

**Aus dem Institut für Betriebstechnik und Bauforschung**

**Claus Sommer**

**Techniken und Verfahren zur ressourcenschonenden  
Bodennutzung – Rückblick und Perspektiven**

Manuskript, zu finden in [www.fal.de](http://www.fal.de)

Published in: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 256,  
pp. 101-109

**Braunschweig  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)  
2003**

## Techniken und Verfahren zur ressourcenschonenden Bodennutzung – Rückblick und Perspektiven

Claus Sommer<sup>\*</sup>

### Zusammenfassung

Zu den Leitbildern nachhaltiger Bodennutzung gehören die Vermeidung bzw. Verminderung von Bodenabtrag und Bodenschadverdichtung. Es liegt im Interesse des Landwirts und wird seit In-Kraft-Treten des Bundesbodenschutzgesetzes (1998) auch vom Gesetzgeber verlangt, dass Landbewirtschaftung Vorsorge und Gefahrenabwehr zu berücksichtigen hat.

Aus verfahrenstechnischer Sicht ist die Mulchsaat die wichtigste Möglichkeit, Bodenerosion vorzubeugen bzw. zu vermindern. Grundlegende Entwicklungen werden in naher Zukunft weniger bezüglich der Mulchsaattechnik als vielmehr bei der Stoppelpflege und der schonenden Bodenlockerung erwartet, die wesentliche Voraussetzungen für die nachfolgende Mulchsaat schaffen.

Als Bodenschadverdichtung wird diejenige Bodenverdichtung bezeichnet, deren Gefügeveränderungen negative nachhaltige Auswirkungen auf die Bodenfunktionen haben. Ist Krumenschadverdichtung mit üblicher Bodenbearbeitung mehr oder weniger entgegen zu wirken, sind solche im Unterboden – wenn überhaupt – nur schwer, mit großem Aufwand und nicht ohne Nachsorgemaßnahmen zu ‚reparieren‘. Deshalb gilt es, den durch Befahren verursachten Bodendruck im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes so in Grenzen zu halten, dass es im Normalfall im Unterboden nicht zu Schadverdichtung kommt. Hierzu reichen heutige Maßnahmen ‚guter fachlicher Praxis‘ nicht aus.

Indikatorkonzepte, Sensorsysteme und Richtwerte für den Reifeninnendruck können dazu beitragen, mechanische Bodenbelastung und Bodenbelastbarkeit zu charakterisieren und dem Landwirt Entscheidungshilfen für bodenschonendes Befahren zu geben.

*Schlüsselwörter: Physikalischer Bodenschutz, Bodenerosion, Bodenschadverdichtung*

### Abstract

#### Techniques and methods to soil protecting land use – retrospective view and perspectives

Among the guidance models in sustainable soil use are the avoidance or reduction of soil erosion and soil damaging compaction. It is in the farmer's interest, and also required by law since the adoption of the Soil Protection Law (1998) in Germany, that while farming precautions and a reduction of damaging practices are to be taken into consideration.

From the agricultural engineering point of view mulch seeding is the most important possibility to prevent or to reduce soil erosion. In the near future basic developments are to be seen less regarding the mulch seeding techniques, rather than in soil cultivation, stubble tillage and soil protecting soil loosening.

Soil damaging compaction is used to describe the soil compaction which, through its soil structural changes, causes permanent negative effects on soil functions. Even though soil damaging compaction can more or less be rectified in the arable layer with normal tillage, such problems in the subsoil can only be 'repaired' with difficulty, with substantial soil tillage investment and with subsequent treatments. That is why it is necessary to keep the soil pressure caused while driving on cropland at such a level that it in the normal case does not lead to soil damaging compaction. To protect the subsoil methods of 'best practice management' of today are not sufficient.

Indicator concepts, sensor systems and target values for the inflation pressure, as well, can contribute to characterising the mechanical soil load and the soil bearing capacity and to creating decision-making helps for soil-conserving trafficking on cropland.

*Keywords: Physical soil protection, soil erosion, soil damaging compaction*

### 1 Einleitung

Betriebstechnische Forschung ist auf die Untersuchung, Bewertung und Entwicklung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren ausgerichtet. Ziel ist, „eine menschen- und tiergerechte sowie umweltschonende und kostengünstige Nahrungsmittel- und Rohstoff-

<sup>\*</sup> Institut für Betriebstechnik und Bauforschung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

zeugung zu ermöglichen“ (Institutsflyer, 1999). Zu berücksichtigen sind dabei die Erhaltung natürlicher Ressourcen, der Mensch an seinem Arbeitsplatz, Aspekte des Tierschutzes und nicht zuletzt die ökonomischen und ökologischen Input-Output-Relationen.

Die Erhaltung natürlicher Ressourcen in der Pflanzenproduktion zielt auf nachhaltige Bodennutzung und betriebsmittelsparende Produktionsverfahren. Beispiele für betriebstechnische Lösungsansätze zur Weiterentwicklung von Produktionsverfahren hinsichtlich des sparsamen Betriebsmitteleinsatzes sind die ortsspezifische Bodenbearbeitung hinsichtlich des Dieselmotorkraftstoffverbrauches (Voßhenrich und Sommer, 2002), die 'sehende Feldspritze' (Biller und Ihle, 2000) zur Einsparung von Herbiziden, die Bewirtschaftung stillgelegter Flächen mit ausgewählten Werkzeugen (Biller und Brunotte, 1994), Strategien zur teilflächenspezifischen Beregnung, um Wasser und Energie einzusparen (Sourell et al., 2003), die mobile Windkraftanlage (Irrs, 2002), die technisch verbesserte Stroh-Festmist-Kette (Sonnenberg, 2002) und die kostenmäßige Neubewertung von Gras und Grassilage (Walter und Heinrich, 2003).

