

Landtech

Einfluss einer hohen Radlast auf eine ungepflügte Kalkbraunerde*

Michael Gysi und August Ott, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon
 Auskünfte: Michael Gysi, e-mail: michael.gysi@fat.admin.ch, Fax +41 (0)52 365 11 90, Tel. +41 (0)52 368 31 31

In einem Feldversuch wurde eine tiefgründige Kalkbraunerde mit einem Zuckerrübensvollernter einmal überrollt. Dabei haben wir zwei unterschiedliche Radlasten und Bodenfeuchtigkeiten untersucht. Die feuchte Parzelle reagierte bei hoher Last mit einer Erhöhung der Lagerungsdichte, der Vorbelastung und einer Abnahme der Luftpermeabilität und der Grobporen in einer Tiefe von 0,15 m. In 0,35 m Tiefe ergaben die Messungen keine Anzeichen einer Verdichtung. Eine Varianzanalyse zeigt, dass der Feuchtigkeitsunterschied einen grösseren Einfluss auf die Verdichtung als der Unterschied in der Radlast hat.



Zuckerrüben-Vollernter Kleine SF10. Mit dem rechten Vorderrad wurde die Versuchsparzelle einmal überrollt.

Die Tendenz, in der Landwirtschaft zunehmend schwere Maschinen einzusetzen, ist nicht zu übersehen. Mit der Zunahme des Maschinengewichtes und dem

wirtschaftlichen Zwang, bei ungünstigen Verhältnissen ins Feld zu fahren, ist die Gefahr von Bodenverdichtungen gegeben. Durch mechanische Belastung können Böden in ihrer Funktion als Produktionsstandorte empfindlich beeinträchtigt werden. Dies zeigt sich oft nicht direkt. Moullart (1998) stellte fest, dass vor allem das Wurzelwachstum infolge Verdichtung gehemmt

wird, der oberirdische Teil der Pflanze zeigt nur in Ausnahmen einen verringerten Trockensubstanzertrag. Die Veränderung des Porenraumes kann die Versorgung der Wurzeln mit Nährstoffen und Wasser in Mangelsituationen verschlechtern. Weiter wird die auf Sauerstoff angewiesene Bodenbiologie eingeschränkt.

Verdichtungen im Bereich des Oberbodens werden heute als nicht so gravierend angesehen, da im Oberboden das Potenzial zur Gefügeregeneration durch biologische (Bodentiere, Pflanzenwurzeln), klimatische (Austrocknung und Frost) und anthropogene (Bearbeitung, Bewuchs) Einflüsse als hoch eingeschätzt wird. Im Unterboden sind die Einflüsse dieser Mechanismen schwächer. Folgender Feldversuch wurde im Herbst 1997 durchgeführt:

Feldversuch

Standort und Versuchsanlage: Die Jahre vor dem Versuch praktizierte der Bauer auf der skelettfreien, tiefgründigen Kalkbraunerde eine bodenschonende Bewirtschaftung ohne Pflug (Tab. 1). Mit dem Penetrometer kann kei-

Tab. 1. Organischer C-Gehalt, Körnung und Skelettanteil der Versuchsfläche in Frauenfeld

Tiefe m	Organischer C-Gehalt Gew. %	Ton Gew. %	Schluff Gew. %	Sand Gew. %	Textur	Skelett Vol. %
0,15	1,29	17,6	40,3	42,1	Sandiger Lehm	0
0,35	0,58	16,7	31,7	51,6	Sandiger Lehm	0
0,55	0,47	11,4	28,4	60,2	Lehmreicher Sand	0

*Originalversion «Influence of single passes with high wheel load on a structured, unploughed sandy loam soil» *Soil and Tillage Research*, Accepted, In Press.

ne Pflugschleife festgestellt werden. Die Versuchsanlage ist als randomized Split-Plot Design mit zwei Feuchtigkeiten (F1, F2) als Haupt- und zwei Radlasten (VL, TL) als Nebenfaktoren bei vier Wiederholungen angelegt. Die Feuchtigkeiten (Matrixpotenziale) der beiden Feuchtigkeitsstufen sind aus Tabelle 2 ersichtlich. Das Matrixpotenzial wurde pro Parzelle und Tiefe mit je zwölf Saugkerzen gemessen. Unter der Spalte Signifikanztest wird aufgeführt, ob ein t-Test bei 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit einen Unterschied der Matrixpotenziale zwischen F1 und F2 anzeigt.

