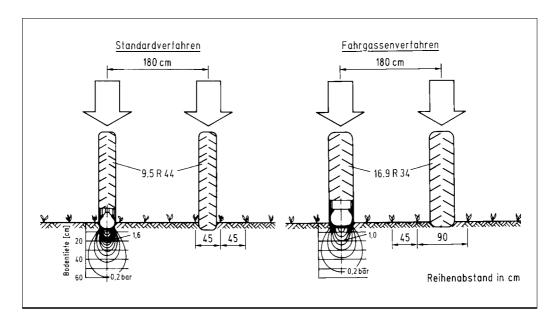


Abb. 6: Fahrgassensystem bei Reihenfrüchten = Voraussetzung für "Bodenschonendes Befahren"

2.4 Begrenzung der mechanischen Belastung

Die Optimierung der Schlaglängen wird z. Z. in einer KTBL-Arbeitsgruppe für die einzelnen Früchte erarbeitet. Dabei werden Bunker- und Parallelverfahren kritisch hinsichtlich Kostensenkung und Bodenschonung beleuchtet.

Der Befahrbarkeitssensor zeigt an, wenn hohe Belastungen und kritische Bodenzustände zusammentreffen. In diesem Fall ist die Spurtiefe das Ergebnis von Lagerungsdichte/Feuchte des Bodens, Radlast, Aufstandsfläche, Reifeninnendruck und Überrollhäufigkeit. Sie wird dem Fahrer angezeigt, so dass er auf empfindliche Bodenzustände mit einer Begrenzung der mechanischen Belastung reagieren kann. Zum Beispiel, indem er die Bunkerkapazität nicht voll ausschöpft und an beiden Feldenden das Erntegut abbunkert – vorausgesetzt, es existieren dort Feldwege. Mittelfristig kann die Begrenzung der mechanischen Belastungen bei Investitionen berücksichtigt werden, indem Schlagkraft von ca. 15 % vorgehalten wird, um nach Regenfällen die Erntemaschinen pausieren zu lassen. Es gibt bereits Beispiele von Rodegenossenschaften, wo die Landwirte für diese Art der Bodenschonung 15-20 Euro/ha aufwenden.

3 Ergebnisse aus Feldversuchen zur Überprüfung des Konzeptes für "Bodenschonendes Befahren"

Es wird untersucht, wie sich Technikeinsatz beim Befahren insbesondere bei der Ernte auf die Bodenstruktur und das anschließende Pflanzenwachstum auswirkt. Grundsätzlich wird unterteilt in technische / bodenphysikalische und pflanzenbauliche Versuchsparameter. Aus jedem Bereich werden einige beispielhaft herausgegriffen. Für die Beurteilung der Bodenbelastung ist es im Hinblick auf die Ableitung praxisrelevanter Schlussfolgerungen wichtig, die Belastung des Bodens sowohl mit der Radlast als auch mit dem mittleren Kontaktflächendruck (Radlast/Radaufstandsfläche) und der Überroll-Häufigkeit anzusprechen.

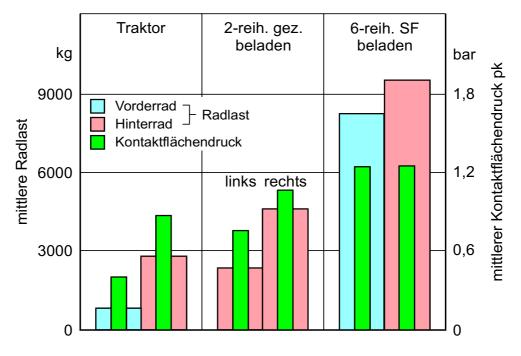


Abb. 7: Fahrzeugparameter von Zuckerrüben-Rodesystemen

Am Beispiel der Zuckerrübenernte (SOMMER 2001) ergeben sich heute bei gefülltem Bunker folgende Fahrzeugparameter (Abbildung 7): der 2-reihig gezogene Köpfrodebunker (KRB) erreicht bis 5 t Radlast, bei einem Kontaktflächendruck von 1,1 bar und überrollt den Boden 6-fach. Der 6-reihig selbstfahrende KRB erreicht Radlasten von 9-12 t , bei einem Kontaktflächendruck von 1,3 bar und einer ein- bis zweifachen Überrollung. Mit sehr großen Terrareifen liegt der 6-Reiher beim Kontaktflächendruck nur geringfügig über dem 2-Reiher. Um die hohe Last abzustützen, muss er allerdings mit 2,3 bar Reifeninnendruck im Vergleich zu 1,2 bar beim 2-Reiher gefahren werden. Andererseits entspricht die größere Überrollhäufigkeit beim 2-Reiher einer stufenweisen Erhöhung der Radlast. Infolgedessen bleibt damit zunächst offen, welche Technik den Boden stärker belastet. Deshalb werden Bodendruck und Ertrag ermittelt.

Die **Bodendruckmessung** erfolgt mit sog. Bolling-Sonden (= Schlauchsonden). Sie eignen sich für den Vergleich von Maschinen und Bodenbearbeitungsvarianten.

Aus Abbildung 8 wird deutlich, dass die Radlast nicht der allein ausschlaggebende Parameter für den Bodendruck in Krume und Unterboden ist. Ein Transportanhänger erzeugt unter den gegebenen Bedingungen mit 2,5 t Radlast und 5 bar Reifeninnendruck einen höheren Bodendruck in 10 cm Tiefe, als ein Rübenroder mit 10 t Radlast und 2,2 bar Reifeninnendruck. Auch liegt der Traktor mit dem 15-fachen Gewicht nur um 0,3 bar Bodendruck über dem einer menschlichen Person. Bis in die Tiefe von 40 cm baut sich der Druck von allen Fahrzeugen auf ein Niveau von weniger als 0,5 bar ab, da immer mehr Bodenpartikel die Last mit tragen. Damit wird auch die Bedeutung des Reifeninnendrucks für den Bodendruck durch diese Messung angezeigt.