Nachhaltige Bodennutzung setzt den Erhalt der Böden und ihrer Funktionen voraus. Aus landwirtschaftlicher Sicht stehen dabei die Ertrags-, Lebensraum- und Regelungsfunktionen im Vordergrund (Bodenschutzkonzeption, 1984):

- die Produktionsfunktion

ist mit ihrer Biomasseproduktion Lebensgrundlage des Menschen;

- die Lebensraumfunktion

bietet den Lebensraum für Mensch, Flora und Fauna in genetischen Vielfalten;

- die Regelungsfunktion

steht für die abiotische und biotische Stoffumwandlung, die chemische und physikalische Pufferung, Filterung und Speicherung sowie die Grundwasserneubildung.

Sind für den stofflichen Bodenschutz Düngung und Pflanzenschutz von besonderer Bedeutung, richtet sich der physikalische Bodenschutz im Wesentlichen auf zwei Problembereiche, die schädliche Bodenveränderungen mit nachhaltigen Folgen für die genannten Bodenfunktionen zur Folge haben können: Bodenerosion und Bodenverdichtung (Sommer, 2003).

Die Empfehlungen des Wissenschaftlichen Beirates Bodenschutz (2000), die EU-Aktivität "Hin zu einer spezifischen Bodenschutzstrategie" (2002) und die derzeitigen Diskussionen zu untergesetzlichen Regelungswerken (Lebert et al., 2003) geben aus verfahrenstechnischer Sicht Veranlassung, im Folgenden für beide Problembereiche nach kurzen Rück-

blicken den Stand der Technik sowie landtechnische zukünftige Perspektiven aufzuzeigen.

## 2 Verfahrenstechnische Beiträge zum physikalischen Bodenschutz

Mit dem In-Kraft-Treten des Bundesbodenschutzgesetzes (Bundesgesetzblatt, 1998) ist die Vorsorge vor dem Entstehen von Bodenbelastungen sowie die Abwehr von Gefahren infolge schädlicher Bodenveränderungen – hier 'nichtstofflicher Bereich' – rechtlich geregelt. Art und Umfang der Vorsorge sind in §7 BBodSchG, der Gefahrenabwehr in §4 BBodSchG beschrieben. Zur Erfüllung der Vorsorgepflicht bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung verweist §7 auf den §17 BBodSchG. Dort wird die gute fachliche Praxis mit sieben Grundsätzen angesprochen:

"1. ...

3. Bodenverdichtungen sind, insbesondere durch Berücksichtigung der Bodenart, Bodenfeuchtigkeit und des von den zur landwirtschaftlichen Bodennutzung eingesetzten Geräten verursachten Bodendrucks, so weit wie möglich, zu vermeiden,
4. Bodenabträge sind durch eine standortangepasste Nutzung, insbesondere durch Berücksichtigung der Hangneigung, der Wasser- und Windverhältnisse sowie der Bodenbedeckung, möglichst zu vermeiden,

7. ...“

### 2.1 Problembereich Bodenerosion

Bodenerosion führt zum Verlust von Bodenmaterial (Verkürzung des Bodenprofils) und/oder zu Qualitätsverlusten (Minderung der Bodenfruchtbarkeit) und zur Eutrophierung von Oberflächengewässern. Bodenerosion kann die irreversible Beeinträchtigung von Bodenfunktionen bedeuten. Nach Schätzungen sind weltweit 8 % der Landoberfläche betroffen; für Deutschland wird angenommen, dass im langjährigen Mittel 8 t/ha/a durch Erosion verloren gehen, und in Niedersachsen sind 10 % der Ackerfläche potenziell erosionsgefährdet. Zu unterscheiden ist zwischen Onsite- und Offsite-Schäden. Die Tendenz zum Ablauf dieser Vorgänge ist eng mit der landwirtschaftlichen Nutzung verbunden (Frielinghaus et al., 2001).

#### 2.1.1 Rückblick

Mit den in der Praxis bis Anfang der 80er Jahre bekannten Möglichkeiten zur Vermeidung von Bodenabtrag durch Wasser oder Wind, wie Bearbeitung quer zum Hang, Streifeneinsaaten, Windschutzstreifen, landtechnischen Lösungsansätzen u. a., war es nicht gelungen, dem Problembereich Bodenerosion

im Sinne eines ganzflächigen, vorsorgenden Bodenschutzes zu begegnen. Im Gegenteil: Bodenerosion hat regional und standortspezifisch eher zugenommen. Die damit häufig verbundene Eutrophierung von Gewässern hatte den Problembereich in die öffentliche Diskussion gebracht.

Vor dem Hintergrund der schon damals weit fortgeschrittenen Arbeiten zu 'Crop Residue Management in the United States' (Lindstrom in diesem Heft), wurde auch in Deutschland die Bedeutung pflanzlicher Reststoffe auf/nahe der Bodenoberfläche sowie eines ungestörten vertikalen Weitporensystems in der Bodenmatrix erkannt (Baeumer und Pape, 1972). Man begann, einen veränderten Umgang mit Zwischenfrucht- und Erntereststoffen zu entwickeln und die besondere Bedeutung der Bodenbearbeitung in dieser Hinsicht herauszustellen (Sommer et al., 1985).

Bodenbearbeitung hat – neben Fruchtart und Fruchtfolge – besonderen Einfluss u. a. auf die Bodenbedeckung, deren Bedeutung für die Minderung von Bodenabtrag durch Wasser oder Wind als gravierender ermittelt wurde als die Rauigkeit einer reststofffreien Bodenoberfläche (Roth et al., 1990). Pflanzliche Reststoffe auf der Bodenoberfläche sind erheblich effektiver, da sie die Bodenkrümel vor dem direkten Angriff von Wasser oder Wind schützen, der Verschlammung vorbeugen und die Abflussgeschwindigkeiten reduzieren lassen.