Maschineneigenschaften: Die einmalige Befahrung fand im Oktober 1997 durch einen sechserreihigen, selbstfahrenden Zuckerrübenvollernter, Kleine SF 10, statt. Der Pneuinnendruck betrug 2,3 beziehungsweise 2,43 bar. Die beiden Radlasten ergaben sich durch unterschiedliche Bunkerfüllungen. Die Radlast beziehungsweise Kontaktflächen bei Teillast (TL) betragen 7,47 t/0,56 m² und bei Volllast (VL) 11,23 t/0,7 m². Der mittlere Kontaktflächendruck beträgt bei TL 1,32 beziehungsweise 1,58 bar bei VL (Tab. 3).

Messungen

Die Messung der Druckausbreitung erfolgte mit Bollingsonden in der Mitte der Fahrspur auf den Tiefen 0,15, 0,35 und 0,55 m. Den Eindringwiderstand erfasste man mit Hilfe eines Penetrometers. Ungestörte Zylinderproben wurden in den Tagen nach der Überfahrt unter der Spur in

Tab. 2. Matrixpotenzial der beiden Feuchtigkeitsstufen bei der Befahrung

Tiefe m	Trockene Parzelle F1		Feuchte Parzelle F2		Signifikanztest p. = 0,05
	hPa Mittelwert	SD	hPa Mittelwert	SD	
0,15	206	140	56	7	Signifikant
0,35	76	48	53	5	Nicht signifikant
0,55	28	11	25	8	Nicht signifikant

Tab. 3. Radlasten, Pneuinnendruck und Kontaktflächendruck, die bei der Überfahrt verwendet wurden

	Radlast m t	Kontaktfläche A m ²	Pneuinnendruck bar	Kontaktflächendruck p bar
Kontrolle K	Keine Überfahrt	Keine Überfahrt	Keine Überfahrt	Keine Überfahrt
Teillast TL	7,47	0,565	2,3	1,32
Volllast VL	11,23	0,708	2,43	1,58

Mit weißem Kalk wurden die Kontaktflächen des Pneus bezeichnet. Bildanalytisch wurde von diesen Fotos die Fläche errechnet.