Zahlreiche Untersuchungen haben ergeben, dass der Innendruck eines radialen Ackerreifens dem Bodendruck in 10 cm Tiefe entspricht (Abbildung 9). So könnte der Reifeninnendruck zu einem möglichen *Agrarumweltindikator* werden, zumal er vom Praktiker sehr gut messbar und einstellbar ist. Auch wird bei der Bodendruckmessung der Einfluss der Bodenbearbeitung deutlich. So baut sich bei einer Mulchsaat im Vergleich zum Pflug der Bodendruck in die Tiefe schneller und stärker ab.

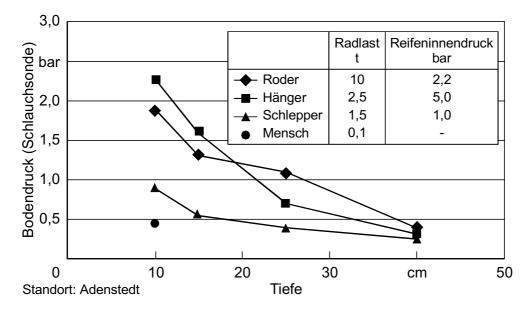


Abb. 8: Bodendruckmessung (Schlauchsonden) von Fahrzeugen (ISENSEE 2001)

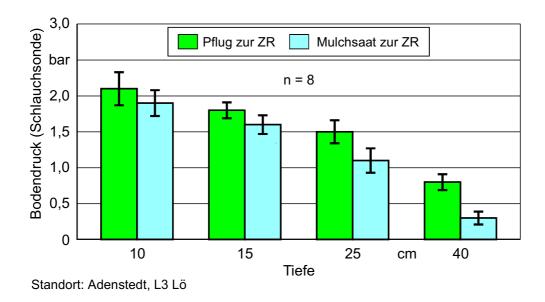


Abb. 9: Bodendruck unter einem 6-reihigen Zuckerrübenroder nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung (ISENSEE 2001)

Den Einfluss der Lockerungsintensität auf die Tragfähigkeit zeigt auch der Befahrbarkeitssensor über die **Spurtiefe** an (Abbildung 10). Ein nach Mulchsaat tragfähiger Boden ist bei steigender Radlast (Bunkerfüllung) über einen weiten Bereich stabiler als die Pflugfurche.

Die Auswirkungen unterschiedlicher Belastungsvarianten bei der Zuckerrübenernte auf die Bodenstruktur, ausgedrückt in Porenvolumen, zeigt Tabelle 1. Mit dem 2-Reiher wurde bei gefülltem Bunker mit 41,5 % Porenvolumen der niedrigste Wert 1997 in 40 cm Tiefe erreicht. Beim 6-Reiher lag der niedrigste Wert 1996 bei 41,4 % Porenvolumen in 20 cm Tiefe.

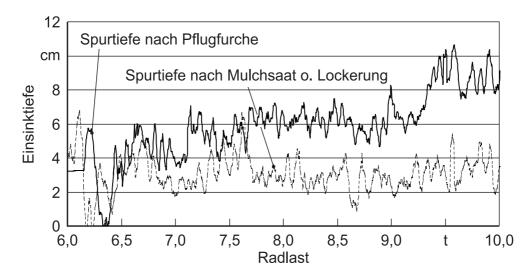


Abb. 10: Spurtiefe eines 6-reihigen Zuckerrübenroders nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung und bei steigender Radlast

		unbefahren		2-reihiger KRB			6-reihiger KRB				Vorgewende		
Schlag				20 cm		. •	80-100 cm	20 cm		. •			
1	1995	43,5	41,8	46,0	45,7			44,6	44,1				
1		2,9	2,1	1,8	1,4			1,2	1,4				
2	1000	45,7	42,6	41,7	45,8			41,4	42,7			39,4	37,0
2	1996	3,3	2,1	1,4	1,4			0,1	1,6			1,4	1,2
3	1997	42,9	46,0	44,0	41,5			42,9	45,1				
3	1997	1,5	3,2	0,6	2,2			1,5	0,9				
1	1998	47,7	43,4	45,9	45,3	44,7	41,7	45,0	44,1	43,9	41,9	41,1	41,4
1	7 1990	0,8	1,2	0,6	1,6	1,3	1,2	1,1	1,6	1,0	0,7	1,2	1,6
2	1999	46,5	46,5	44,6	44,7			41,5	42,2				
2		2,5	1,5	1,8	2,7			1,1	0,8				
3	2000	42,9	42,4					43,5	41,7				
3		1,5	1,6					1,2	1,6				

Tab. 1: Auswirkungen unterschiedlicher Belastungsvarianten auf die Bodenstruktur

Durch das Zusammentreffen von hoher Radlast und hoher Überrollhäufigkeit sind auf dem Vorgewende 1996 kritische Werte von 37 % Porenvolumen durch die Belastung entstanden.

Bodendruck und Porenvolumen sind wichtige Größen bei der Beurteilung von Fahrzeugparametern, sagen jedoch wenig aus über die Veränderung der Bodenfunktionen durch Befahren. Einen guten Einblick verschafft hier die computertomografische Untersuchung mit anschließender 3-D Visualisation des Makroporensystems: Abbildung 11 zeigt eine Bodensäule einer Zuckerrübenmulchsaat ohne, Abbildung 12 eine mit 2,5 bar Druckbelastung.

Insgesamt hat die Belastung zu einer Abnahme der Makroporen in der Krume geführt – hier bedarf es "reparierender" Bodenbearbeitung. Im Unterboden sind die Makroporen weitestgehend erhalten und stabil, da sie in Richtung der einwirkenden Belastungsimpulse ausgerichtet sind, und können so die Bodenfunktionen sicherstellen.

Die Wurzelspitze hat beim Wachstum den mechanischen Widerstand des Bodens zu überwinden. Schadverdichtung lässt das Wurzelwachstum einschränken. Mit der Bohrkernmethode nach BÖHME (1979) ist die Anzahl Wurzeln nach unterschiedlicher Belastung in den Horizonten gemessen. Insgesamt nimmt das Wurzelwachstum des nachfolgenden Winterweizens in die Tiefe ab. In den einzelnen Horizonten gab es unter den Versuchsbedingungen jedoch keine gravierenden Unterschiede zwischen den Rodern. Auch gegenüber unbefahren war kein nennenswerter Abfall festzustellen.