Im Rahmen von Demonstrationsversuchen und eines Modellvorhabens in der Praxis bis Mitte der 90er Jahre wurden die Thesen "Mulchsaat mit Saatbettbereitung und Mulchsaat ohne Saatbettbereitung" führen auch unter Praxisbedingungen zu Bodenbedeckungsgraden, welche die Voraussetzung für bodenschützende Bearbeitung und Bestellung darstellen" und "Varianten der Mulchsaat zu den Reihenfrüchten Zuckerrübe und Mais sind praxisreif" analysiert. Die Ergebnisse wurden zum 2. Grundgedanken 'konservierender Bodenbearbeitung' (aus dem Englischen conservation tillage) entwickelt; nämlich das Belassen von Pflanzenreststoffen der Vor- und/oder Zwischenfrucht nahe bzw. auf der Bodeoberfläche mit dem Ziel einer möglichst ganzjährigen Bodenbedeckung über einem intakten Bodengefüge als vorbeugender Schutz gegen Verschlammung und Erosion (Sommer, 1998a).

### 2.1.2 Derzeitiger Stand

Inzwischen liegen umfangreiche Erfahrungen und technische Lösungen zum Bodenschutz bezüglich Erosion vor (Frielinghaus et al., 2001; Brunotte in diesem Heft). Konservierende Bodenbearbeitung spielt mit dem Baustein 'Mulchsaat' in den Handlungsempfehlungen zur guten fachlichen Praxis entsprechend BBodSchG §17 eine besondere Rolle und

erfährt in den Regionen gute Akzeptanz, wo häufig Bodenabtrag durch Wasser oder Wind droht (Tebrügge in diesem Heft).

Ist potentiell eine Gefährdung gegeben, sind Schutzmassnahmen vorzusehen und der erforderliche Bodenbedeckungsgrad abzuschätzen (Abb. 1). Richtwerte dafür sind zur Vorbeugung von Bodenabtrag unter unterschiedlichen Randbedingungen erarbeitet worden (Brunotte et al., 1999) und die Abschätzung des Bodenbedeckungsgrades durch den Praktiker mit Hilfe einer einfachen Methode nach Winnige wurde eingeführt (Brunotte et al., 2003).

### 2.1.3 Perspektiven

Vorsorgestrategien zum Problembereich Bodenerosion gründen sich auf die generelle, langfristige flächenbezogene Abschätzung der potenziellen Erosionsgefahr (Erfassungs- und Vorhersagemethoden, Frielinghaus et al., 2001) und auf die kurzfristig ereignisbezogene Abschätzung durch Landwirte und Berater vor Ort (Mosimann und Sandra, 2003). Der Bodenerosionsschlüssel von Mosimann dient als Instrument für Betriebsleiter und Berater zur Abschätzung des Bodenabtrags durch Bodenerosion auf ackerbaulich genutzten Feldern. Damit wird der Empfehlung des Wissenschaftlichen Beirates (2000) gefolgt, praxisnahe und anwendbare Erosionsprognosemodelle beschleunigt voranzutreiben.

Diese Methode wird für die Beratung nach guter fachlicher Praxis derzeit in einem Pilotprojekt validiert und erscheint sehr gut geeignet, da u. a. die Fruchtfolge und auch die Anbautechnik berücksichtigt werden. Mit ihr wird die Bodenabtragstoleranz differenziert betrachtet und auf die umstrittenen Angaben von Bodenabträgen in t/ha/a verzichtet (Mosimann und Sandra, 2003).

Aus verfahrenstechnischer Sicht werden grundlegende Entwicklungen weniger bezüglich der Mulchsaattechnik als vielmehr im Vorfeld (Stoppelbearbeitung, bodenschonende Lockerung) sowie beim Maschineneinsatz über die gesamte Fruchtfolge erwartet. Das beginnt mit der schon seit Jahrzehnten geforderten besseren Strohverteilung durch den Mährescher und endet mit der aus Bodenschutzgründen notwendigen Forderung nach bodenschonendem Befahren, so dass 'unnötige' Bodenlockerung, z.B. zur Beseitigung von Fahrspuren, unterbleiben kann. Auch 'precision agriculture' wird die Mulchsaat beeinflussen, da dem Agrarumweltindikator Bodenbedeckungsgrad auch teilflächenspezifisch Zukunft zugeschrieben wird.

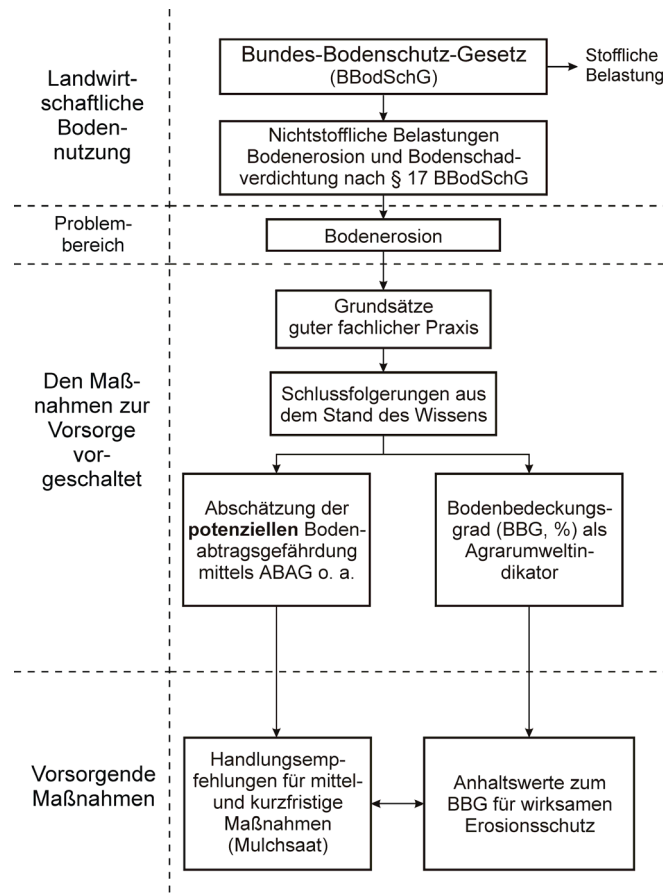


Abbildung 1  
Potenzielle Gefährdung und der Bodenbedeckungsgrad als Indikator für aktuelle Entscheidungshilfen