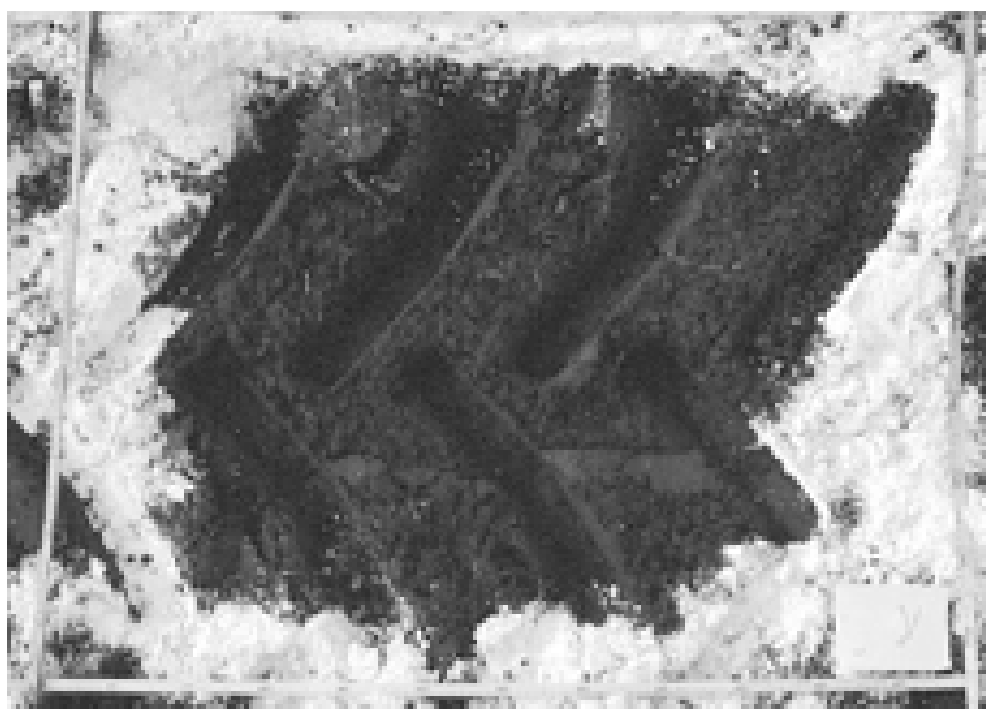
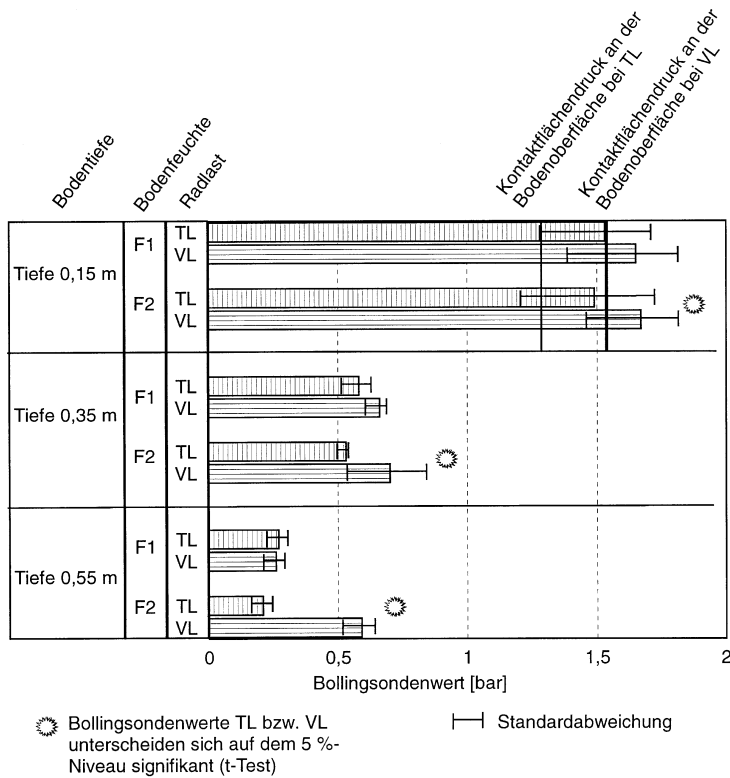


Abb. 1. Bollingsondenwerte aus drei Tiefen für die trockene F1 und die feuchte Parzelle F2 sowie für Teillast (TL) und Volllast (VL). In der Tiefe von 0,15 m sind zusätzlich die Kontaktflächendrücke eingezeichnet, die an der Oberfläche aufgetreten sind.

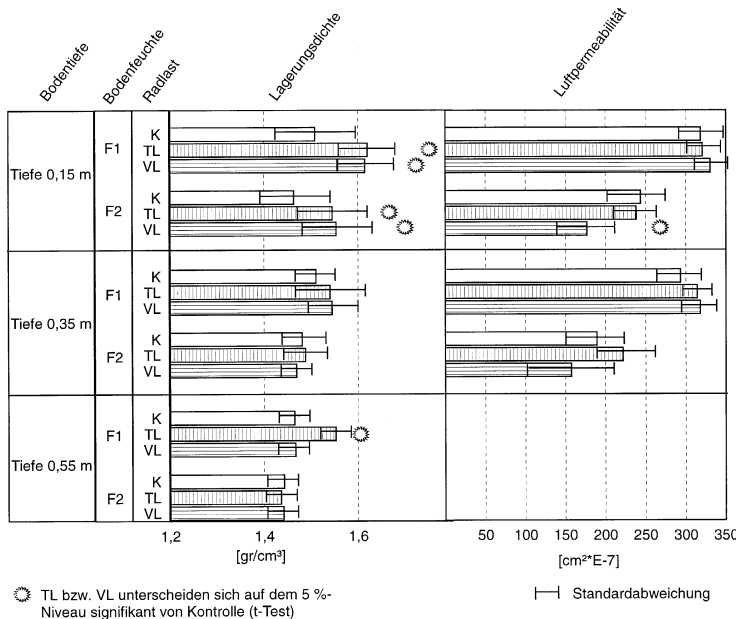


Wert der Vorbelastung bestimmte man nach McBride (1996).