Der Ertrag der nach der Befahrung angebauten Frucht (hier Winterweizen) ist neben den bodenphysikalischen Parametern eine wichtige Anzeige für Bodenschadverdichtungen. Aus pflanzenbaulicher Sicht ist es schwer vorstellbar, dass der Boden hohe Relativerträge bringt, wenn seine Funktionen (Wurzelleitfähigkeit, Luftleitfähigkeit) entschieden gestört sind. 1995 und 1999 lagen auf dem Lehmstandort trockene, 1996 und 1997 mittelfeuchte und 1998 feuchte Bedingungen zum Zeitpunkt der Rübenernte vor. Aus Tabelle 2 geht hervor, dass die Lockerungsmaßnahmen (Pflug, MSmL) zu Weizen in trockenen Jahren nicht ertragswirksam waren. In mittelfeuchten und feuchten Jahren pflügt der Landwirt i.d.R., um ein krümeliges Saatbett zu bekommen.

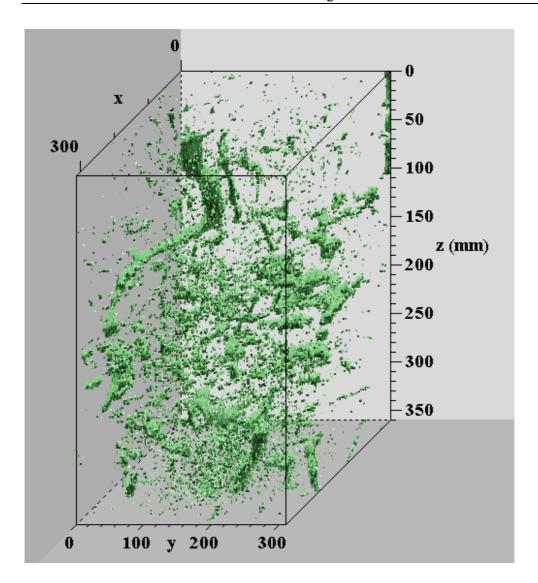


Abb. 11: Zuckerrübenmulchsaat ohne Druckbelastung: 3-D-Visualisation des Makroporensystems (ROGASIK 2001)

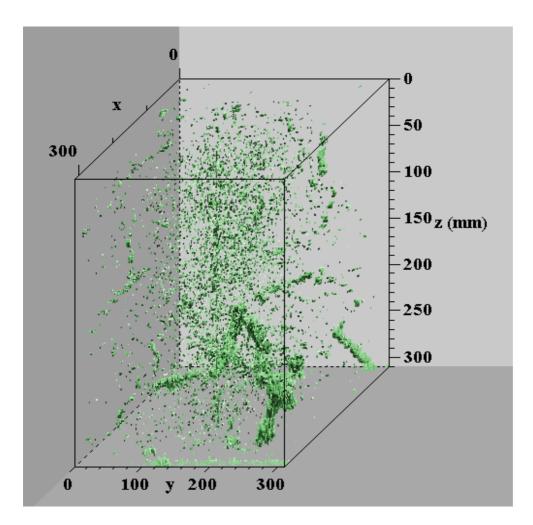


Abb. 12: Zuckerrübenmulchsaat mit 2,5 bar Druckbelastung: 3-D-Visualisation des Makroporensystems (ROGASIK 2001)

Tab. 2: Weizenerträge nach unterschiedlicher Belastung durch Zuckerrübenroder – Direktund Nachwirkungen 1996-2001

Schlag		ui Pflug	nbefahre	en I MSoL		eihig, 2- ach über ıMSmL		1- bis :	eihig, 9-1 2-fach ül ıMSmL	berrollt	Vorge- wende Pflug
1	Roden '95 Rü-WW '96	114	115	110	98	98	97	98	100	101	——
2	Roden '96 Rü-WW '97	101	103	103	103	106	102	101	101	99	96
3	Roden '97 Rü-WW '98				98	96	102	100	101	102	
1	Roden '98 Rü-WW '99	121	106		117			118	117		86
2	Roden '99 Rü-WW '00		116		110	100	109	107	106	105	92

MSmL: Mulchsaat mit Lockerung (zur Winterweizenbestellung) MSoL: Mulchsaat ohne Lockerung (zur Winterweizenbestellung)

--- : nicht ermittelt

Zwischen den Belastungsvarianten ist in den Jahren kein nennenswerter Ertragsunterschied festzustellen. Ein Grund dafür mag sein, dass die Radlastreduzierung bei dem 2-Reiher zu einer höheren Überrollhäufigkeit von 6 geführt hat. Ein deutlicher Ertragsabfall ist jedoch auf dem Vorgewende zu verzeichnen, weil dort durch das Abbunkern hohe Radlast mit häufigem Befahren zusammenkommen – hier zeigen die Erträge Schadverdichtungen an.

4 Schlussfolgerungen

Nachhaltige Landbewirtschaftung berücksichtigt ökologische, ökonomische und soziale Ziele. Auch bei der Bodennutzung können Zielkonflikte zwischen ökologischen und ökonomischen Aspekten entstehen. Solchen vorzubeugen, soll gute fachliche Praxis helfen.

Bodenschadverdichtung ist ein sehr komplexer Problembereich im Rahmen des nichtstofflichen Bodenschutzes. Schon deshalb ist ihm mit einfachen Rezepten nicht zu begegnen.

Vorsorgende Handlungsempfehlungen richten sich deshalb zum einen auf mittelbis langfristige Maßnahmen (etwa Investitionen für Breitreifen u. a.), die sich aus der Abschätzung potenzieller Schadverdichtungsgefährdung von Ackerböden ableiten lassen. Zum anderen bedarf es Entscheidungshilfen für rasche feld- bzw. teilflächenspezifische Maßnahmen zur Begrenzung der mechanischen Belastung.

