

Bodenschadverdichtung

Strategien und Techniken zum physikalischen Bodenschutz

Zu den Leitbildern nachhaltiger Landwirtschaft gehören Vermeidung oder Verminderung anthropogen verursachter Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen. Interesse des Landwirts und Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG, 1998) verlangen, dass Landbewirtschaftung Vorsorge und Gefahrenabwehr zu berücksichtigen hat. Im Bereich des physikalischen Bodenschutzes gilt dies für den Problembereich Bodenverdichtung. Die Maßnahmen zum Bodenschutz durch „gute fachliche Praxis“ sind analysiert und dokumentiert. Alle Verantwortlichen und Beteiligten sind aufgefordert, diese sowie Strategien und innovative Techniken weiter zu entwickeln.

Dir. und Prof. PD Dr.-Ing. Claus Sommer ist Leiter, Dr. Matthias Lebert wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Betriebstechnik und Bauforschung der FAL, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig; e-mail: claus.sommer@fal.de

Dr. Lech Jaklinski ist Wissenschaftler und Dr. Bogdan Jasinski wissenschaftlicher Abteilungsleiter im Institut Mechanical Engineering der Technischen Universität Warschau, Plock/Polen.

Schlüsselwörter

Bodenschadverdichtung, Bodenschutz, Befahrbarkeitssensor

Keywords

Soil compaction, soil conservation, trafficability sensor

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 03216 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Als Bodenschadverdichtung wird diejenige Bodenverdichtung bezeichnet, deren Gefügeveränderungen negative nachhaltige Auswirkungen auf die Bodenfunktionen (Ertrags-, Regelungs- und Lebensraumfunktion) hat. Sie kann in der Ackerkrume, in der Krumbasis darunter und im Unterboden auftreten. 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) nicht zu Bodenschadverdichtung kommt. Dazu sind die technischen, verfahrenstechnischen und ackerbaulichen Möglichkeiten der „guten fachlichen Praxis“, die standort-, betriebs- und fruchtfolgespezifisch zur Verfügung stehen [1, 5], insbesondere mit Blick auf den Unterboden, derzeit nicht ausreichend.

Indikatorenkonzepte und Sensorsysteme können dazu beitragen, mechanische Bodenbelastung und Bodenbelastbarkeit zu charakterisieren und Entscheidungshilfen für Boden schonendes Befahren zu geben.

Indikatoren zum Problembereich Bodenschadverdichtung

Vorsorge, Gefahrenabwehr und Sanierung sind die drei gesetzlich vorgegebenen Schutzstufen gegen schädliche Bodenveränderungen. Dazu werden – entsprechend der

Einführung von Grenzwerten etwa im Pflanzenschutzbereich – Diskussionen um solche Werte auch im physikalischen Bereich geführt. Umstritten sind im Falle des Problembereichs Bodenschadverdichtung die Indikatoren, die zur Analyse heranzuziehen sind. In Bild 1 sind Definitionen und eine Auswahl möglicher Indikatoren (Fahrzeug- und Bodenparameter) zusammengestellt.

Während die Bodenparameter im Wesentlichen zur Erkennung einer Bodenschadverdichtung sowie zur Kontrolle des Erfolges von Schutzmaßnahmen herangezogen werden können, geht es bei den Fahrzeugparametern zunächst um die Frage, welche unter Praxisbedingungen für Richtwerte zur Vermeidung von Bodenschadverdichtung geeignet sind.

Die Radlast (oder Achslast) ist rechnerisch mit vertretbarem Aufwand als Gesamtmasse (leer oder voll) dividiert durch die Anzahl der Räder (oder Achsen) gegebenenfalls auch sensortechnisch zu ermitteln. Sie entscheidet über den Bodendruck in tieferen Bodenschichten. Die Folgen einer Radlast (plus Überrollhäufigkeit und Schlupf) hängen jedoch ganz maßgeblich von der aktuellen Bodenfeuchte eben dort ab. Damit ist die Bodenfeuchte im Unterboden während des Befahrens, für die es bislang keine praktikable direkte Messmethodik gibt, ein Schlüsselindikator. Sie kann örtlich und zeitlich stark variieren. Eine Festlegung von Radlastwerten wäre nur in Kombination mit der aktuellen Bodenfeuchte sinnvoll (trockener Boden ist tragfähiger als feuchter Boden), was derzeit für den Praktiker nicht zu reali-

Tab. 1: Normalspannungen und Scherspannungen in der Kontaktfläche unter dem Reifenzentrum der Einzelradmessvorrichtung auf lehmigem Sandboden (berechnet nach dem Modell Jaklinski) in Abhängigkeit von den Verformungskenngrößen nach Bild 2 und den Parametern Triebkraft, Radlast und Schlupf; dargestellt sind Mittelwerte aus zehn Reifenumdrehungen.