Die Ansprache des Gefüges erfolgte nach einer neuen Feldmethode der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau Reckenholz (FAL). Es werden dabei die Gefügestufen, die Größe der Gefügestufen, die Zusammenhalt zwischen den Gefügestufen, die Zerdrückbarkeit der Gefügestufen und die Ausdehnungsform der Zwischenräume beurteilt. Eine vierteilige Skala bewertet den Grad der Verdichtung.

Im darauf folgenden Jahr erhob man den Ertrag des Winterweizens auf den verschiedenen Parzellen.

Abb. 2. Lagerungsdichte und Luftpermeabilität in drei Tiefen und zwei Feuchtstufen. Wobei F1 trockene Parzelle, F2 feuchte Parzelle, TL Teillast, VL Volllast.



Nur im Oberboden Strukturveränderungen

Setzungen und Druckausbreitung (Bollingsondenwerte): Die Setzungen in der Spur betragen zwischen 3 und 8 cm. Die beiden Radlasten Teillast (TL) und Volllast (VL) verursachten nur in der feuchten Parzelle verschiedene Bodendruckwerte bis in 0,55 m Tiefe. In der trockenen Parzelle blieben die Unterschiede gering. Bei TL liegt der bei 0,15 m Tiefe gemessene durchschnittliche Bodendruck über 16 % höher als der aus der gemessenen Kontaktfläche und Radlast errechnete Kontaktflächendruck. Bei VL liegt der in 0,15 m Tiefe gemessene durchschnittliche Druck um 7 % höher als der Kontaktflächendruck (Abb. 1).

den Tiefen 0,15 m, 0,35 m und 0,55 m entnommen. An diesen Zylindern erhob man die Luftpermeabilität, Lagerungsdichte und das Grobporenvolumen. Die Vorbereitung der Proben erfolgte mit Hilfe einer feinen Säge. In diesem Querschnitt wurden die Anzahl Wurmlöcher (> 1 mm

gezählt und klassifiziert (Alakukku 1996). Die Skala reicht von 0 (keine Wurmlöcher) bis 2 (viele Wurmlöcher). Die Messung der Drucksetzungskurve erfolgte bei 60 hPa und die Vorbelastung wurde mit Hilfe der Casagrande-Konstruktion ermittelt. Der minimale und maximale

Lagerungsdichte und Luftpermeabilität:

In der trockenen Parzelle hat sich die Lagerungsdichte gegenüber der Kontrolle in 0,15 m Tiefe um 7,2 %, in der trockenen um 5,8 % erhöht (Abb. 2). Zwischen TL und VL bestehen keine wesentlichen Unterschiede. In 0,35 m Tiefe sind bei beiden Feuchtigkeiten

keine signifikanten Erhöhungen der Lagerungsdichte zu erkennen (Abb. 2).

Die Luftpermeabilität hat in der feuchten Parzelle in 0,15 m Tiefe bei Teillast um 2,3 %, bei Volllast um 27,5 % abgenommen. Im Gegensatz dazu konnte in der trockenen Parzelle keine Abnahme nachgewiesen werden. In 0,35 m Tiefe liess sich keine Abnahme erkennen (Abb. 2).

Grobporenvolumen und Wurmlöcher: Durch die Überfährung hat sich das Grobporenvolumen sowohl in der feuchten (3,7 %) als auch in der trockenen Parzelle (1,7 %) statistisch signifikant verringert. In 0,35 m und in 0,55 m Tiefe konnte keine signifikante Verringerung ermittelt werden (Abb. 3).

Die nach Alakukku (1996) klassifizierten Wurmlöcher mit Radien > 1 mm wiesen in keiner Tiefe eine statistisch signifikante Verringerung auf.