Bisher vorliegende Ergebnisse des beschriebenen Feldversuchs unter Praxisbedingungen bestätigen, dass zur Verfügung stehende Handlungsempfehlungen zum Einsatz leistungsfähiger Technik (Rübenroder, Mähdrescher, Güllefahrzeuge u. a.) im Sinne guter fachlicher Praxis auf dem Betrieb umzusetzen sind. Mit ihnen ist standort-, betriebs- und feldspezifisch das Konzept "Bodenschonendes Befahren" zu realisieren.

Die aktuelle Belastbarkeit des Bodens wird maßgeblich von der Bodenfeuchte in situ bestimmt, die es deshalb einzubeziehen gilt. In der Anzeige des Spurtiefensensors sind auch die Effekte der aktuellen Bodenfeuchte integriert. Als "Agrarumweltindikator" bietet sich darüber hinaus der Reifeninnendruck an, der wesentlichen Einfluss auf den Bodendruck hat. Beide Kenngrößen – Spurtiefenmessung und Regelung des Reifeninnendrucks – stellen eine Alternative zur Festschreibung genereller Grenzwerte, wie etwa zur Radlast, dar.

Der Weiterentwicklung sensor- und verfahrenstechnischer (z. B. Onland-Pflügen) Möglichkeiten sowie von fruchtfolgespezifischen Ansätzen ist weitere Aufmerksamkeit zu schenken, auch mit dem Ziel, schädlichen Bodendruck möglichst auf die bearbeiteten Bodenhorizonte zu beschränken. Restrisiken sind auch bei dem Problembereich Bodenschadverdichtung nicht gänzlich auszuschließen.

5 Zusammenfassung

In den vergangenen Jahrzehnten haben die Fahrzeugmassen von Traktoren, selbstfahrenden Arbeitsmaschinen und Transportfahrzeugen und damit auch die Radlasten zugenommen. Leistungsfähige Technik ermöglicht deren Einsatz zum optimalen Zeitpunkt und hilft Zeit und Kosten zu sparen. Andererseits beanspruchen höhere Radlasten das Bodengefüge, insbesondere wenn der Boden bei feuchtem Zustand befahren wird.

Um Bodenfunktionen im Sinne guter fachlicher Praxis (Bundes-Bodenschutzgesetz) nachhaltig zu sichern, bedarf es eines Vorsorge-Konzeptes zur Verminderung von Bodenverdichtungen. Das unter Praxisbedingungen entwickelte Konzept "Bodenschonendes Befahren" ist durch 4 Bausteine gekennzeichnet:

- Verbesserung der Belastbarkeit des Bodens
- Nutzung technischer Möglichkeiten
- Anpassung von Arbeitsverfahren
- Begrenzung der mechanischen Belastung

Anhand bisheriger Ergebnisse aus den Feldversuchen ist festzuhalten, dass der Einsatz heutiger leistungsfähiger – damit auch schwerer Landtechnik grundsätzlich bodenschonend möglich ist. Dies zeigen einmal die Bodendruckmessungen während des Befahrens mit unterschiedlichen Maschinen. Darüber hinaus weisen die Messungen zur Leitfähigkeit darauf hin, dass die Bodenfunktionen im Unterboden weitestgehend erhalten bleiben können, da biogene Makroporen überwiegend in Richtung der einwirkenden Belastungsimpulse ausgerichtet sind. Auch zeigt die Ertragsentwicklung der Folgekulturen, dass die Bodenfruchtbarkeit der Fläche gesichert ist. Schäden sind allerdings auf dem Vorgewende zu erkennen. Moderne Sensortechnik kann Aufschluß über den Bodenzustand während des Befahrens geben und bei flexiblem Einsatzmanagement helfen.

6 Summary

During the last decades the total weight of tractors, self-propelled working machines and transport vehicles have increased and thus the wheel load. High performance technique render possible the use at the optimal point of time and help to save time and money. On the other hand higher wheel loads stress the soil structure, especially if at the time of passing the soil is in a wet condition.

To guarantee soil functions sustainably within the meaning of best practice management (federal soil protection act), it needs a concept of providence to reduce harmful soil compactions. The concept that is developed under practice conditions, has 4 components:

- improving the bearing capacity of soils
- continuing to research and develop new technologies
- adaptation of production methods
- limiting of soil pressure under wet conditions

Results of field trials so far show, that normally the use of high performance and thus heavy agricultural machines is possible in a soil conserving manner. This is shown by soil pressure measurements during the passage with different machines. And moreover, conductivity measurements indicate, that soil functions are preserved in the subsoil for the most part, because the direction of the biogene macropores are aligned into the direction of affecting load impulses. Finally the yield development of the following crop shows, that the soil fertility of the field is preserved. Only the head land needs special attention. Modern sensoric technique can give particulars of the soil condition during the passage and can help to operate with a flexible working management.

Literatur

- BÖHM, W. (1979): Methods of studying root systems. Ecological Studies 33. Springer, Berlin.
- BRUNOTTE, J., WEIßBACH, M., ROGASIK, H., ISENSEE, E. und SOMMER, C. (2000): Zur guten fachlichen Praxis beim Einsatz moderner Zuckerrüben-Erntetechnik. Zuckerrübe 1, 34-40.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2001): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion.
- DÜRR, H.-J., PETELKAU, H. und SOMMER, C. (1995): Literaturstudie "Bodenverdichtung". UBA-Texte 55/95, 203 S.
- ISENSEE, E. und WEIßBACH, M. (2001): Bodenschonung mit moderner Technik Grundlagen und Empfehlungen. DLG-Arbeitsunterlage B/2001.
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (1998): Bodenbearbeitung und Bodenschutz Schlußfolgerungen für gute fachliche Praxis. Arbeitspapier 266, 130 S.
- ROGASIK, H. (2001): Schriftliche Miteilung. ZALF Müncheberg, Institut für Bodenlandschaftsforschung.
- SOMMER, C. (1974): Die Verdichtungsempfindlichkeit zweier Ackerböden ein Beitrag zum Verhalten von Böden unter vertikaler Belastung im Saugspannungsbereich bis pF 2.7. Diss. TU Braunschweig, Landbauforschung Völkenrode SH 26.
- SOMMER, C. (1998): Ein Konzept zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtungen in der pflanzlichen Produktion. Bodenschutz 1, 12-16.
- SOMMER, C., BRUNOTTE, J. und ORTMEIER, B. (2001): Bodenverdichtung Felduntersuchungen zu Lösungsansätzen. Zuckerrübe **6**, 364-371.

