

Tagungsbeitrag zur: DBG Jahrestagung 2009  
Kom. VIII  
Titel der Tagung: "Boden - eine endliche  
Ressource"  
Veranstalter: DBG  
Termin und Ort der Tagung: 07.-11.09.09  
Bonn  
Berichte der DBG

## **Auswirkungen dynamischer Lasteinträge landwirtschaftlicher Radfahrzeuge auf die physikalischen Eigenschaften von Lößböden**

**Alexander Zink, Heiner Fleige, Rainer Horn**

### **1 Einleitung**

Die zunehmenden Maschinengesamtwichte in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion und die daraus resultierende mechanische Bodenbelastung führen auf vielen Ackerböden seit Jahrzehnten zu anhaltenden Nutzungskonflikten. Hinsichtlich des physikalischen Bodengefüges wurden bereits verschiedene Lösungsansätze vorgestellt um die Bodentragfähigkeit empfindlicher Böden durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen zu verbessern bzw. die Verdichtungsgefährdung der Maschinen durch technische Maßnahmen zu verringern. Das ursprüngliche Belastungsproblem vieler Böden besteht dennoch weiterhin. Ein nachhaltiger Bodenschutz erfordert daher ein Konzept zur horizontspezifischen Prognose der Verdichtungsgefährdung verschiedenster Lastsituationen mit Einbeziehung des Unterbodens und Berücksichtigung der räumlichen Bodenheterogenität. Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) geförderten Verbundprojektes wurden in Zusammenarbeit des Institutes für Pflanzenernährung und Bodenkunde der CAU zu Kiel und der landtechnischen Abteilung der Fachhochschule Südwestfalen auf zwei unterschiedlich bearbeiteten Versuchsflächen in Nordrhein-

westfalen die Verdichtungsgefährdung und die Veränderungen der physikalischen Bodeneigenschaften unter definierten Belastungssituationen untersucht. Die Verdichtungsgefährdung wurde anhand des "Vorbelastungskonzeptes" (Horn & Fleige, 2003) mittels Überfahrungsversuchen bestimmt. Die über den Konzeptansatz prognostizierte Gefährdung (Vorbelastung  $P_v \gg$  Bodendruck  $\sigma_1$ ) sollte dann anhand veränderter Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen verifiziert werden.

Mittels bodenphysikalischer Grenzwerte ist es möglich, schädliche Bodenveränderungen nachzuweisen (Horn & Fleige, 2009; UBA, 2004). Dabei wird eine schädliche Beeinträchtigung des Gefüges anhand von Vorsorge- und Maßnahmenwerten ausgewählter Bodenfunktionskennwerte definiert. In dieser Untersuchung wurden die Indikatoren Vorbelastung ( $P_v$ ), Luftkapazität (LK) und gesättigte vertikale Wasserleitfähigkeit ( $k_f$ ) berücksichtigt.

### **2 Material und Methoden**

Auf zwei unbestellten Ackerschlägen in der Soester Lössbörde (NRW) wurden Überfahrungsversuche mit simulierten Maschinengewichten sowie bodenkundliche Ansprachen und horizontspezifische Beprobungen durchgeführt. Die Untersuchungen fanden im April und Oktober 2007 zum Zeitpunkt hoher Bodenfeuchte nahe der Feldkapazität statt. Die Flächen unterscheiden sich bezüglich ihrer Bodenbearbeitung und werden zum einen konventionell wendend auf 30cm Tiefe gepflügt und zum anderen konservierend mit Mulchsaatverfahren auf 10cm gegrubbert. Die bodenkundlichen Ansprachen auf den beiden Versuchsschlägen ergaben eine Pseudogley- (Para)Braunerde (nur schwache Tonverlagerung) auf der konventionell bearbeiteten Fläche und einen Parabraunerde- Pseudogley auf der konservierend bearbeiteten Fläche. Eine Übersicht der Standorteigenschaften ist in den Tabellen 1 und 2 dargestellt.