Visuelle Feldansprache: Die visuelle Feldansprache des Gefügestandes konnte Verdichtungsfolgen in der obersten Bodenschicht deutlich zeigen. Die Anzahl der Wiederholungen ist jedoch zu gering, um einen statistisch aussagekräftigen Test anzuwenden. In der trockenen Parzelle nehmen die Verdichtungsfolgen mit zunehmendem Gewicht zu, während in der feuchten Parzelle die VL weniger Verdichtungsfolgen als die TL zeigt (Abb. 4).

Vorbelastung: In der feuchten Parzelle hat sich die Vorbelastung nach der Überfährung mit VL auf 0,15 m Tiefe mehr als verdoppelt. Der neu erreichte Wert entspricht in etwa dem in dieser Tiefe aufgetretenen Bodendruck. In 0,35 m und 0,55 m Tiefe hat sich die Vorbelastung dagegen nicht verändert (Abb. 5).

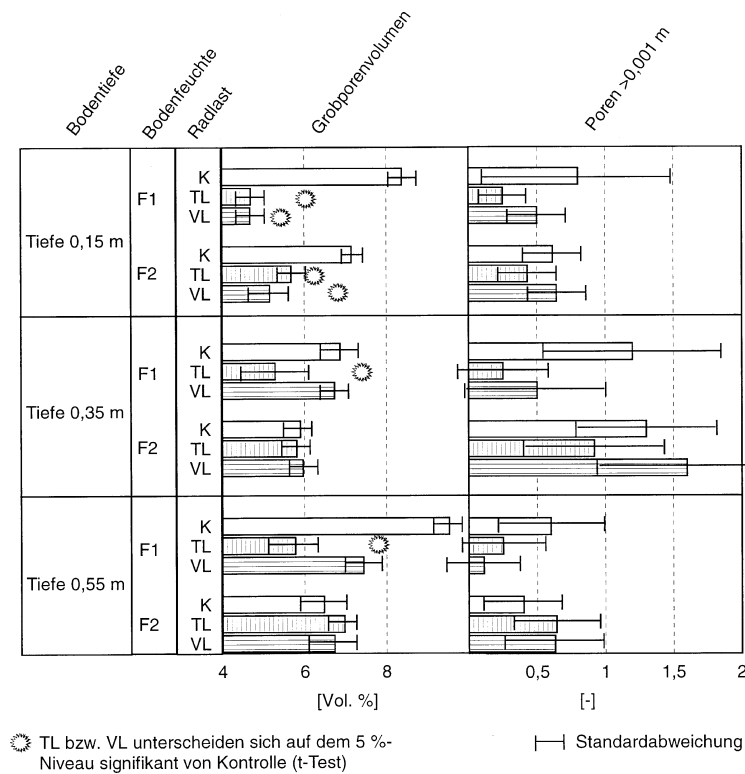


Abb. 3. Grobporen in Prozent des Bodenvolumens und Poren in drei Tiefen in der trockenen F1- und der feuchten F2-Parzelle. Grobporen sind Poren mit Radien grösser 60 µm. Poren sind zum Grossteil Wurmlöcher > 1 mm klassifiziert nach Alakukku (1996).