Dr. sc. agr. Joachim Brunotte, Prof. PD Dr.-Ing. Claus Sommer und Dr. Matthias Lebert, Institut für Betriebstechnik und Bauforschung Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) Bundesallee 50, 38116 Braunschweig claus.sommer@fal.de

Bodenbelastung durch Rad- und Achslasten von Landmaschinen in der Zuckerrübenernte

Soil load by axle and tire loads of sugar beet harvesters

P. Schulze Lammers, M.Tschepe und J. Strätz

1 Einleitung

Die Entwicklung der Erntetechnik im Zuckerrübenanbau hat zu auffällig großen Maschinen geführt, von denen eine hohe Belastung der Böden beim Befahren erwartet wird. Da die Zuckerrübenernte in die Zeit zunehmender jahreszeitlich witterungsbedingter Bodenfeuchtigkeit und damit auf weniger tragfähige Bodenzustände fällt, entzündet sich die Diskussion über die Bodenschädigung durch den Einsatz von Maschinen insbesondere an der Technologie der Zuckerrübenernte.

In dem Beitrag werden die auf der Zuckerrübenerntevorführung, die vom Fränkischen Zuckerrübenanbauerverband in Seligenstadt im Jahr 2000 organisiert wurde, ermittelten Daten verwendet. Im Rahmen des gleichzeitig stattfindenden Tests der Erntemaschinen in Seligenstadt, der vom Institut für Landtechnik der Universität in Bonn durchgeführt wird, wurden Daten über die Gesamtgewichte, Achs- und Radlasten von Köpfrodebunkern (KRB) sowie Ladebunker (LB) und Reinigungsladern (RRL) durch die DLG ermittelt und von der Landtechnik Bonn zusammengestellt.

Der Gesetzgeber hat sich aufgrund der von der industriellen Gesellschaft ausgehenden Gefährdung der Ressource Boden durch Erlass des Bundesbodenschutzgesetz reagiert und darin unter dem Begriff der "Guten Fachlichen Praxis" Forderungen zur Bodenschonung definiert:

- Vermeidung von Bodenverdichtungen so weit wie möglich unter Berücksichtigung der Bodenart, der Bodenfeuchte und des von den eingesetzten Geräten verursachten Bodendruckes
- Standortangepasste Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung der Witterung
- Erhaltung und Verbesserung der Bodenstruktur

2 Einflüsse von Radfahrwerken auf den Boden

Zur Beurteilung der Auswirkungen auf den Böden, die von Radkräften ausgehen, wird in in innere und äußere Faktoren unterschieden, was einer Einteilung eines Kräftesystems "Rad-Boden" nach Newtonschen Vorstellungen entspricht. Die äußeren Faktoren werden durch die Lastcharakteristika, die von Fahrwerken ausgehen bestimmt, die inneren Faktoren dienen der Beschreibung der Fahrbahn in diesem Fall des Bodens.

Innere Faktoren betreffen stoffliche Größen des Bodens

- Bodenart - Aggregatgröße

- organische Bestandteile - Porenvolumen

- Lagerungsdichte - Tonmineralgehalt

Äußere Faktoren betreffen Betriebs- und Prozessparameter

- Lasthöhe (Radlast) - Lastart (Schlupf angetrieben/rollend)

- Lastform (Reifendimension, Reifeninnendruck)

- Lasthäufigkeit (Arbeitsverfahren) - Lastdauer (Fahrgeschwindigkeit)

Zur wissenschaftlichen Beschreibung von Bodenbeanspruchungen ist die vollständige Einbeziehung aller Faktoren notwendig. Andernfalls müssen die Annahmen über Vereinfachungen z. B. die Außerachtlassung der Häufigkeit und Dauer der Lasteinwirkung hinreichend begründet oder ihr zu vernachlässigender Einfluß auf die Bodenbeanspruchung erklärt werden. Die Betrachtung der inneren und äußeren Faktoren der Bodenbeanspruchung wird in den nachfolgenden Ausführungen zu Achsund Radlasten Zuckerrübenerntemaschinen auf den Einzelfaktor Lasthöhe eingeschränkt und läßt daher nur eine monofaktorielle Beurteilung der Bodenbeanspruchung bei der Zuckerrübenernte zu. Die Daten spiegeln hingegen die technische Entwicklung zur Erhöhung der Gesamtgewichte dieser Maschinen wieder und repräsentieren die Bedeutung des einphasigen Verfahrens mit sechsreihigen Erntemaschinen, mit dem heute in Deutschland mehr als 70 % der Zuckerrübenfläche geerntet werden.

3 Reifendimensionen und Reifeninnendruck bei KRB

Bei den in Tabelle 1 angegebenen Reifengrößen für die sechsreihigen Erntemaschinen handelt sich ausschließlich um Niederquerschnittsreifen bzw. Breitreifen. An den Vorderachsen werden Reifen mit 710 bis 800 mm Breite verwendet, während die Mittelachsen und Hinterachsen mit Reifen von 800 bis 1050 mm Breite bestückt werden. Damit wird das heute verfügbare Angebot an geeigneten Reifen in Bezug auf Tragfähigkeit und Reifendimensionen für diese Maschinen weitgehend genutzt. Der Reifeninnendruck, der als Indikator für den Kontaktflächendruck und damit für den Bodendruck gilt, wurde bei dem Rodertest in Seligenstadt in einem Bereich von 1,7 bis 2,75 gemessen und liegt damit im Vergleich zu den Reifendrücken, die heute bei großen Traktoren (0,8 bis 1,8) eingestellt werden, deutlich höher. Die höheren Reifendrücke sind mit den erforderlichen hohen Traglasten und der Reifendeformation bei Kurvenfahrt, was sich in den durchwegs höheren Drücken der Frontreifen widerspiegelt, zu begründen. An den vorderen Rädern werden auch wegen der hohen Last bei Straßenfahrt mit ausgehobenem Rodeaggregat in der Regel höhere Reifeninnendrücke eingestellt als an den hinteren Achsen. Insgesamt müssen Reifeninnendrücke wegen Einhaltung der Herstellervorgaben bezüglich der Traglast und Fahrgeschwindigkeit auf Werte deutlich höher als 1,5 bar eingestellt werden.

