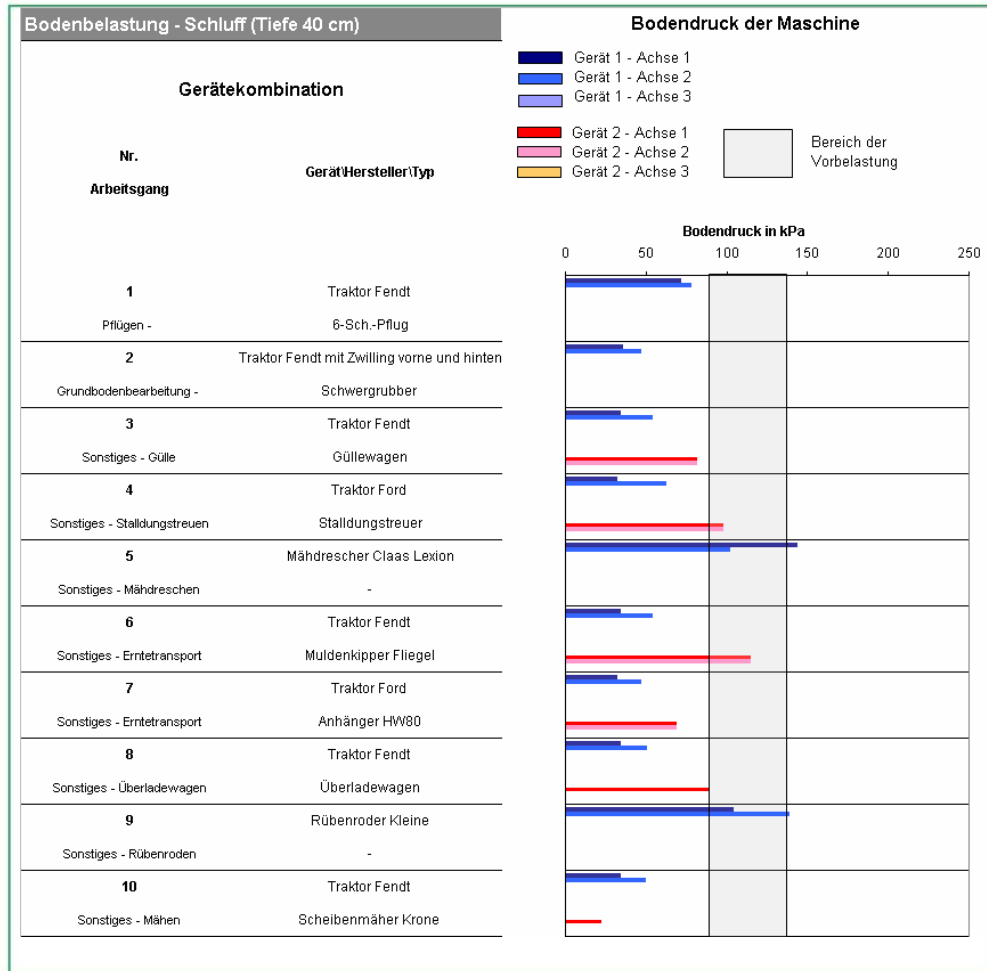




Das Lebensministerium



Entscheidungshilfe Bodendruck

Excel-Anwendung zur Einschätzung der mechanischen Bodenbelastung durch landwirtschaftliche Maschinen

Entscheidungshilfe Bodendruck

Die Entscheidungshilfe Bodendruck ist eine Excel-Anwendung zur Einschätzung der mechanischen Bodenbelastung. Diese ist konzipiert, um für den Einsatz von bestimmten Maschinen und -kombinationen auf dem Acker einen vergleichenden Überblick zur mechanischen Beanspruchung des Bodens zu geben. Ziel ist es für den Landwirt oder Berater sichtbar zu machen, welche Optimierungsmöglichkeiten und Grenzen zum Maschineneinsatz in seinem Betrieb im Sinne eines vorsorgenden Bodenschutzes bestehen und die Entwicklung eines entsprechenden Bewusstseins dafür zu fördern.