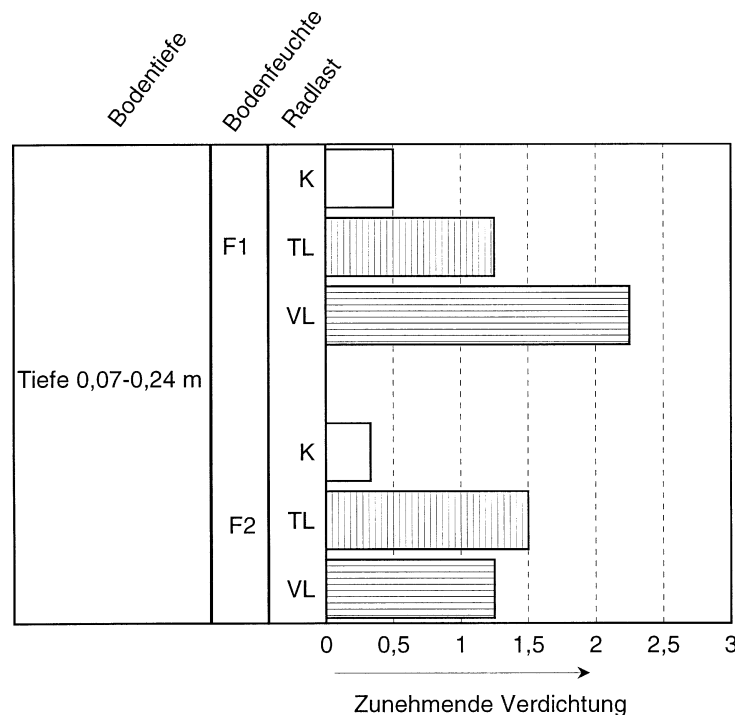


Abb. 4. Verdichtungsfolgen, beurteilt durch eine visuelle Feldansprache in der Tiefe 0,07-0,24 m. Die Verdichtungsfolgen wurden nach einer Methode der FAL Reckenholz klassiert.

Eindringwiderstand und Ertrag: Der Eindringwiderstand hat sich in den Fällen TL/trocken und VL/trocken bis in eine Tiefe von 0,15 m durch die Überfährung erhöht. In TL/feucht ist keine Veränderung zu erkennen.

In VL/feucht ist bis in eine Tiefe von 0,2 m eine Verringerung des Eindringwiderstandes festzustellen. Unter 0,25 m erfolgten keine Veränderungen (Abb. 6). Die Zunahme bei VL/F2 in 0,7 m Tiefe kann nicht er-

Abb. 5. Vorbelastung und in der entsprechenden Tiefe mit Bollingsonden gemessener Bodendruck in der feuchten Parzelle F2. Die Balken geben die Minima und Maxima nach McBride und Joosse (1996) an.

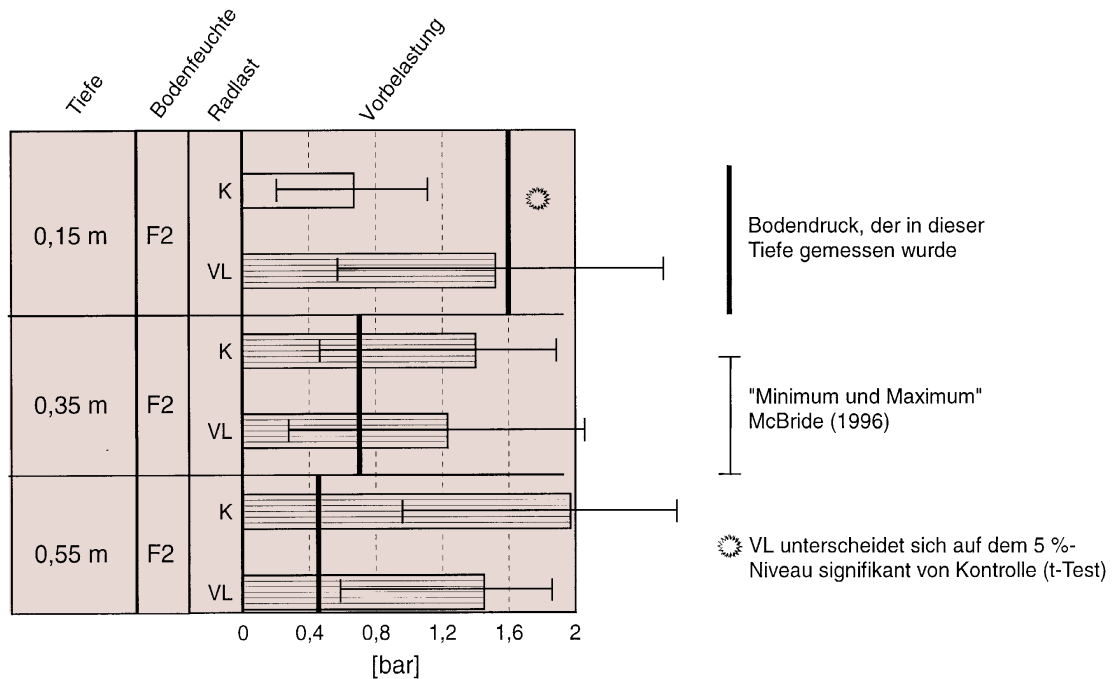
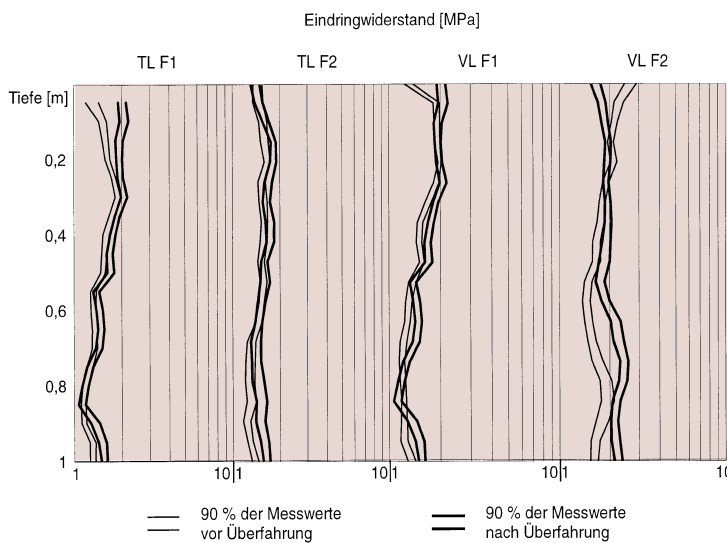