---

Alexander Zink  
Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
Olshausenstraße 40, 24105 Kiel  
a.zink@soils.uni-kiel.de

**Tabelle 1: Bodeneigenschaften des Parabraunerde-Pseudogleys aus Löss auf der konservierend bewirtschafteten Fläche**

Tiefe cm	Horizont	Gew %			Bodenart KA 5	$\rho_t$ g/cm <sup>3</sup>	GPV Vol %	WG*	
		S	U	T				April /	Okt.
0-28	(r)Ap	30	81	16	Ut3	1,48	44	96	93
28-45	AlSw	20	81	17	Ut3	1,56	41	92	100
45-65	BtSd1	20	77	21	Ut4	1,49	43	100	99
65-135	BtSd2	20	77	21	Ut4	1,57	41	108	-

\* WG zum Zeitpunkt der Überfahrungsversuche

**Tabelle 2: Bodeneigenschaften der Pseudogley-(Para)Braunerde aus Löss auf der konventionell bewirtschafteten Fläche**

Tiefe [cm]	Horizont	Gew %			Bodenart KA 5	$\rho_t$ g/cm <sup>3</sup>	GPV Vol %	WG*	
		S	U	T				April /	Okt. % zu FK
0-35	Ap	30	84	13	Ut3	1,42	46	91	96
35-60	Sw(Al)Bv	30	84	13	Ut3	1,57	41	105	96
60-140	SdBtv	20	82	16	Ut3	1,62	39	102	105

\* WG zum Zeitpunkt der Überfahrungsversuche

Für die Befahrbarkeitsuntersuchungen wurden auf beiden Standorten 36 einfach und mehrfach Überfahrungsversuche mit Bodendruckmessungen für drei simulierte Radlasten (3,3, 6,3 und 7,5Mg) durchgeführt. Der Bodendruck und die Druckfortpflanzung während der dynamischen Lasteinträge wurden mit dem Stress State Transducer (SST) gemessen. Die Sensormessung basiert auf der Technik der gerichteten Spannungsmessung mit sechs Einzeldehnmessstreifen (Zink, 2009). Die Bodendruckensensoren wurden in drei Messtiefen 20/40/60cm direkt unter der Fahrspur in den ungestörten Boden eingebaut.

Die Böden wurden entsprechend ihrer Horizontierung vor und nach den Befahrungsversuchen beprobt (Misch- und ungestörte Stechzylinderproben), um im Labor die bodenphysikalische Grundanalytik durchzuführen. Ungestörte Stechzylinderproben (n=6) wurden definiert entwässert (pF1,8), um über den Ödometertest die Stabilität der Böden in Form des Vorbelastungswertes zu bestimmen (DVWK, 1995; Casagrande, 1936). Mit der Gegenüberstellung der horizontspezifischen Stabilitätsparameter (Pv) zu den in dieser Tiefe gemessenen Hauptspannungseinträgen ( $\sigma_1$ ) (n=6) wurden dann Belastungsquotienten ( $Pv/\sigma_1$ ) bzw. die Verdichtungsgefährdung der einzelnen Lastsituationen in drei verschiedenen Tiefen bestimmt. Ist der Vorbelastungswert eines Horizontes kleiner als der Spannungseintrag in diesem Horizont ergibt sich ein Quotient <1.

Quotienten unter 0,8 klassifizieren lastabhängig instabile Bodenverhältnisse mit irreversibler, plastischer Deformation des Porenraumes und eine Veränderung der Bodeneigenschaften. Die Definition schädlicher Bodenveränderungen erfolgte anhand kritischer Grenzwerte der Luftkapazität (LK) und der gesättigten (vertikalen) Wasserleitfähigkeit (kf). Als Grenzwerte wurde eine LK <5Vol% und kf-Werte <10cm/d angenommen (Horn et al., 2009; UBA, 2004). Die Veränderungen der Porengrößenverteilung und der gesättigten Wasserleitfähigkeit unter den verschiedenen Belastungssituationen wurden anhand von Stechzylinderproben (n=6) horizontspezifisch bestimmt (Hartge & Horn, 2009).