- 1. Einführung und Problemstellung**
- 2. Entscheidungshilfe Bodendruck**
- 3. Grundlagen**
- 4. Beispiel**
- 5. Anwendungsbereich und Grenzen**
- 6. Literatur**

1. Einführung und Problemstellung

Bodengefügeveränderungen insbesondere Bodenschadverdichtungen werden in der öffentlichen Diskussion neben der Bodenerosion als vorrangiges bodenphysikalisches Problem der Landwirtschaft angesehen. Im Bezug auf Ackerböden stehen vor allem die Schadverdichtungen in Form von Krumbasis- und Unterbodenverdichtung im Mittelpunkt des Interesses. Befahrung des Bodens mit hohen Maschinenlasten sowie Pflugeinsatz bei feuchten Bodenbedingungen bergen das Risiko von schädlichen Gefügeveränderungen bis in Tiefen des Bodens, die mit der üblichen Bodenbearbeitung nicht mehr gelockert werden.

Um die Bodenfunktionen nachhaltig zu sichern, müssen Schadverdichtungen vorsorgend vermieden werden. § 17 des BBodSchG formuliert dazu die Vorgaben im Rahmen der guten fachlichen Praxis.

Die Umsetzung bodengefügeschonender Maßnahmen in der Praxis stellt sich jedoch als schwierig dar. Das Problem liegt darin, dass mögliche Schädigungen des Bodengefüges im Unterboden an der Bodenoberfläche kaum sichtbar sind. Wuchsbeeinträchtigungen und damit verbundenen Ertragseinbußen lassen sich bisher nur in aktuellen und ehemaligen Fahrspuren in der Krume sowie auf Vorgewenden beobachten. Die ständig fortschreitende Optimierung pflanzenbaulicher Maßnahmen im Oberboden (z.B.

Düngung, Lockerung, Unkrautbekämpfung) überdeckt häufig den Effekt ungünstiger Verhältnisse im Unterboden. Die Folgen von schädlichen Unterbodenverdichtungen (Pflugsohlen und Krumbasisverdichtungen), wie verringerte Durchwurzelbarkeit, gehemmter Wasser- und Lufttransport, schlechtere Nährstoffverfügbarkeit und Düngungseffizienz sowie inhomogenere Bodenverhältnisse, machen sich daher oft nur in extremen trockenen oder feuchten Jahren im Pflanzenbestand bemerkbar.

Im Unterboden treten die Bodenverdichtungen zudem kaum direkt ereignisbezogen (z.B. eine Überfahung führt zu einer sichtbaren Verdichtung), sondern eher als schleichender Prozess auf. Dies macht die Zuordnung von Verdichtung zu bestimmten Befahrungen bzw. Arbeitsgängen schwer.

Aus der Sicht der mechanischen Beanspruchung des Bodens bietet die Landtechnik ein breites Spektrum an bodenschonenden Maßnahmen an, wie z.B. Breitreifen, Niederdruckreifen, Luftdruckregelanlagen und Verfahren der nichtwendenden konservierenden Bodenbearbeitung. Eine konkrete Bewertung der Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen und Verfahren stellt sich für den Landwirt bezüglich des Unterbodens als schwierig dar.

Die Excel-Anwendung „Entscheidungshilfe Bodendruck“ ermöglicht die Einschätzung der mechanischen Belastung des Bodens durch die im Betrieb vorhandenen Maschinen und Maschinenkombinationen. Die potenzielle Wirkung von druckmindernden Maßnahmen (Montage von breiteren Reifen, Zwillingsreifen oder Gleisbändern, Onland-Pflügen, Begrenzung der Radlast etc) kann überprüft werden und bei der aktuellen Einsatzplanung der Fahrzeuge mit in die bodenfeuchteabhängig Entscheidung z.B. der Gerätewahl oder der Fahrwerksausstattung (z.B. Zwillingsreifeneinsatz) einbezogen werden. Ferner kann bei der Neuanschaffung von Maschinen und Reifen der Aspekt der Bodenschonung überprüft werden.