## 2.2 Problembereich Bodenschadverdichtung

Bodenverdichtung ist ein komplexes Problem, bei dem das Bodengefüge sein Volumen und/oder seine Gestalt ändert, je nachdem, welche Art der Belastung auf den Boden einwirkt und in welchem Gefügezustand der Boden sich vor der Belastung befand. Als Bodenschadverdichtung wird die Verdichtung (Zunahme der Bodendichte in  $\text{g/cm}^3$ , Knetung) bezeichnet, deren Gefügeveränderung negative, nachhaltige Auswirkungen auf die o.g. Bodenfunktionen hat.

Eine wesentliche Ursache für Bodenschadverdichtung sind Druck- und Schubspannungen, die beim Befahren mit Maschinen und Geräten in das Bodenprofil eingeleitet werden. In den letzten Jahren ist die Zahl leistungsfähiger Technik (Motorleistung, Eigen- und Nutzmasse) gestiegen. Damit haben häufig die Rad- bzw. Fahrwerkslasten zugenommen. Höhere Radlast kann das Bodengefüge, insbesondere unter feuchten Bedingungen während des Befahrens, stärker und bis in größere Tiefen beanspruchen. Ob die Folge eine Bodenschadverdichtung ist, hängt von den natürlichen Standortbedingungen und ganz maßgeblich von der Bodenfeuchte und den Fahrzeugparametern der eingesetzten Technik ab (Sommer et al., 2001).

### 2.2.1 Rückblick

Ausschlaggebend für das Eintreten von Bodenschadverdichtung durch mechanische Belastung sind neben dem Bodenzustand (Bodenfeuchte, Bodendichte) die Fahrzeugparameter (Radlast, Radabmessungen, Reifeninnendruck, Karkassensteifigkeit, Radschlupf) und die Überrollhäufigkeit. Als Folge der mechanischen Belastung (Radlast,  $t$ ; Kontaktflächen- druck,  $\text{kPa}$ ) an der Bodenoberfläche entsteht tiefenabhängig im Bodenprofil der Bodendruck, der seit Söhne (1953) in Form sogen. Druckzwiebeln als Linien gleichen Bodendruckes gemessen und dargestellt wird (Bolling und Söhne, 1982).

Die über das Fahrwerk eingeleitete Last (in vertikaler und horizontaler Richtung) wird auf die Kontaktfläche übertragen, von der aus der Bodendruck mit zunehmender Tiefe abnimmt, da immer mehr Bodenpartikel "mittragen". Doppelte Last hat bei gleicher Kontaktfläche (heute ein theoretischer Wert, da durch die Abplattung des Reifens die Kontaktfläche größer wird) den doppelten Kontaktflächendruck sowie größere Tiefenwirkung zur Folge. In dieser Hinsicht geben heutige max. Radlasten, u. a. bei Mäh-dreschern bis  $7,5\text{ t}$  und bei Zuckerrübenrodern bis

11,5 t (Weißbach, 2001), Anlass zur Sorge. Deren Auswirkungen auf den Bodendruck in Grenzen zu halten, wurde in den 80er und 90er Jahren zunächst auf Zwillingsbereifung und dann auf Breitreifen gesetzt (Isensee et al., 2001). Auch das Pflügen trägt in erheblichem Maße zur Gesamtbelastung bei, wenn dabei in der Furche gefahren wird.

Übersteigt der Bodendruck im Bodenprofil die Eigenstabilität des Bodengefüges ebendort, tritt Bodenverdichtung ein. Bodenverformung kann mit Hilfe empirischer, halbtheoretischer, bodenmechanischer Modelle analysiert werden (Horn et al., 2000). Darauf aufbauend gelingt es mittels eines Belastungsquotienten (Eckert et al., 1999), die potenzielle Verdichtungsgefährdung im Feuchtebereich der Feldkapazität abzuschätzen und eine Schwachstellenanalyse durchzuführen, die dem Betriebsleiter mittel- bis langfristige Entscheidungshilfen für Investitionen (z.B. für Breitreifen) gibt.

Ist Schadverdichtung in der Ackerkrume mit üblicher Bodenbearbeitung mehr oder weniger entgegen zu wirken, sind solche im Unterboden – wenn überhaupt – nur schwer, mit Tieflockerung nur unter großem Aufwand und nicht ohne ackerbauliche Nachsorgemaßnahmen zu 'reparieren'. Auswirkungen von Bodenschadverdichtung können Mindererträge, Nährstoffverluste durch Auswaschung und Denitrifikation, verstärkte Bodenerosion durch Wasser sowie Beeinträchtigungen der Filter- und Pufferfunktion und der Lebensraumfunktion sein (Dürr et al., 1995).

### 2.2.2 Derzeitiger Stand

Es liegt im Interesses des Landwirts, die Bodenfertbarkeit seiner Flächen zu erhalten bzw. zu verbessern, und das BBodSchG fordert Vorsorge und ggf. Gefahrenabwehr.

Hinsichtlich der Vorsorgepflicht genügt der Landwirt §17 BBodSchG, wenn er nach guter fachlicher Praxis wirtschaftet. Heute bekannte Handlungsempfehlungen und Schutzmaßnahmen zum Problembereich 'Bodenschadverdichtung' wurden in einem Konzept 'Bodenschonendes Befahren', das aus vier Bausteinen besteht (Abb. 2), zusammengeführt (Sommer, 1998b).

Das Konzept zeigt dem Landwirt bzw. Berater die betriebs-, standort- und fruchtfolgespezifischen Möglichkeiten zur 'guten fachlichen Praxis', aus denen er für seine speziellen Verhältnisse auswählen kann (Verfahrensstrategien, Maßnahmen, Techniken).