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### *Bodenstabilität und -tragfähigkeit*

Der Vergleich der gemessenen Spannungseinträge ( $\sigma_1$ ) der Überfahrungsversuche mit der ermittelten Bodenstabilität (Pv) vor den Befahrungen sowie die daraus berechneten Belastungsquotienten sind in der Tab. 3 dargestellt. Die ursprüngliche Pv der beprobten Profile lässt sich nach (DVWK, 1995) als gering bis mittel stabil einordnen. Die Spannungseinträge aller Lastsituationen liegen auf beiden Standorten bis in die Messtiefe 60cm über der aktuell ermittelten Strukturstabilität dieser Bodenhorizonte. Für einen Großteil der getesteten Lastsituationen ergeben sich Belastungsquotienten < 0,8 und damit eine Verdichtungsgefahr bis in den Unterboden. Eine Ausnahme stellt die Lastvariante mit 3,3Mg dar, welche zumindest im Unterboden der konservierend bewirtschafteten Fläche Belastungsquotienten gleich und größer 0,8 aufweist. Unter dieser Radlast zeigt die konservierend bewirtschaftete Fläche insgesamt größere Quotienten die aus einer erhöhten Oberbodenstabilität (vgl. Pv) und einer damit verringerten Druckfortpflanzung in die Tiefe resultieren. Der Vergleich der Lastvarianten mit 3,3 und 7,5Mg Radlast zeigt eine Angleichung der Quotienten beider Flächen mit zunehmender Radlast. Der Stabilitätsgewinn unter konservierender Bodenbearbeitung scheint lastabhängig begrenzt zu sein, mit höheren Radlasten

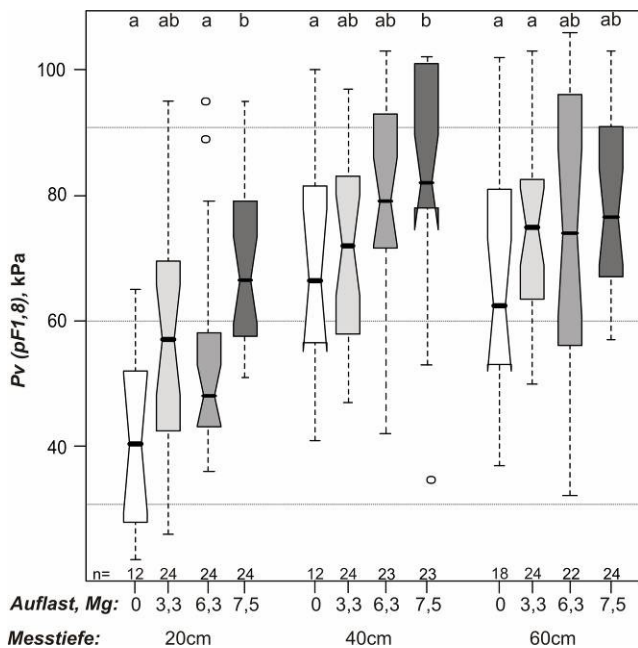
ergeben sich unter beiden Bodenbearbeitungssystemen wieder die gleichen Verdichtungsgefahren.

**Tabelle 3: Übersicht der horizontspezifischen Vorbelastung, Spannungseinträge und Belastungsquotienten (n=6)**

Bodenbearbeitung	Messtiefe cm	Pv kPa	$\sigma_1$			Pv/ $\sigma_1$		
			3,3 Mg	6,3 Mg	7,5 Mg	3,3 Mg	6,3 Mg	7,5 Mg
konventionell	20	31	418	863	762	0,1	0,1	0,1
	40	75	134	307	450	0,6	0,2	0,2
	60	62	78	93	203	0,8	0,7	0,3
konservierend	20	55	200	414	560	0,3	0,1	0,1
	40	60	92	225	350	0,8	0,3	0,2
	60	53	56	105	181	1,0	0,5	0,3