2. Entscheidungshilfe Bodendruck

Grundsätzlich geht man davon aus, dass eine befahrungsbedingte Verdichtung des Bodens nur eintritt, wenn die mechanische Beanspruchung des Bodengefüges größer ist als dessen Tragfähigkeit. Die Kenntnis der feuchteabhängigen Bodenstabilität eines Standortes und der mechanischen Bodenbelastung durch maschinelle Befahrung lassen daher eine Prognose der Verdichtungsgefahr zu.

Die „Entscheidungshilfe Bodendruck“ stellt dazu den berechneten vertikalen Bodendruck einer Maschine der Vorbelastung als Maß der Tragfähigkeit bei feuchten

Bodenverhältnissen (pF 1,8 bzw. nahe Feldkapazität) des Bodens gegenüber (Abbildung 1). Als Orientierung für die Vorbelastung werden die bisher für Schluff-, Ton-, Lehm- und Sandböden gemessene Werte in Sachsen herangezogen (siehe STAHL et al. 2005, Tabelle 1).

Liegen die berechneten Bodendrücke der Maschinen im Bereich der Vorbelastung der betreffenden Bodenart, ist die Wahrscheinlichkeit gering, dass der Boden sich durch deren Einsatz weiter verdichtet. Liegt der Bodendruck von Maschinen über dem Bereich der üblichen Vorbelastung, kann hingegen der Einsatz dieser Maschinen bei feuchten Bodenbedingungen möglicherweise zu einer allmählichen Verdichtung des Bodengefüges führen.

Die Analyse ist dabei auf den Unterboden (40 cm Tiefe) ausgerichtet, da hier im Vergleich zum Oberboden die Regeneration einer schädlichen Verdichtung viel schwieriger und nur sehr langsam (wenn überhaupt) möglich ist.

Insgesamt können die Bodendrücke von 50 Maschinen bzw. Maschinenkonstellationen (Traktor und Gerät) in einem Arbeitsblatt dargestellt werden, was einen guten Überblick und Vergleich aller Maschinen eines Betriebes erlaubt.

In der Excel-Anwendung erscheinen nach Eingabe der benötigten Maschinendaten

- Radlast,
- Stützlast von angehängten Geräten, Last von Anbaugeräten oder Frontgewichte,
- Reifendurchmesser und –breite oder Gleisbandlänge und –breite

(siehe Abbildung 2) die berechneten mittleren Kontaktflächendrücke und Bodendrücke (numerisch und graphisch) der Arbeitsgänge in 40 cm Bodentiefe für die verschiedenen Bodenarten (Lehm, Sand, Schluff und Ton).

Die einzelnen Maschinen lassen sich untereinander kombinieren und es wird jeweils der Arbeitsgang benannt bzw. zugewiesen. Mit der Zuweisung des Arbeitsganges sind verschiedene Berechnungsalgorithmen z.B. bezüglich des Fahrens in der Furche beim konventionellen Pflügen oder der Hinterachsbelastung des Traktors bei der Grundbodenbearbeitung, verbunden (Abbildung 3).