Für die 'Belastbarkeit des Bodens' spielt wiederum konservierende Bodenbearbeitung eine dominante Rolle. Aus Ergebnissen mehrjähriger Feldversuche (Sommer und Zach, 1992; Brunotte et al., 2000) wurde der 1. Grundgedanke 'konservierender Bodenbear-

beitung' entwickelt und bestätigt; nämlich die Reduzierung der üblichen Intensität der Grundbodenbearbeitung nach Art, Häufigkeit und Tiefe des mechanischen Eingriffs mit dem Ziel eines stabilen, tragfähigen Bodengefüges infolge schonender, d.h. nichtwendender Lockerung und längerer Bodenruhe als vorbeugender Schutz gegen Verdichtung durch nachfolgendes Befahren (Sommer, 1998a). Leider reduziert in heutigen Fruchtfolgen schon der Ersatz von Wintergerste durch Winterweizen die Zeitspanne für bodenschonende Lockerung (mit Pflug wie auch konservierend).

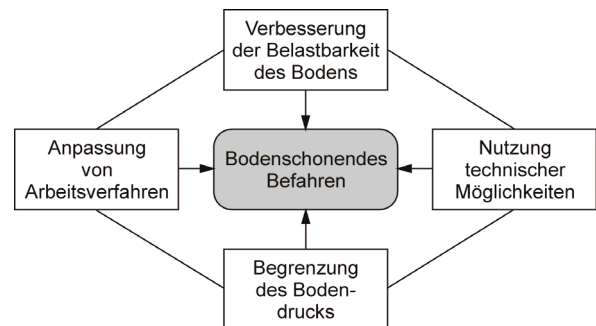


Abbildung 2  
Das Konzept für bodenschonendes Befahren

Die Anpassung von Arbeitsverfahren und die Nutzung technischer Möglichkeiten sind weitere Bausteine des Konzeptes (Sommer et al., 2001), die für Bodenschutz in der Praxis größere Bedeutung erhalten sollten.

Hinsichtlich der Gefahrenabwehr von Schäden an den Bodenfunktionen durch Verdichtung hat der Gesetzgeber mit §8 BBodSchG die Option, Anordnungen über zu ergreifende Maßnahmen zu treffen. Da bisher Regelungen dazu in der BBodSchVO nicht vorliegen, wurden Indikatoren und vier Schlüsselindikator-konzepte untersucht (Lebert et al., 2003). Ergebnis ist, dass sie alle als alleinige Basis zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung durch Bodenverdichtung noch nicht verwendet werden können. Sie sind zu vervollständigen und ggf. zu verknüpfen, bevor sie in eventuelle Regelungen zur Gefahrenabwehr in die BBodSchVO eingehen können.

### 2.2.3 Perspektiven

Insbesondere mit Blick auf den nachhaltigen Unterbodenschutz sind zusätzliche Lösungsansätze erforderlich mit dem Ziel, den Bodendruck im Bodenprofil unter feuchten Bedingungen zu begrenzen (Abb. 3).

Da unter feuchten Bedingungen hohe Radlast (und hoher Kontaktflächendruck) die Ursache für Schadverdichtung ist, liegt es zunächst nahe, maximale Radlasten zu empfehlen (Håkansson und Danfors,

1981; Schröder, 2003), zumal die Radlast mit vertretbarem Aufwand rechnerisch als Quotient aus Gesamtmasse (leer bzw. voll) und Anzahl der Räder, ggf. auch sensortechnisch, zu ermitteln ist. Auch dienen Vorschriften für zulässige Achslasten auf Straßen und Brücken als Vorbild.

der Empfindlichkeit des Bodens gegenüber Verdichtung aufgrund von Textur und Packungsdichte sowie aufgrund der Bodenfeuchte maximalen Werten für den Reifeninnendruck zuzuordnen (Abb. 4).

Der Reifeninnendruck ist in der Praxis leicht zu ermitteln, vom Landwirt bei vertretbarem Aufwand

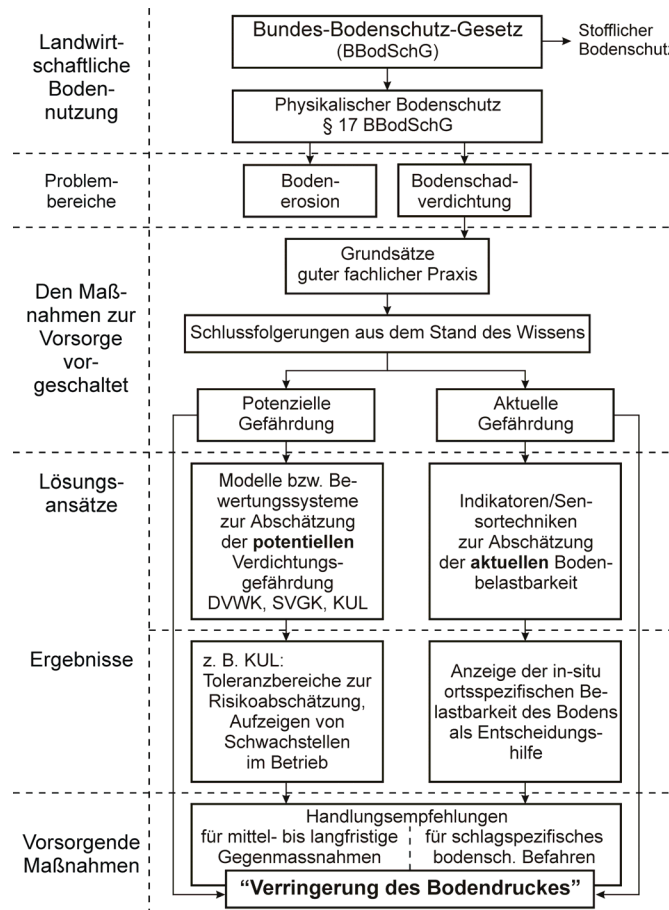


Abbildung 3

Potenzielle und aktuelle Gefährdung führen zu sich ergänzenden Handlungsempfehlungen