Abb. 6. Vertrauensintervalle (90 %) des gemessenen Eindringwiderstandes bis 1 m Tiefe. Wobei F1 trockene Parzelle, F2 feuchte Parzelle, TL Teillast, VL Volllast.



sene Bodendruck auf 15 cm Tiefe liegt über dem Wert des aufgrund der gemessenen Kontaktfläche und der Radlast errechneten Kontaktflächendruckes. Das könnte ein Hinweis dafür sein, dass sich der Druck nicht homogen über die Aufstandsfläche des Pneus verteilt.

Aufgrund der Zunahme der Lagerungsdichte, der Abnahme der Luftpermeabilität, der Verringerung des Grobporenvolumens und der Zunahme der Vorbelastung wird klar, dass bei Volllast in der feuchten Parzelle eine Verdichtung bis in eine Tiefe von mindestens 0,15 m und höchstens 0,35 m aufgetreten ist. In allen anderen Fällen hat die Luftpermeabilität nicht statistisch signifikant reagiert, das heisst dass sich das Porensystem nicht wesentlich verändert hat. Eine Tendenz zu einer Verdichtung in der trockenen Parzelle in 0,15 m Tiefe kann durch Veränderungen von Lagerungsdichte, Grobporenvolumen und Gefüge erahnt werden. Dass die in diesem Versuch verwendeten hohen Radlasten von 11,2 t keine tiefgehenden Verdichtungen bewirkt ha-

klärt werden. Es erfolgte keine Verminderung des Ertrages durch die Befahrung.

Wassergehaltsunterschied wirkt sich stark aus

Die bei Volllast aufgetretene Radlast von 11,23 t liegt an der oberen Grenze der heute in der Schweiz üblichen Radlasten. Die Spurtiefen waren für die hohe Radlast erstaunlich gering. Es konnte kein Unterschied zwischen feuchter und trockener

Parzelle festgestellt werden.

Das höhere Gewicht bei Volllast hat sich gegenüber der Teillast nur in der feuchten Variante in höheren Bodendruckwerten ausgewirkt. In der feuchten Parzelle bei Volllast hat sich der Druck stärker in die Tiefe fortgepflanzt. Der trockene Boden verteilt den Druck stärker horizontal und die Druckspitzen werden somit verringert. Der mit den Bollingsonden gemes-

ben, ist erstaunlich. Der hohe Sandgehalt scheint auf die mechanische Belastbarkeit einen günstigen Einfluss zu haben.

Die Vorbelastung hat sich in der feuchten Parzelle auf 0,15 m Tiefe durch die Überfahrt mit Volllast verdoppelt und erreichte damit den Wert des mit Bollingsonden gemessenen Bodendruckes. In 0,35 m Tiefe erreichte der Bodendruck durch Überfahren die Vorbelastung nie. Die Vorbelastung hat sich folgerichtig nicht erhöht. Die Übereinstimmung von Druckbelastung und Stabilität konnte anhand dieser Felddaten gezeigt werden. Das ist insofern erstaunlich, als die Dauer der Druckbelastung im Oedometer mit 30 Minuten nicht der Situation auf dem Feld entspricht.