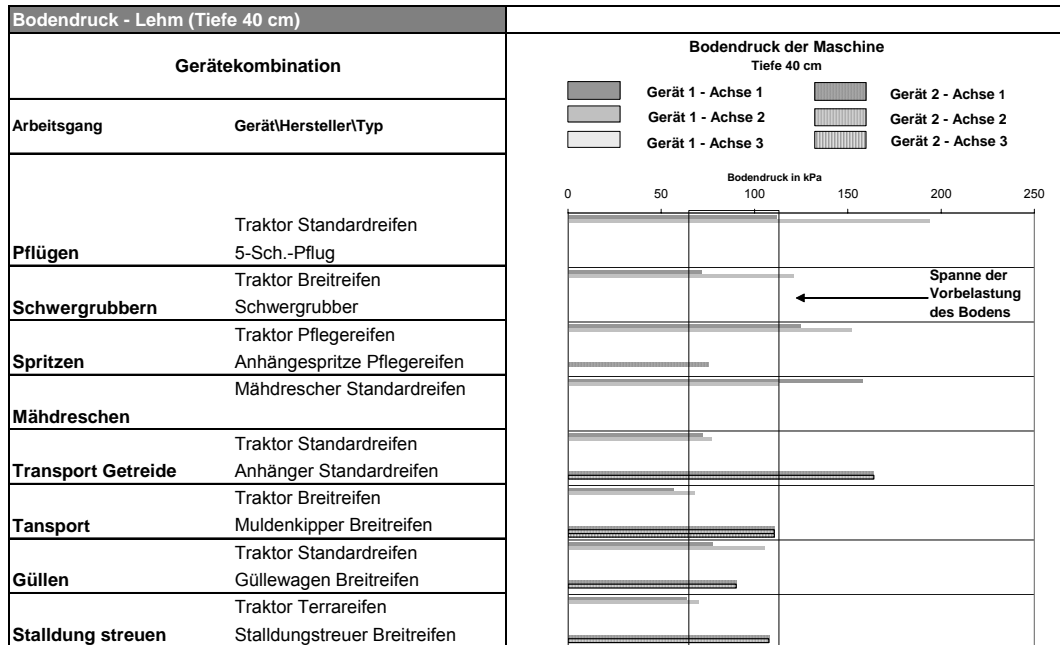


Abbildung 1: Ausgabemaske der Entscheidungshilfe Bodendruck (Beispiel: Ist-Analyse der Arbeitsgänge) für einen Lehmstandort

Grunddaten		Achse 1 (vorn)				
Nr.	Gerät/Hersteller/Typ	Gesamtlast des Anbaugerätes (vorn) [kg]	Radlast [kg]	Reifen [R] oder Gleisband [G]	Reifen-Ø bzw. Aufstandsänge Gleisband [cm]	Reifenbreite bzw. Gleisbandbreite [cm]
1	Traktor Fendt Favorit 711		2240	R	135	42
2	Traktor Deutz Agrotion 150		2350	R	142	47
3	Tr.Deutz Agrot.150 mit Pflegereifen		2350	R	135	23
4	Traktor John Deere 4755		2250	R	148	48
5	Traktor John Deere 4055		2175	R	144	47
6	Traktor John Deere 7710		2400	R	149	46
7	J.D. 7710 mit Zwilling (hint.) f. Bo-Be		2400	R	149	46
8	Traktor Fendt Favorit 824		2725	R	165	58
9	Tr. Fendt Fav.824 (mit Zwilling hint.)		2725	R	165	58
10	Traktor Ford 9610 (m. Pflegebereif.)		1425	R	135	23
11	Traktor Ford (New H.) 8870		2268	R	148	59
12	Traktor Case 5150		1000	R	123	48
13	Traktor Case MXM 130		1224	R	134	48
14	Teleskoplader John Deere 3215		2000	R	125	45
15	Traktor Fendt Farmer 410 Vario		1085	R	141	28
16	Traktor John Deere 6620		1246	R	141	54
17	Traktor Case MXM 155		1452	R	141	54
18	Scheibenegge Rabe Seeadler48	2000				

Abbildung 2: Ausschnitt aus der Eingabemaske für die Maschinendaten

Gerätekombinationen						
Nr.	Frontballastierung bzw. Gewicht Frontanbaugerät [kg]		Gerätekombination		Arbeitsgang	Beschreibung Arbeitsgang
1	1125	Traktor Fendt Favorit 824	6-Sch.-Pflug Lemken Diamant X16C	Pflügen		
2	800	Traktor Fendt F. 824 mit Zwilling v	Schwergrubber Rabe GH385	Grundbodenbearbeitung		
3		Traktor Fendt Favorit 824	Güllewagen Annaburger HTS 102.2	Sonstiges	Gülle	
4		Traktor Ford 8870	Stallungstreuer Annaburger HTS 1	Sonstiges	Stallungstreuen	
5		Mähdrescher Claas Lexion 450	-	Sonstiges	Mähdreschen	
6		Traktor Fendt Favorit 824	Muldenkipper Fliegl TDK 180	Sonstiges	Ernte-transport	
7		Traktor Ford 8870	Anhänger HW80 Lomma f. Getreide	Sonstiges	Ernte-transport	
8		Traktor Fendt Favorit 824	Überladewagen	Sonstiges	Überladewagen	
9		Rübenroder Kleine SF10	-	Sonstiges	Rübenroden	
10		Traktor Fendt Favorit 824	Muldenkipper Annaburger HTS 29.1	Sonstiges	Ernte-transport	
11		Traktor Ford 8870	Anhänger HW80 Lomma f. Getreide	Sonstiges	Ernte-transport	
12		Traktor Fendt Favorit 824	Überladewagen	Sonstiges	Ernte-transport	
13		Rübenroder Kleine SF10	-	Sonstiges	Rübenroden	