Dagegen spricht, dass jede noch so geringe zulässige Radlast unter entsprechend feuchten Bedingungen (im Unterboden!) zu hoch und unter trockenen Bedingungen eine solche Restriktion schärfer als zum Bodenschutz erforderlich sein könnte (Weisskopf, 2003, in diesem Heft). Daraus folgt, dass der Indikator Radlast nur in Kombination mit der aktuellen Bodenfeuchte sinnvoll einzusetzen wäre. Letztere kann örtlich und zeitlich jedoch stark variieren und ist online (!) nicht zu bestimmen (wie übrigens die wirk- same dynamische Resultierende aus Radlast und Triebkraft sowie heute die tatsächliche Kontaktfläche und der Kontaktflächendruck auch nicht).

Andererseits werden für Vorsorge und Gefahren- abwehr Indikatoren mit Zielwerten benötigt. Einen pragmatischen Ausweg bietet der Indikator Reifenin- nendruck (Chamen et al., 2003). Es wird vorgeschla- gen, eine Bodenzustandsklassifizierung auf der Basis

mit Sensoren, die aus dem Automobilbau bekannt sind, zu kontrollieren (Sommer und Brunotte, 2003) und mittels Reifenreglern in Abhängigkeit vom der Fahrbahn (Straße, Feld) zu steuern bzw. auch zu re- geln (Volk, 2003). Schließlich werden mit Zielwerten für den Reifeninnendruck über die Reifentabelle indi- rekt auch Vorgaben zur max. Radlast gemacht. Solche Zielwerte werden heute mit <1,0 bar auf locke- rem/feuchten Ackerboden (etwa im Frühjahr) und mit <2,0 bar auf abgesetztem/trockenem Boden (etwa im Sommer/Herbst) angegeben (Isensee et al., 2001). Heutige Ackerschlepper-Radialreifen können auf dem Acker mit 0,8 bar gefahren werden, bodenschonender sind 0,5 bar (Tijink in diesem Heft). Solche Zielwerte für einen praxisrelevanten Indikator umzusetzen, käme der Empfehlung des Wissenschaftlichen Beira- tes (2000) entgegen, technische Normen für die ein- gesetzte Landtechnik abzuleiten.

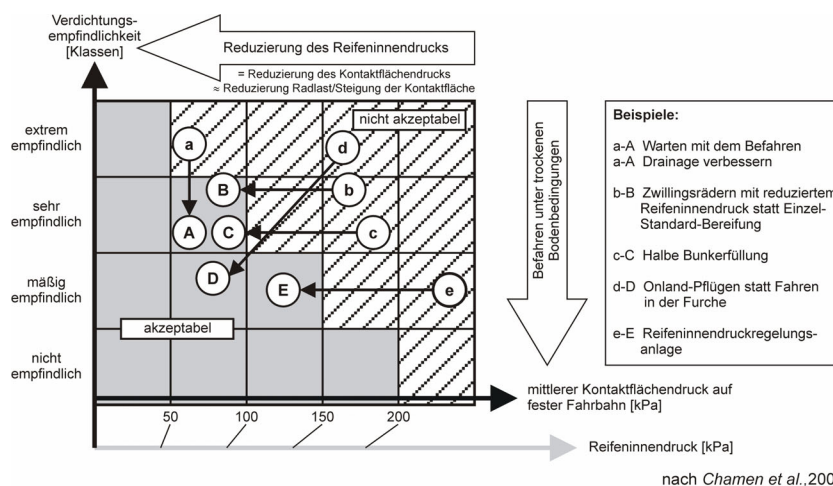


Abbildung 4  
Verdictungsempfindlichkeit und max. Reifeninnendruck

Allerdings wird damit noch nicht die aktuelle Verdictungsgefährdung berücksichtigt. Dafür bedarf es zusätzlicher In-situ-Entscheidungshilfen für den Fahrer hinsichtlich der aktuellen Befahrbarkeit des Bodens. Ein erster Schritt war der Vorschlag für einen Lasersensor zur Spurtiefenmessung am Rübenroder (Brunotte et al., 2000). Für das komplexe Problem Unterbodenschadverdichtung ist Spurtiefe alleine allerdings kein ausreichender Indikator.

Eine Weiterentwicklung richtet sich auf die sensortechnische Ermittlung der tatsächlichen Kontaktfläche (Isensee, 2003, in diesem Heft) sowie die Online-Nutzbarmachung der Druckausbreitung im Boden während des Befahrens auf der Grundlage des Modells nach Jaklinski (Jasinski in diesem Heft). Mit diesem Modell können Normalspannung und Scherspannung in der Kontaktfläche Reifen-Boden berechnet werden. Aufbauend auf der Druckverteilung in der Kontaktfläche wird nach Olsen die Tiefenausbreitung des vertikalen Bodendruckes im Bordcomputer berechnet. Testmessungen verliefen aussichtsreich (Sommer et al., 2001). Die Vision mancher Techniker ist ein Befahrbarkeitssensor als Entscheidungshilfe für den Fahrer.

### 3 Schlussfolgerungen und Forschungsbedarf

#### 3.1 Problembereich Bodenerosion

Nach §17 BBodSchG wird die Vorsorgepflicht zu 'Bodenerosion vermeiden' durch die Einhaltung der Grundsätze zur 'Guten fachlichen Praxis' erfüllt. Gegebenenfalls sind auch Maßnahmen zur Gefahrenabwehr vorzusehen.

Handlungsempfehlungen und Schutzmassnahmen sind fruchtfolgespezifisch darauf zu richten und zu planen, dem Entstehen von Bodenabtrag vorzubeugen; das Risiko ist durch die jeweilige Bodennutzung gegeben.