Table 1: Normal and shear stresses in loamy sand in the contact area below the wheel centre of the single wheel measuring device depending on deformation criteria acc. to fig. 2 and the parameters

traction coefficient, wheel load and slip; mean values of 10 wheel rotations	200		3,9		250		5,5	
	Radlast (t)		Reifeninnen-		druck (kPa)			
Schlupf	10	20	10	20	10	15		
Triebkraft (kN)	14,9	17,4	14,0	16,8	18,1	20,3		
Normalspannung (kPa)	162	144	172	150	238	224		
Scherspannung (kPa)	59	62	59	62	76	81		

Fahrzeugparameter vehicle parameters	Fahrzeugparameter vehicle parameters	Bodenparameter soil parameters
<ul style="list-style-type: none"> Radlast wheel load (ATV-DVWK, 2002) Projektionsdruck projection pressure (Renius, 1989) Kontaktflächendruck contact pressure (Jaklinski, 1999) Reifeninnendruck inflation pressure (Chamen et al., 2002) 	<ul style="list-style-type: none"> mechanische Bodenbelastung <i>mechanical loading</i> - Radlast F (t) - Kontaktflächendruck p_c (kPa, bar) Bodenbeanspruchung <i>soil stress</i> - Bodendruck p_a (kPa, bar) Bodenverdichtung <i>soil compaction</i> - Zunahme der Bodendichte u. Änderung weiterer Bodenparameter Bodenschadverdichtung <i>soil compaction with negative effects on soil functions</i> nachhaltig negative Auswirkungen auf Bodenfunktionen 	<ul style="list-style-type: none"> Bodendichte <i>soil density</i> (Petelkau, 2000) Penetrometerwiderstand <i>penetrometer resistance</i> (Sonderhoff, 1988) Luftkapazität <i>air capacity</i> (Eckert et al., 1999) ges. Wasserleitfähigkeit <i>water conductivity</i> (Werner et al., 1999) Vorbelastung <i>pre compression</i> (Lebert, 1989) Druckbelastbarkeit <i>load capacity</i> (Paul, 1999) Feldgefügeansprache <i>soil structure</i> (Dietz, 1991) Spurtiefe <i>rut depth</i> (Brunotte et al., 2000)
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Belastbar-/Befahrbarkeitssensor für in-situ-Anzeige/Entscheidungshilfe/traffability sensor (Sommer et al., 2002) </div>	

Bild 1: Indikatoren zum Problembereich Bodenschadverdichtung

Fig. 1: Indicators regarding the problem of soil compaction

sieren ist. Der Parameter Radlast wird deshalb als alleiniger Indikator für Richtwerte zur Belastbarkeit für untauglich gehalten.

Der Projektionsdruck ist als Quotient aus Radlast und Projektionsfläche des Reifens bei gegebener Radlast einfach zu bestimmen. Er ist für Fahrwerksvergleiche von Vorteil, nicht jedoch hinsichtlich der Bodenbelastung (siehe Radlast).

Der Kontaktflächendruck p_k , als mittlerer Wert aus Radlast und Triebkraft dividiert durch die Kontaktfläche Reifen/Boden, bestimmt die Ausgangsbeanspruchung nahe der Bodenoberfläche während des Befahrens. Er setzt sich aus Normal- (infolge der vertikalen Belastung) und Scherspannungen (infolge der horizontalen Belastung durch Trieb- und Bremskräfte) zusammen. Deshalb, aufgrund der unterschiedlichen Verteilung innerhalb der Kontaktfläche und insbesondere wegen der nicht bekannten Kontaktfläche, ist die Verwendung des mittleren Kontaktflächendrucks als Indikator für in-situ-Entscheidungen problematisch.

Ein weiterer Indikator ist der Reifeninnendruck p_i . Er ist leicht zu kontrollieren, heute auch mit preiswerten Sensoren, und mittels „Reifenreglern“ [6] den unterschiedlichsten Bedingungen (Straße, Acker trocken oder feucht, radlastabhängig) anzupassen. Moderne Radialreifen lassen niedrigen Reifeninnendruck zu, dessen Vorteile (größere Kontaktfläche, höhere Triebkraft, geringerer Dieserverbrauch, geringere Spurtiefe) heute auf den Betrieben oft überhaupt nicht genutzt werden. Als Zielwerte für den Reifeninnendruck werden heute $<1,0$ bar auf lockerem Boden (etwa zum Zeitpunkt der Bestellung im Frühjahr) und $<2,0$ bar auf abgesetztem Boden (etwa zum Zeitpunkt der Ernte im Spätsommer) angegeben [3].