Abbildung 3 Excel-Tabellenblatt zur Gerätekombination und Zuweisung des Arbeitsganges (alle angegebenen Maschinen erscheinen automatisch in den Pull-Down-Menüs)

Dies ermöglicht einen guten Überblick über die Maschinenausstattung eines Betriebes und lässt in einer Gesamtsicht die bei hoher Bodenfeuchte kritischeren Maschinen und Arbeitsgänge erkennen.

Die Belastung des Bodens an der Oberfläche durch die Maschine (am Übergang Reifen-Boden) wird durch den berechneten mittleren Kontaktflächendruck ausgedrückt.

Bodenbelastung - Schluff (Tiefe 40 cm)			Achse 1				
Nr.	Arbeitsgang	Gerätekombination Gerät\Hersteller\Typ	Frontballastierung bzw. Gewicht Frontanbaugerät [kg]	Reifenabfolge	Radlast	Bodendruck	Kontaktflächendruck
				Reifenbezeichnung	[kg]	[kPa]	[kPa]
1	Pflügen -	Traktor Fendt 6-Sch.-Pflug	1125	600/65R34	2162,5	71	82
2	Grundbodenbearbeitung -	Traktor Fendt mit Zwilling vorne und hinten Schwergrubber	800	600/65R34	2200	36	59
3	Sonstiges - Gülle	Traktor Fendt Güllewagen	-	600/65R34	1600	34	61
4	Sonstiges - Stallungstreuen	Traktor Ford Stallungstreuer	-	600/65 R28 600/55-26.5	1420 4000	32 98	59 185

Abbildung 4: Ausschnitt aus der Ausgabemaske der Entscheidungshilfe Bodendruck: Numerische Darstellung der Ergebnisse- mittlerer Kontaktflächendruck und vertikaler Bodendruck

3. Grundlagen

Grundlage für die Entscheidungshilfe Bodendruck sind Untersuchungen zur Druckempfindlichkeit repräsentativer sächsischer Ackerböden sowie zahlreiche Bodendruckmessungen unter verschiedenen landwirtschaftlichen Maschinen in Sachsen (siehe STAHL et al. 2005). Anhand der Bodendruckmessungen wurde die Schätzung der Bodendrücke nach NEWMARK bzw. DVWK 234 (1995) für die „Entscheidungshilfe Bodendruck“ validiert und den sächsischen Standortbedingungen angepasst.

Bei der Konzipierung der Entscheidungshilfe wurde Wert darauf gelegt, dass das Modell mit so wenig Eingangsparametern wie möglich auskommt, da in der landwirtschaftlichen Praxis und Beratung gewöhnlich wenig Zeit und Mittel zur Verfügung stehen, diese zu erheben. Zudem soll das Modell möglichst leicht verständlich und einfach anzuwenden sein, um Eingang in die Praxis zu finden.

3.1 Druckempfindlichkeit sächsischer Böden bei hoher Bodenfeuchte

Bei den Untersuchungen zur Vorbelastung in Sachsen hat sich herausgestellt, dass die Ableitung der Vorbelastung aus physikalischen Bodendaten durch die Pedotransferfunktionen nach DVWK 234 (1995), ATV-DVWK 901 (2002) und DIN 19688 (2000) in Sachsen nicht zu befriedigenden Ergebnissen führt (siehe STAHL et al. 2005). Auch die Korrelation der Vorbelastung zu den Gefügeeigenschaften Trockenrohdichte, Luftkapazität und gesättigte Wasserleitfähigkeit war nicht besonders hoch. Daher orientiert sich die Entscheidungshilfe zunächst an vorhandenen Messwerten aus Sachsen. Konkret werden die bodenartbezogenen Mittelwerte mit ihren Streubreiten herangezogen (siehe Tabelle 1). Für die Mittelwertbildung wurden nur solche Werte verwendet, bei denen die Parameter für die ökologische Funktionalität gut bis ausreichend im Sinne der Grenzwertbetrachtung nach LEBERT et al. (2004) und WERNER & PAUL (1999) eingestuft wurden. Dieser Gefügezustand soll möglichst erhalten werden.