Mulchsaat mit bzw. ohne Saatbettbereitung ist, neben der Direktsaat, die einzige, ganzflächige Maßnahme, die im Ackerbau – in Zukunft auch teilflächenspezifisch – Wirksamkeit versprechen kann. Dazu sind alle Möglichkeiten auszuschöpfen, für die die wesentlichen sind: erweiterte Fruchtfolgen (Zwischenfrucht, deren abgestorbene Reststoffe den idealen Einstieg in konservierende Bodenbearbeitung anbieten; Blattfrüchte und Getreide im Wechsel, um u. a. dem Fusarienproblem zu begegnen; Sommerungen zur Bekämpfung von Ungras und Unkraut), beratende Unterstützung zur Verbesserung der Akzeptanz für konservierende Bodenbearbeitung sowie Input-Output-Analysen unter Einbeziehung ökonomischer und ökologischer Aspekte.

Die Maßnahmen der 'Guten fachlichen Praxis' sind auf Betriebsebene zu verbessern durch (FB: Forschungsbedarf):

- Schaffung von Anreizen zur Einführung bekannter Lösungen (u. a. Mulchsaat/konservierende Bodenbearbeitung) mit entsprechender Ausrichtung der Beratung;
- Weiterentwicklung und Validierung des Bodenerosionsschlüssels zur ereignisbezogenen Abschätzung des Bodenabtrags durch Landwirte und Berater vor Ort (FB);
- Erarbeitung von Indikatoren zur Beurteilung des Bodenzustandes und der Wirksamkeit von Schutzmassnahmen und Weiterentwicklung von Bewertungssystemen (FB);
- Erweiterung von Bodenuntersuchungsprogrammen um bodenschutzrelevante Parameter (FB);
- Initiierung/Erweiterung von Bodenüberwachungssystemen hinsichtlich des tatsächlich eingetretenen Bodenabtrags (FB);
- Aufnahme von Agrarumweltmaßnahmen, die auf bodenschutzrelevante, für unterschiedliche Land-



bewirtschaftungssysteme (Integrierter Pflanzenbau, Ökologischer Pflanzenbau) spezifische Möglichkeiten ausgerichtet sind, in die Pläne zur Entwicklung des ländlichen Raums.

### 3.2 Problembereich Bodenschadverdichtung

Nach §17 BBodSchG wird die Vorsorgepflicht zu ‚Bodenverdichtung soweit wie möglich vermeiden‘ mit der Einhaltung der Grundsätze zur ‚Guten fachlichen Praxis‘ erfüllt.

Grund zur Sorge, das Bodengefüge insbesondere im Unterboden könnte durch den Einsatz heutiger leistungsstarker und häufig auch schwerer Landtechnik Schaden nehmen, geben Untersuchungsergebnisse, die im Einzelfall auf negative Auswirkungen solcher mechanischer Bodenbelastung auf das Bodengefüge hinweisen (Dürr et al., 1995; Lebert et al., 2003).

Es stellt sich deshalb die Frage, ob zum Schutz des Bodens die bekannten Vorsorgemaßnahmen ausreichen oder ob sie durch gesetzliche Regelungen zur Gefahrenabwehr unterstützte werden müssen. Lebert et al. (2003) kommen zu dem Schluss, dass die derzeit diskutierten Schlüsselindikator-konzepte in der vorliegenden Form zur Bewertung von Bodenschadverdichtung im Unterboden noch nicht geeignet sind.

Die bisherige Tendenz zunehmender Radlast kann mit den Zielen eines vorsorgenden Bodenschutzes zukünftig nur in Einklang gebracht werden, wenn der Bodendruck unter feuchten Bedingungen in Grenzen zu halten ist. Insbesondere für den Unterbodenschutz werden Maßnahmen erforderlich, die über die Grundanforderungen der ‚Guten fachlichen Praxis‘ hinausgehen:

- Schaffung und Forcierung von Beratungsbeispielen, die bekannte und neuere Lösungsansätze zur Vorbeugung/Minderung von Bodenschadverdichtung in praxi einsetzen und Bodenschutz erreichen lassen, z. B. bodenschutzrelevantes Logistikmanagement in Zuckerrübenroderegemeinschaften (FB);
- Schlüsselindikator-konzepte weiterentwickeln, verknüpfen und validieren (FB);
- Innovative Entscheidungshilfen, den Bodendruck während des Befahrens in Grenzen zu halten. Die auf dem Markt angebotene Anzeige der Spurtiefe ist für den Ackerkrumenschutz ein erster Schritt, muss jedoch für den Unterbodenschutz zu einem Befahrbarkeitssensor weiter entwickelt werden (FB);
- Empfehlungen zu Indikatoren zur Beurteilung des Bodenzustandes (Verdichtungsempfindlichkeit) bereitstellen und Richtwerte für die Umsetzung bodenschonenden Befahrens erarbeiten (Reifeninnendruck u. a.);

- Erweiterung von Bodenuntersuchungsprogrammen um bodenschutzrelevante Parameter (FB);
- Initiierung/Erweiterung von Bodenüberwachungssystemen hinsichtlich Bodenschadverdichtung (FB);
- Aufnahme des gezielten physikalischen Bodenschutzes in die zweite Säule der Agrarpolitik.