Reifengröße Reifeninnendruck [bar] Hersteller/Typ vorne mitte hinten vorne mitte hinten AGRIFAC WKM BIG SIX 710/70 R 38 710/70 R 38 1,7 800/65 R 32 1,8 BARIGELLI B/6 4x4 S 800/65 R 32 1050/50 R 32 2,4 2,2 HOLMER Terra Dos 900/60 R 32 1050/50 R 32 1,7 1,9 KLEINE SF 10 750/45 R 30.5 710/70 R 38 2,75 2,0 KLEINE SF 40 710/70 R 38 1050/50 R 32 2,45 2,3 1050/50 R 32 2,25 MATROT M 2001 800/65 R 32 1050/50 R 32 2,25 2,5 MOREAU VOLTRA 6.24 2,7 800/65 R 32 800/65 R 32 2,55 RIECAM RBM 300 S 800/65 R 32 800/65 R 32 2,0 1,7 ROPA euro-TIGER 800/65 R 32 1050/50 R 32 1050/50 R 25 1,75 2,2 1,7 TIM SR 2500 800/65 R 32 800/65 R 32 2,3 1,8

Tabelle 1: Reifengröße und Reifeninnendruck von KRB6 mit 2 und 3 Achsen

Fahrzeugleergewichte und Achslasten von KRB

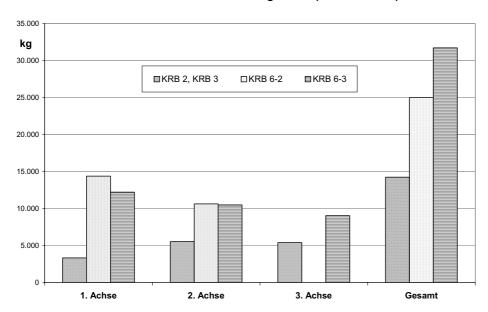
Für die Bodenbelastung werden häufig die maximalen Achslasten als Faktor der Beanspruchung angenommen. Da die Maschinen aber nicht nur mit vollem Bunker fahren, ist die Bodenbeanspruchung eine Funktion der Bunkerfüllung. Die Betriebskräfte der Achslasten bewegen sich also im Bereich des Fahrzeugleergewichts und des Gesamtgwichtes mit voll beladenem Bunker. In der Darstellung 1 werden Achslasten und Gesamtgewichte für gezogene Roder und Selbstfahrer mit leerem Bunker angegeben. Für die untersuchten zweiachsigen und dreiachsigen Selbstfahrer wurden die Achslasten mit ausgehobenem Rodeaggregat ermittelt. Die gezogenen Roder haben erwartungsgemäß die niedrigsten Achslasten, wobei die Traktorhinterachse (2. Achse) und die Roderachse (3. Achse) nahezu gleiche Gewichte in der Höhe von 5 t übernehmen.

Die dreiachsigen Maschinen haben im unbeladenen Zustand an den Vorderachsen (1. Achse) im Durchschnitt geringere Achslasten bei ausgehobenem Rodeaggregat als die zweiachsigen Selbstfahrer. Es werden Vorderachslasten von mehr als 13 t erreicht, die mittleren und die hinteren Achsen werden mit ca. 10 t belastet. Die höchsten Achsgewichte treten somit bei den Vorderachsen der zweiachsigen Selbstfahrer auf.

Die durchschnittlichen Gesamtgewichte bei leerem Bunker liegen bei den zweiachsigen Maschinen bei 25 t, bei den Dreiachsern liegt der Durchschnittswert bei 31 t, was mit dem aufwendigeren Fahrwerk einschließlich der dritten Achse und auch dem größeren Bauaufwand für einen größeren Bunkerinhalt zu erklären ist.

Die Fahrzeuggespanne der zwei- und dreireihigen Roder erreichen Leergewichte von 14 t.

Werden die Leergewichte auf die Arbeitsbreite bzw. Anzahl der gerodeten Reihen bezogen, so ergeben sich die ungünstigeren Werte für die zweireihigen gezogenen Verfahren mit bis zu 7 t Leergewicht pro Reihe. Unter Berücksichtigung der Anzahl der Überrollungen bei diesem Verfahren erscheint eine Verminderung der Bodenbeanspruchung in der Zuckerrübenernte durch Rückbesinnung auf dieses Verfahren als nicht aussichtsreich.

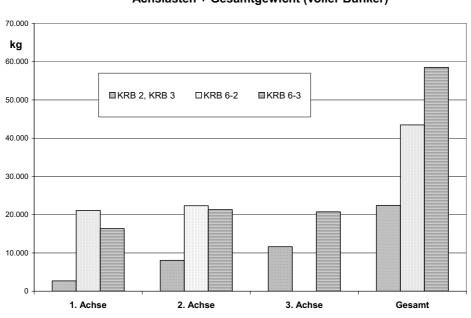


Achslasten + Gesamtgewicht (leerer Bunker)

Abb. 1: Gesamtgewichte und Achslasten KRB 2, 3 und 6 -leerer Bunker-

4 Fahrzeuggewichte und Achslasten von KRB im beladenem Zustand

In voll beladenem Zustand wachsen die Achslasten bei den zweiachsigen Selbstfahrern auf der Vorderachse auf über 20 t an, die Hinterachsen erreichen Lasten von bis zu 27 t. Die Gesamtgewichte der zweiachsigen Rübenroder erreichen Werte von 43 t im Durchschnitt.



Achslasten + Gesamtgewicht (voller Bunker)

Abb. 2: Gesamtgewicht und Achslasten KRB 2, 3 und 6 -voller Bunker-

Vorder- und Hinterachse sind im beladenen Zustand zwar im Durchschnitt der Maschinen in etwa gleich belastet. Bei den einzelnen Fahrzeugen treten aber deutlich Unterschiede in der Achslastverteilung auf.