Für die Darstellung einer Vorbelastungsspanne spricht der Umstand, dass der Vorbelastungswert nach KELLER (2004) und BERLI et al. (2003) ohnehin kein exakter Grenzwert am Übergang vom elastischen zum plastischen Bereich ist, sondern eher einen Bereich charakterisiert, in dem plastische Gefügeveränderungen eintreten können.

Tabelle 1 Mittelwerte der Vorbelastungen (pF 1,8) sächsischer Ackerunterbödenböden gruppiert nach Bodenarthauptgruppe in 40 cm Tiefe (n = Anzahl der untersuchten Böden; verändert aus STAHL et al. 2005)

Bodenarten- hauptgruppe und Bodentiefe	Bodenarten	Mittelwert (STAW) [kPa]	n =
Sand 40 cm	Ss, Su2, St2	52 (17)	6
Lehm 40 cm	Slu, Sl4, Lt2	88 (24)	10
Schluff 40 cm	Ut3, Uls, Ut4	115 (26)	11
Ton 40 cm	Tu4, Lt3, Tu3	71 (3)	4

Die zugrunde gelegte Bodenfeuchte nahe Feldkapazität bei einer Wasserspannung von pF 1,8 stellt einen sehr druckempfindlichen Zustand der Böden dar und kommt unter anderem häufiger im Frühjahr sowie im Spätsommer und Herbst vor (Abbildung 5). Nach starken Niederschlägen können im unteren Krümenbereich und im Unterboden noch hohe Bodenfeuchten vorhanden sein, selbst wenn sich die Bodenoberfläche als wieder befahrbar darstellt (siehe Abbildung 5: Zeitraum 16.10.-07.11.2001).

Da derartige Differenzierungen (Ober-/Unterboden) in der Praxis nicht möglich sind, orientiert sich die Entscheidungshilfe vorsorglich an den druckempfindlichen Bodenzuständen, die in der Praxis auftreten.