### Auflastabhängige Veränderung der Pv

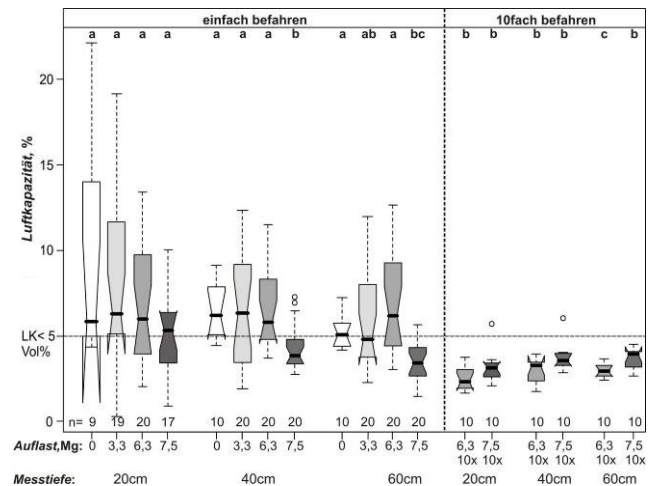
Das Überschreiten des Stabilitätsparameters Pv hat eine plastische Setzung des Bodens mit einer Erhöhung der Korn zu Korn Kontaktpunkte zur Folge die als Bodenverdichtung verstanden werden kann. Die Komprimierung des Porenraumes findet solange statt bis die Kräfte des Systems wieder ausgeglichen sind. Durch die Beprobung der Fahrspuren nach den Überfahrten konnte diese Verdichtung anhand erhöhter Pv-Werte in allen Horizonten nachgewiesen werden, wobei schwerere Radlasten zu einer deutlicheren Zunahme der Vorbelastung führten. Die Einzelüberfahrt mit der Radlast 7,5Mg verursachte dabei mit nur einmalig kurzfristigem Spannungseintrag eine signifikante Zunahme der Vorbelastung bis in 40cm Tiefe (Abb.1).



**Abb. 1: Auflastinduzierte Veränderung der Vorbelastung (Pv) mit einmaliger Befahrung (n= siehe Abb.; Wilcoxon p=0,05)**

### Auflastabhängige Veränderung des Bodengefüges und der Bodenfunktionen

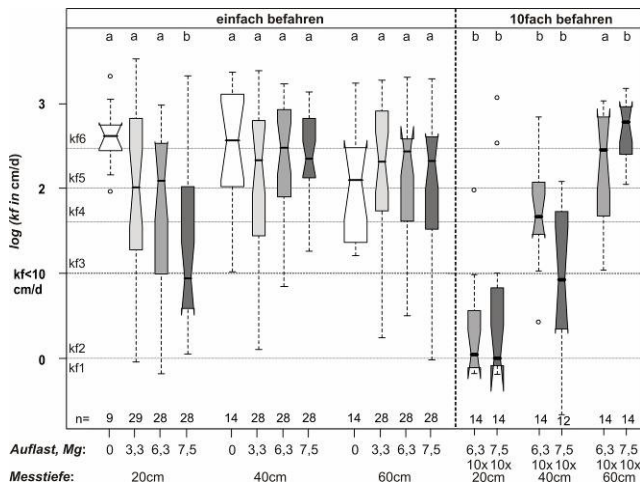
Durch das Überschreiten der Bodenstabilität wird eine Setzung bewirkt, die eine Veränderung des Porensystems verursacht. Die Böden zeigen mit zunehmender mechanischer Belastung eine Abnahme des Anteils an weiten Grobporen. Durch *einmalige* Befahrung mit den Radlasten 3,3 und 6,3Mg kommt es zu keiner Veränderung der als mittel einzustufenden LK. Die Radlastvariante mit 7,5Mg reduziert dagegen auch mit nur einmaligem Spannungseintrag die LK signifikant im Unterboden. In Verbindung mit *mehrfacher* Überrollung verursachen die Radlastvarianten 6,3 und 7,5Mg in allen Beprobungshorizonten eine signifikante Reduzierung der LK unter den Grenzwert von 5Vol% (Abb.2).