Bei den dreiachsigen Rodern ist im voll beladenen Zustand die geringste Last auf den Vorderachsen. Die mittlere und hintere Achse sind im Durchschnitt gleich hoch belastet in einem Bereich von 16 bis 26 t. Damit werden die Hinterachsen im Vergleich zu den zweiachsigen Rodern nur geringfügig weniger belastet.

Die Fahrzeugkombination besteht hier aus drei Achsen. Die geringsten Achslasten sind an den Vorderachsen der Traktoren mit weniger als 3,5 t zu verzeichnen, bei voll beladenem Bunker liegen die Hinterachslasten der ziehenden Traktoren bis zu 9 t und die Achse des Roders erreicht Lasten bis 13 t. Der Gesamtverband stützt über drei Achsen 17 bis 25 t an Gewicht ab bei sehr ungleichmäßiger Verteilung auf die Achsen und dreifacher Überrollung in einer Spur.

5 Radlasten von KRB

Aus den Achslasten resultieren die Radlasten, die in der Abbildung 3 für die zweiachsigen und dreiachsigen KRB6 Selbstfahrer und die gezogenen Roder KRB2 und KRB3 im beladenen Zustand dargestellt sind. Bei vollem Bunker ist Querverteilung der Radlasten bei allen KRB unausgeglichen, was auf die asymmetrische Befüllung des Bunker zurückzuführen ist. Auch die Anordnung des Entladebandes kann zu asymmetrischen Radbelastungen führen, wenn der Roder auch außerhalb des Entladungsvorganges mit ausgeschwenkter Position des Entladebandes gefahren wird. Insgesamt liegen die Radlasten der Selbstfahrer zwischen 7 t und 12 t im Durchschnitt der untersuchten Maschinen.

Radlasten bei vollem Bunker

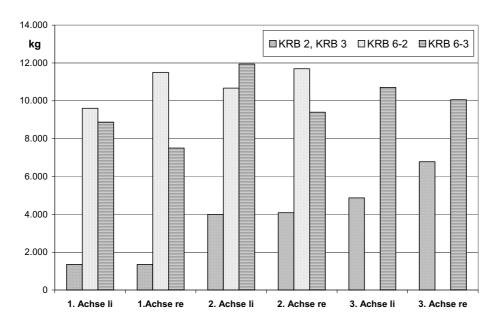


Abb. 3: Durchschnittliche Radlasten von KRB 2,3,6 -voller Bunker-

Die Räder der Vorderachse tragen im beladenen Zustand den geringsten Gewichtsanteil bei ebenfalls unterschiedlicher Querverteilung.

Die zwei- und dreireihigen Ernteverfahren zeichnen sich durch deutlich geringere Radlasten im Vergleich zu den sechsreihigen Selbstfahrern aus. Die Traktorvorderreifen haben Radlasten von unter 2 t. An den Hinterachsen werden die Reifen bis 4,2 t belastet, die höchsten Radlasten treten an den mit einer Achse ausgestatteten Rodern mit maximal 6,5 t auf. Die Radlastverteilung am beladenen Roder entsteht durch die asymetrische Anordnung des Bunkers und aus der Lage des Entladebandes.

6 Entwicklung der Erntemaschinengewichte und des Arbeitszeitbedarfs

Die Entwicklung der Zuckerrübenerntetechnik hat, wie aus der Betrachtung der Abbildung 4 hervorgeht, zu einer mit gleicher Intensität verlaufenden Zunahme der Masse der Erntemaschinen und wie der Abnahme der Arbeitszeitbedarfs geführt. Die Entwicklung des Arbeitszeitbedarfs in der Zuckerrübenernte ausgehend von der Handernte mit über 200 Arbeitskraftstunden (Akh) pro Hektar wurde auf weniger als eine Akh pro Hektar bei den heute bevorzugten Verfahren vermindert.

Mit der Erweiterung der Funktionen der Erntemaschinen ist deren Größe und insbesondere Masse gestiegen; von dem einreihigen Köpfrodebunker mit ca. 5,5 t (ohne Schlepper) auf die selbstfahrenden Erntemaschinen in der heutigen Zeit auf durchschnittlich 50 t in beladenem Zustand.

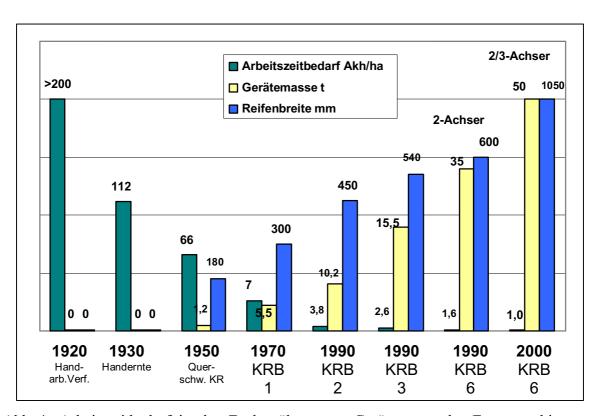


Abb. 4: Arbeitszeitbedarf in der Zuckerrübenernte, Gerätemasse der Erntemaschinen und deren Reifenbreite

Die Reifen konnten die Aufgabe der bodendruckneutralen Radlastenübertragung, wenn von der Reifenbreite als entscheidender Größe für die Aufstandsfläche und den Kontaktflächendruck ausgegangen wird, nicht in dem notwendigen Maße erfüllen, wie Bild 4 zeigt. Während die Rodermasse ca. um das Zehnfache stieg, konnte die Reifenbreite nur auf das Zweieinhalbfache bei den KRB vergrößert werden. Die Wirkung der erhöhten Radlasten auf den Boden konnte nicht über die, wenn auch beachtliche, Entwicklung der Reifen zu größeren Breiten neutralisiert werden.