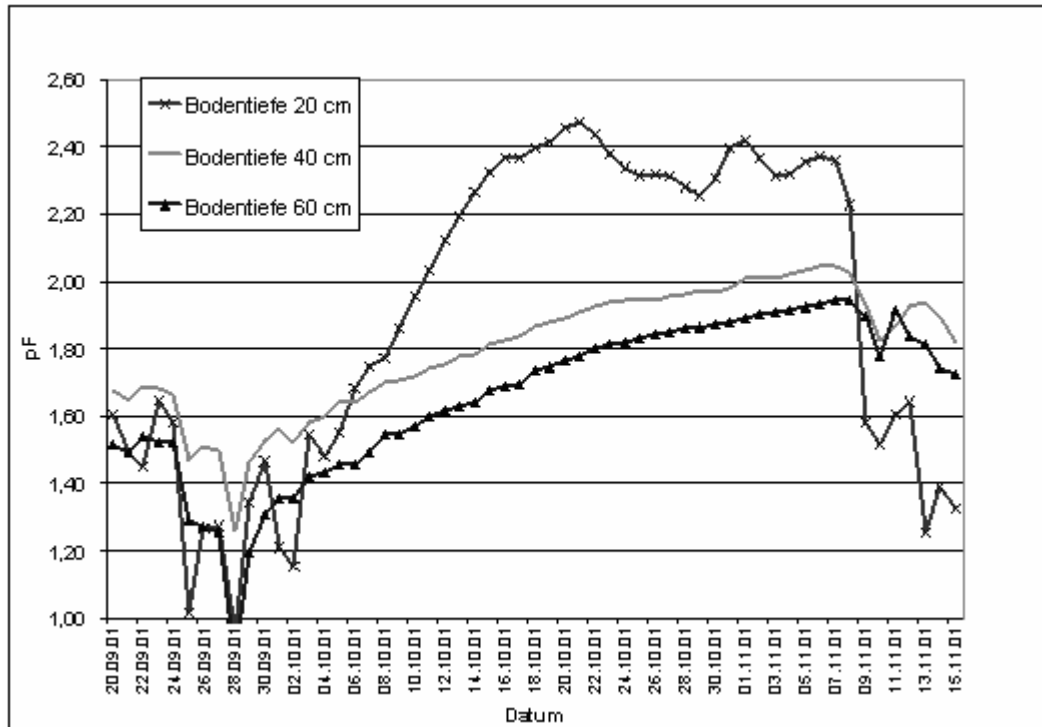


Abbildung 5 Verlauf der Wasserspannung in verschiedenen Bodentiefen im Herbst 2001 in Köllitsch (Körnungsart: SI 4)

3.2 Berechnung des vertikalen Bodendrucks und des Kontaktflächendrucks

Für die Bewertung der Druckbelastungen in feuchten Böden bis einschließlich pF 2,5 (feucht-frisch) wurden die gemessenen vertikalen Bodendrücke von 33 Konstellationen von Maschinen / Gespannen (alle Achsen der 1. Überführung) und Standorten bzw. Standortbedingungen herangezogen (siehe STAHL et al. 2005). Für die Bodendruckmessungen wurden Maschinen herangezogen, welche für Betriebe dieser Größenordnungen repräsentativ sind. Sie erfolgten zu den betriebsüblichen Einsatzzeiten und Bodenfeuchten (schwerpunktmäßig pF 2 – 3). Somit stand ein breites Spektrum von gemessenen Bodendrücken unter verschiedenen Maschinen und unterschiedlich bearbeiteten Böden (gepflügt und konservierend bearbeitet) für die Validierung der Berechnung des vertikalen Bodendrucks zur Verfügung. (siehe Anhang „Grundlage und Validierung“). Für die Validierung wurden alle Bodendrücke (n = 26) herangezogen, die bei feuchtem Boden mit einer Wasserspannung $pF \leq 2$ gemessen wurden.

Die Schätzung der mittleren Kontaktfläche als Grundlage für die Berechnung des Kontaktflächendrucks und des Äquivalentradius in der NEWMARK-Gleichung beruht auf

der einfachen, allein auf den Reifenparameter beruhende Formel von INNS & KILGOUR (1978) mit $A = \text{Reifenbreite} \times \text{Reifendurchmesser} \times 0,27$. Der Faktor 0,27 wurde aufgrund von Messungen der Reifenkontaktfläche auf dem Acker für Pflegereifen auf 0,5 erhöht (siehe Anhang „Grundlage und Validierung“). Die dadurch verbesserten Ergebnisse im Vergleich zur Messung sind u. a. dem Umstand anzurechnen, dass die Pflegereifen allgemein tiefer in den Boden einsanken und auch die Stollenzwischenräume an der Lastabstützung teilnehmen.

Für Gleisbänder wird die Aufstandsfläche durch Multiplikation der Gleisbandbreite mit Aufstandslänge ermittelt.

4. Beispiel

In der Abbildung 1 ist beispielhaft die Analyse der Bodendrücke für acht Arbeitsgänge auf Lehmboden dargestellt. Die zu erwartenden Bodendrücke sind als horizontale Balken im Balkendiagramm abgebildet und sind den jeweils auf der linken Seite aufgelisteten Maschinen zugeordnet. Der Bereich der Vorbelastung (Mittelwerte der gemessenen Vorbelastungen dieser Bodenart) ist im Diagramm sichtbar. In diesem Beispiel übersteigen die Arbeitsgänge Pflügen, Schwergrubbern, Spritzen und Dreschen sowie der Transport von Getreide den Bereich der Vorbelastung bei feuchten Bodenbedingungen.