**Abb. 2: Veränderung der Luftkapazität LK nach ein- und zehnfacher Überfahrung (n= siehe Abb.; Wilcoxon p=0,05)**

Die ursprüngliche gesättigte Wasserleitfähigkeit der Böden lässt sich im Bereich extrem hoher bis sehr hoher Werte einordnen (Abb.3). In Verbindung mit den definierten mechanischen Belastungen zeigen sich unter *einmaliger* Belastung keine Veränderungen der kf-Werte für die Unterbodenhorizonte, im Oberboden reduzierte sich die Leitfähigkeit dagegen sukzessive mit zunehmender Radlast bis unter den Grenzwert von 10cm/d.

Unter *mehrfachen* Befahrungen bleiben die kf-Werte in 60cm Tiefe unbeeinflusst. Im Ober- und nahen Unterboden reduziert sich der kf-Wert dagegen unter der Lastsituation mit 7,5Mg signifikant bis unter den Grenzwert.



**Abb. 3: Auflastabhängige Veränderung der vertikalen gesättigten Wasserleitfähigkeit (kf) nach ein- und zehnfacher Überfahung (n= siehe Abb.; Wilcoxon  $p=0,05$ )**

#### 4 Zusammenfassung

(1) Der Vergleich der Bodentragfähigkeit bzw. der Verdichtungsempfindlichkeit der beiden Bodenbearbeitungssysteme für die untersuchten Lössböden ergab eine erhöhte Oberbodenstabilität (Pv) und verringerte Druckfortpflanzung unter konservierender Bodenbearbeitung. Der resultierende Unterbodenschutz bleibt allerdings auf Radlasten von 3,3Mg begrenzt.

(2) Die über das Vorbelastungskonzept prognostizierte Verdichtungsgefahr konnte anhand der ermittelten Veränderungen von Pv, kf und LK verifiziert werden. Dabei zeigten sich ab Radlasten von 3,3Mg bereits Veränderungen der Pv bis in den Unterboden. Mit Radlasten über 3,3Mg ergaben sich insbesondere in Verbindung mit mehrfacher Überfahung schadhafte Beeinträchtigungen der Bodenbelüftungssituation (LK) und der hydraulischen Leitfähigkeit (kf) bis in den unbearbeiteten Unterboden. In den zehnfach belasteten Fahrspuren konnte die Bodenverdichtung anhand der gewählten Indikatoren eindeutig nachgewiesen werden, so wurden alle in diesen Fahrspuren ermittelten Messwerte unter mindestens einen der kritischen Grenzwerte reduziert.

#### 5 Literatur

- Casagrande, A. (1936): The determination of preconsolidation load and its practical significance. Proc. of the 1st Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Cambridge **3**: 60-64.
- DVWK (1995): Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden; Teil 1: Mechanische Belastbarkeit. Merkblätter zur Wasserwirtschaft **Heft 234**.
- Hartge, K. H., R. Horn (2009): Die physikalische Untersuchung von Böden: Praxis Messmethoden Auswertung. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Horn, R., H. Fleige (2003): A method for assessing the impact of load on mechanical stability and on physical properties of soils. Soil & Tillage Research **73**(1-2): 89-99.
- Horn, R., H. Fleige (2009): Risk assessment of subsoil compaction for arable soils in Northwest Germany. Soil & Tillage Research **102**(1): 201-208.
- Horn, R., H. Fleige, S. Peth (2009): Gute fachliche Praxis aus Sicht der Bodenkunde. Bodenschutz **3**: 80-85.
- UBA (2004): Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden / Regelungen zur Gefahrenabwehr Umweltbundesamt. **46/04**: 122 S.
- Zink, A. (2009): Bodenstabilität und Auswirkungen dynamischer Lasteinträge auf physikalische Eigenschaften von Ackerböden unter konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung. Schriftenreihe des Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, PHD Nr. 84, ISSN: 0933-680X