Neben der Gesamtmasse, die sich über Achs- und Radlasten auf den Boden abstützt, das hat die einleitende Erläuterung der Gesamtheit der Einflussfaktoren bereits einbezogen, spielen auch die Belastungsarten und -formen eine Rolle in Bezug auf die Bodenschädigung. Deshalb dürfen aber auch nicht von einem einzelnen Belastungsparameter, nämlich dem Höchstwert generalisierende Schlussfolgerungen Radlast bei den Erntemaschinen, Einfluss Bodenschädigungen werden. Der der Belastungsdauer gezogen (Fahrgeschwindigkeit) und der Belastungsfrequenz (Schädigung durch Mehrfachüberfahrten) sind ebenfalls wesentliche Faktoren des Bodenbeanspruchung durch Radlasten.

7 Einordnung der Ergebnisse durch Vergleich mit anderen Landmaschinen

Ein Vergleich der Radlasten und Reifeninnendrücke mit anderen Landmaschinen, die unter ähnlichen Bodenbedingungen (nicht auf frisch gelockertem Boden) eingesetzt werden, weisen den Mähdrescher als die Maschine aus, die ebenfalls bei vollem Korntank mit hohen Radlasten und mit hohen Reifeninnendrücken betrieben wird.

Tab. 2:	Vergleich der Radlasten,	Reifendimensionen	und des	Reifeninnendruckes	verschie-
	dener Ernte- und Tranpor	t-/Verteilfahrzeuge			

Gerätetyp	Radlast [t]	Reifen	Reifeninnendruck [bar]	
Güllefaßwagen	5,0	700/50 – 26,5	1,5	
Festmiststreuer, gez	5,0	700/50 – 26,5	1,5	
Feldspritzen SF	3,1	12,4 x 46	3,6	
Kartoffelroder, 2 rhg. gez.	6,5	600/55 – 26,5	2,0	
Mähdrescher, SF	8,0	650/75 R 32	2,7	
Feldhäcksler, SF	6,0	650/75 R 32	1,6	
Rübenroder KRB 2 gez.	6,5	700/50 – 26,5	1,6	
Rübenroder KRB 6 SF.	12,0	1050/50 – R 32	2,4	

Während bei den Geräten, die zum Transport und zur Verteilung eingesetzt werden, großzügige Bereifungen ausgewählt und die Anzahl der Achsen erhöht werden können, setzen Erntefunktionen den Fahrwerkskonzepten engere Grenzen, die bei der Kategorie Erntemaschinen zu deutlich höheren Radlasten führt. Gemeinsam ist die Entwicklung der

Nutzung von sehr breiten Reifen sowohl bei den Transport- und Verteilgeräten wie auch bei den Erntemaschinen. Bei den Reifeninnendrücken ergibt sich keine klare Tendenz zu Werten unter 1 bar wie sie bei Traktoren beim Einsatz auf dem Boden heute bevorzugt werden. Teils setzen bei den hier betrachteten Maschinenkategorien die Bunkerfunktion und damit die erhöhten Anforderungen an die Tragfähigkeit der Reifen, teils die Transportfunktion auf Straßen mit den notwendigen Fahrgeschwindigkeiten der Absenkung auf bodenfreundliche Innendrücke Grenzen.

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Radlasten und Gesamtgewichte bei bunkernden Zuckerrübenvollerntern erreichen 12 t bzw. 60 t in beladenem Zustand, die aber in zeitlicher Hinsicht nur anteilsmäßig auf die Bodenbelastung anzurechnen sind. Achs- und Radlasten bei den Ernteverfahren sind unterschiedlich und können in Bezug auf die Bodenschädigung nicht ausschließlich nach einem Höchstwert bewertet werden.

Großvolumige Bereifungen und die Anzahl der Achsen sind konstruktive Maßnahmen zur Begrenzung der Bodenbelastung, die auch konsequent Eingang in die Entwicklung der Zuckerrübenvollernter gefunden haben.

Die bodenschädigende Wirkung von Mehrfachüberrollungen ist nicht ausreichend beurteilbar, um Empfehlungen für Ernteverfahren mit geringeren Höchstlasten aber geringeren Arbeitsbreiten ableiten zu können.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt der Bodenschonung ist die Einstellung der Reifeninnendrücke. Reifendruckregelanlagen können eine Verbesserung der Bodenschonung bei den selbstfahrenden Zuckerrübenrodern durch Absenkung des Reifeninnendruckes beim Befahren von Böden bewirken bei gleichzeitiger Sicherung der Reifenfunktionen durch Erhöhung der Reifeninnendrucks bei Straßenfahrt. Ebenso kann durch moderne Regelungstechnik zur gleichmäßigeren Lastverteilung auf die Achsen beigetragen werden und Sensoren zur Ermittlung der Bodenfeuchte und der Befahrbarkeit von Böden sind ein Konzept, um in Zukunft einen bodenschonenderen Maschineneinsatz zu gewährleisten.

9 Abstract

Wheel loads and gross weights of tank-carrying sugar beet harvesters reach 12, respectively 60, metric tons when loaded. Referring to maximum loads, however, these values are only reached consecutively as the crop is collected; this phase before maximum values are reached also has to be taken into account for the calculation of the actual soil load. Axle and tire loads differ according to the harvesting method used, and their soil damage effects must not exclusively be calculated from maximum values. The use of large-volume tires and higher numbers of axles as measures to reduce soil load have consistently been taken into account in sugar beet harvester design. Tire inflation pressure management is an important aspect of soil protection. Central tire inflation systems in self-propelled sugar beet diggers are able to improve soil protection through reduced tire inflation pressure for field work while inflation pressure raised for road rides ensure the full performance of the tires. Moreover, modern control systems can improve the load distribution on the axles. Sensors determining soil moisture and passability are one measure to ensure a more soil-protecting use of machinery in the future.

Literatur und Quellen:

Brinkmann, W. u. L. Dörsch 1984: Wege zur Mechanisierung der Rübenbaus. In Geschichte der Zuckerrübe, ISBN 3-87040-031-5, Verlag A. Bartens, Berlin 1984

Reifentabellen der Firmen Michelen, Trelleborg und Goodyear

CHAPUIS v. A.: Im Rahmen des Rodertests 2000 in Seligenstadt wurden die Radlasten von der DLG/Fachbereich Technik aufgenommen.

Prof. Dr. P. Schulze Lammers Institut für Landtechnik Nussallee 5, 53115 Bonn lammers@uni-bonn.de