Heutige Traktor-Radialreifen können auf dem Acker mit $0,8$ bar gefahren werden, bodenschonender sind $0,5$ bar. Auf den Indikator Reifeninnendruck stützt sich auch der Vorschlag einer EU-Arbeitsgruppe [2], Bodenklassen der Verdichtungsempfindlichkeit maximalen Werten für den Reifeninnendruck zuzuordnen. Schließlich ist bei gegebenem Reifeninnendruck über die Reifentabelle auch die maximal zulässige Radlast festgelegt.

Entwicklung eines modellgestützten Sensorsystems

Entwicklung eines modellgestützten Sensorsystems

Für den Maschineneinsatz zeichnet sich zur Unterstützung kurzfristiger Entscheidungen für bodenschonendes Befahren die Entwicklung von Sensorsystemen ab. Der erste Prototyp eines Lasersensors basiert auf dem Indikator Spurtiefe zur klassischen Bewertung der Befahrbarkeit durch den Praktiker, die als integrierender Parameter aller beim Befahren einwirkenden Faktoren insbesondere für den Unterbodenschutz alleine jedoch nicht ausreicht.

Deshalb sollen für das komplexe Problem Unterboden-Schadverdichtung weitere technische Ansätze hinzukommen: so eine derzeit im Feldversuch untersuchte modellgestützte Sensorik zur Ermittlung des realen Kontaktflächendrucks.

Nach dem Modell Jaklinski [in 5] ermöglicht ein Modul die Berechnung der Normal- und Scherspannungen innerhalb der Kontaktfläche aus den Parametern α_0 , β_0 , γ_0 , z_0 und e der Reifenverformung (Bild 2) sowie aus den Kenngrößen Radlast, Triebkraft und Schlupf.

Bekannt ist, dass mit zunehmender Radlast bei gleichem Reifeninnendruck der

Kontaktflächendruck zunimmt und bei gleicher Radlast mit abnehmendem Reifeninnendruck die Normalspannung in der Kontaktfläche abnimmt. Dies spiegelt sich in den Messungen mit der Einzelradmessvorrichtung und den Berechnungen nach dem Modell Jaklinski wider (Tab. 1).

Darüber hinaus ist aus Tabelle 1 auch zu erkennen, dass die Normalspannungskomponente des Kontaktflächendrucks mit steigendem Schlupf abnimmt, während die Scherspannungskomponente zunimmt. Nachgeschaltete Modelle sollen es so ermöglichen, den Bodendruck in größerer Tiefe zu berechnen und anzuzeigen [4].

Mit einer solchen modellgestützten Sensorik käme man dem Ziel näher, den in-situ-Bodendruck im Bodenprofil über den Bordcomputer für praxisgerechte Entscheidungen anzuzeigen oder auch Online-Regelungen zu ermöglichen.

Ausblick

Die Landwirtschaft ist auf leistungsfähige Maschinen und Geräte angewiesen. Entsprechende Technik hat Rad- und Fahrwerkslasten zur Folge, die – im Vergleich zur früher üblichen mechanischen Belastung – das Bodengefüge stärker und bis in größere Tiefen beanspruchen können.

Heutige Radlasten [7] geben tatsächlich Anlass zur Sorge, dass Bodenschadverdichtung infolge des Befahrens unter feuchten Bodenbedingungen insbesondere im Unterboden vorhanden ist oder entstehen kann. Sie kann die Bodenfunktionen nachhaltig negativ beeinflussen.

Möglichen Zielkonflikte zwischen ökonomischen und ökologischen Aspekten der Landbewirtschaftung ist durch Maßnahmen der „guten fachlichen Praxis“ sowie mit innovativen Techniken zu begegnen. Aus verfahrenstechnischer Sicht wird an der praxisgerechten Weiterentwicklung eines Befahrbarkeitssensors (Befahrbarkeit verstanden als mechanische Belastbarkeit des Ackerbodens ohne Bodenfunktionen negativ zu beeinflussen) gearbeitet, wobei der Schutz des Unterbodens im Vordergrund steht.

Bild 2: Schematische Darstellung der in das Modell Jaklinski eingehenden Parameter zur Ermittlung der Kontaktfläche und der Reifenverformung

Fig. 2: Parameters of the Jaklinski model to determine the contact area and the tire deformation