### Literatur

- Baeumer K, Pape G (1972): Ergebnisse und Aussichten des Anbaus von Zuckerrüben im Ackerbausystem ohne Bodenbearbeitung. Zucker 25 (22): 711-718
- Biller R, Brunotte J (1994): Maschinelle Pflege stillgelegter Flächen. Agrartechnik 73 (10): 26-28
- Biller RH, Ihle W (2000): Pflanzenunterscheidung mit optischen Sensoren. Landtechnik 55 (2): 148-149
- Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung (1984), Kohlhammer Verlag
- Bolling J, Söhne W (1982): Der Bodendruck schwerer Acker-schlepper und Fahrzeuge. Landtechnik 37 (2): 54-57
- Brunotte J, Voßhenrich H-H, Ortmeier B (2003): Strohverteilung und Präzisionsstoppelbearbeitung – Eckpfeiler des modernen Strohmanagements. Getreide-Magazin 2: 114-118
- Brunotte J, Weißbach M, Rogasik H, Isensee E, Sommer C (2000): Zur guten fachlichen Praxis beim Einsatz moderner Zuckerrüben-Erntetechnik. Zuckerrübe 49: 34-40
- Brunotte J, Winnige B, Frielinghaus Mo, Sommer C (1999): Der Bodenbedeckungsgrad – Schlüssel für gute fachliche Praxis im Hinblick auf das Problem Bodenabtrag in der pflanzlichen Produktion. Bodenschutz 2: 57-61
- Bundgesetzblatt (1998): Gesetz zum Schutz des Bodens. Nr. 16, 502-510
- Chamen WTC, Alakukku I, Pires S, Sommer C, Spoor G, Tijink FGJ, Weisskopf P (2003): Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction. A review. Part 2. Equipment and Field practices. Soil & Tillage Research 73 (in press)
- Dürr H-J, Petelkau H, Sommer C (1995): Literaturstudie "Bodenverdichtung". UBA-Texte 55/95: 203 p
- Ecker H, Breitschuh G, Sauerbeck D (1999): Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL) – ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben. Agrobiological Research 52 (1): 57-76
- Frielinghaus Mo, Brandhuber R, Gullich P, Schmidt W-A (2001): Vorsorge gegen Bodenerosion. In: BMVEL (Hrsg.) Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtung: 44-92
- Horn R, van den Akker JJH, Arvidsson J (2000): Subsoil compaction. Advances in Geocology, 32, Catena-Verlag, Reiskirchen
- Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institutsflyer (1999)
- Irps H (2002): Mobile Windkraftanlage MOWEC. Landtechnik 57 (6): 346-347
- Isensee E, Weißbach M, Sommer C, Brunotte J (2001): Bodenschonung mit moderner Technik. DLG-Arbeitsunterlage B/2001, Selbstverlag, Frankfurt
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2002): Hin zu einer spezifischen Bodenschutzstrategie. Mitteilung C5-0328/02
- Lebert M, Brunotte J, Sommer C (2003): Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden/Regelungen zur Gefahrenabwehr. Entwurf UBA-Abschlussbericht (UFOPLAN 200 71 245)

- Mosimann Th, Sandra S (2003): Bodenerosion selber abschätzen. Projektbericht des Instituts Physikalische Geographie und Landschaftsökologie der Universität Hannover, 29 p
- Roth H, Brunotte J, Sommer C (1990): Die Bedeutung von Verschlämmungen und Verdichtungen auf Lößböden. Zuckerrübe 39 (1): 50-57
- Schröder D (2003): persönliche Mitteilung
- Söhne W (1953): Druckverteilung und Bodenverformung unter Schlepperreifen. Grundlagen der Landtechnik 5: 49-63
- Sommer C (1998a): Konservierende Bodenbearbeitung – ein Konzept zur Lösung agrarrelevanter Bodenschutzprobleme. Landbauforschung Völkenrode SH 191: 128 p
- Sommer C (1998b): Ein Konzept zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtung in der pflanzlichen Produktion. Bodenschutz 1: 12-16
- Sommer C (2003): Beiträge der Landtechnik zum physikalischen Bodenschutz. KTBL-Tagung Bewertung von Umweltschutzeleistungen in der Pflanzenproduktion, 03.-04.04.2003, Halle/S., KTBL-Schrift 415:23-30
- Sommer C, Brandhuber R, Brunotte J, Buchner W (2001): Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen. In: BMVEL (Hrsg.) Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtung: 14-41
- Sommer C, Brunotte J (2003): Lösungsansätze zum Problembereich Bodenschadverdichtung in der Pflanzenproduktion. Landnutzung und Landentwicklung (im Druck)
- Sommer C, Walter K, Lebert M, Jaklinski L, Jasinski B (2001): Effiziente und bodenschonende Triebkraftübertragung vom Reifen zum Boden. Landtechnik 56 (5): 316-317
- Sommer C, Zach M (1992): Managing traffic-induced soil compaction by conservation tillage. Soil & Tillage Research 24: 319-336
- Sommer C, Zach M, Dambroth M (1985): Konservierende Bodenbearbeitung, Ergebnisse und Erfahrungen aus der Praxis. Agrar-Übersicht 5
- Sonnenberg H. (2002): Mechanische Aufbereitung von Einstreu-Material für die Tierhaltung zur Verbesserung der Qualität, Forschungsberichte Agrartechnik 396
- Sourell H, Sommer C, Al-Karadsheh E (2003): Teilflächenspezifische Beregnung : eine neue Beregnungsstrategie (im Druck)
- Volk L (2003): Landtechnische Lösungsansätze zur ressourcenschonenden Bewirtschaftung von Acker- und Grünlandflächen. Soester Agrarforum
- Voßhenrich H-H, Sommer C (2002): Bodenbearbeitung (TP III-3). In: KTBL (Hrsg.) Precision Agriculture – Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. KTBL, Darmstadt. Sonderveröffentlichung 038, pp 237-249
- Walter K, Heinrich I (2003): Die Entwicklung der Milchleistung, ihre einzelbetrieblichen Voraussetzungen und Antriebskräfte. Berichte über Landwirtschaft 81 (3), im Druck
- Weißbach M (2001): Bodenschonende Reifen für Großmaschinen und Schlepper. RKL-Schrift 2.1.2.1: 339-395
- Wissenschaftlicher Beirat Bodenschutz (2000): Wege zum vorsorgenden Bodenschutz. Bodenschutz und Altlasten Bd 8. Erich Schmidt Verlag, ISBN 3 503 05867 2