Für diese Arbeitsgänge sollten vorsorglich bodendruckmindernde Lösungen gesucht werden. Alternativen könnten z.B. wie folgt aussehen: Pflügen wird durch Onland-Pflügen ersetzt, die Pflegereifen der Spritze werden durch Standardreifen ausgetauscht, der Mähdrescher wird bei hoher Bodenfeuchte mit Zwillingsreifen gefahren und der Getreideanhänger wird im beladenen Zustand nicht mehr über Ackerboden gezogen. Im Ergebnis liegen die Bodendrücke im Unterboden beim Pflügen, Spritzen und Dreschen im Bereich der Vorbelastung (Abbildung 6). Sind technische Änderungen an den Maschinen zur Minderung (z.B. Montage von Zwillingsreifen des Bodendrucks nicht möglich), dann bleibt z.B. die Möglichkeit trockenere Bodenbedingungen abzuwarten oder die Radlasten durch geringeren Befüllungsgrad der Maschine zu senken.

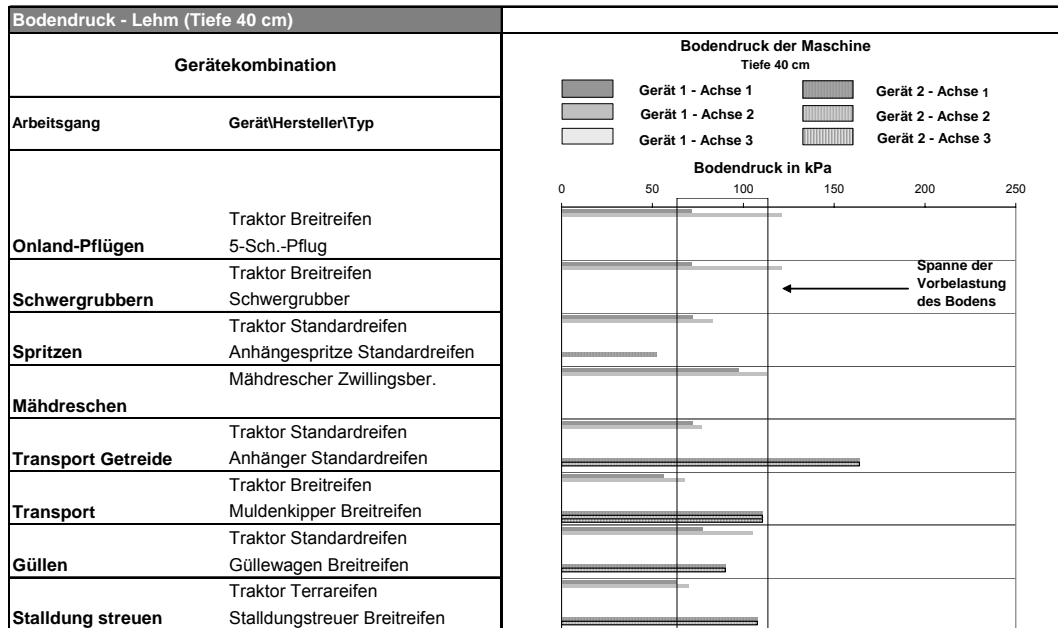


Abbildung 6 Ergebnis der Anpassungsmaßnahmen (Ausgabemaske der Entscheidungshilfe Bodendruck für einen Lehmstandort)

Anwendungsbereich und Grenzen

In Ermangelung entsprechender Daten ist die Entscheidungshilfe zunächst nicht für Ackerböden mit einem hohen Steinanteil oder organische Böden ausgelegt.

Die Wirkung von veränderten Reifeninnendrücker kann nur dann eingeschätzt werden, wenn die den Innendrücker entsprechenden Aufstandsflächen bekannt sind. Man kann aber davon ausgehen, dass sich die Aufstandsfläche bei Reifeninnendruckabsenkung höchstens um 30 % vergrößert. Das entsprechende Ergebnis in der Entscheidungshilfe erhält man, wenn man auf die Angabe des Reifendurchmessers 30% zuschlägt.

Kontakt:

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich 4 – Pflanzliche Erzeugung
Referat 42 - Bodenkultur
Gustav- Kühn- Str. 8
04159 Leipzig

Karin Marschall
Tel: 0341 9174-115
e-mail: Karin.Marschall@smul.sachsen.de

Helmut Götze
Tel: 0341 9174-127
e-mail: Helmut.Goetze@smul.sachsen.de

Henning Stahl
Tel: 0341 9174-122
e-mail: Henning.Stahl@smul.sachsen.de