Die Resultate des Eindringwiderstandes stehen im Widerspruch zu den restlichen Resultaten. Besonders stimmen sie nicht mit der Vorbelastung überein. Bei einer Zunahme der Vorbelastung wäre eigentlich auch eine Zunahme

des Eindringwiderstandes zu erwarten.

Die Verdichtung bis in 0,15 m Tiefe hatte keinen Minderertrag bei Weizen zur Folge. Dies ist nicht erstaunlich, da Winterweizen sehr tief wurzelt und sich damit die Versorgungslage der Pflanze nicht verschlechtert hat.

Eine Varianzanalyse zeigt, dass die unterschiedlichen Feuchtigkeiten einen grösseren Einfluss auf die Veränderung der Lagerungsdichte hatten als die unterschiedlichen Radlasten. Interaktionen zwischen Feuchtigkeit und Radlasten sind nicht aufgetreten. Es scheint also wichtiger zu sein, das Feld in trockenem Zustand zu befahren als auf tiefe Radlasten zu achten.

Das zum Befahrungszeitpunkt in der feuchten Parzelle ermittelte Matrixpotenzial liegt weit unter dem kritischen Wert der schweizerischen Bodenschutzrichtlinien für den Gasleitungsbau (BEW 1993). Nach diesen Richtlinien wäre ein Befahren eines Bodens

in diesem Zustand mit Baumaschinen negativ zu beurteilen, das heisst es wären Verdichtungen zu befürchten.

Folgerungen

■ Durch die einmalige Überfahrt mit einer Radlast von 11,23 t und einem Kontaktflächen- druck von 1,58 bar konnte in einem sandigen Lehm mit Matrixpotenzial 56 hPa eine Verdichtung in einer Tiefe von 0,15 m gezeigt werden. In 0,35 und 0,55 m Tiefe dagegen erfolgte keine Strukturveränderung durch die Befahrung.

■ Die Verdichtung in der feuchten Parzelle bei Volllast bewirkte keinen Ertragsausfall.

■ Die unterschiedlichen Feuchtigkeiten haben sich stärker auf die Verdichtung der obersten Bodenschicht ausgewirkt als die unterschiedlichen Radlasten.

Literatur

Das Literaturverzeichnis ist beim Autor erhältlich.

RÉSUMÉ

Récolteuse de betteraves lourdement chargée: passage unique et son influence sur un limon sableux structuré et non labouré

Dans un essai réalisé en plein champ, un limon sableux a été soumis à un seul passage avec une récolteuse de betteraves. Les essais ont été effectués à deux degrés d'humidité du sol différents et avec deux niveaux de chargement de la trémie.

Le passage avec une charge à la roue de 11,23 t sur la parcelle humide s'est traduit par une augmentation de la densité apparente et de la préconsolidation ainsi que par une diminution de la perméabilité à l'air et des pores grossiers à une profondeur de 0,12-0,17 m. Le passage avec une charge de 7,47 t sur la parcelle humide ainsi qu'avec les deux charges sur la parcelle sèche n'ont entraîné que de faibles changements de la structure du sol. Aucun compactage du sol n'a été mesuré à des profondeurs de 0,32-0,37 m et de 0,52-0,57 m. L'analyse statistique (ANOVA) indique que le facteur «humidité du sol» a une influence plus grande que le facteur «charge à la roue».

SUMMARY

Influence of single passes with high wheel load on a structured, unploughed sandy loam soil

In a field experiment, a sandy loam was subjected to single passes with a sugar beet harvester at two different soil water potentials and two different hopper fillings.

The moist plot responded to a wheel load of 11,23 t with an increase in bulk density and pre-consolidation pressure as well as with a decrease in air permeability and macroporosity at a depth of 0,12-0,17 m. With a wheel load of 7,47 t on the moist plot and with both wheel load levels on the dry plot, only slight changes of the soil structure were detected. At a depth of 0,32-0,37 m and 0,52-0,57 m, the measurements did not indicate any compaction. An ANOVA indicates that the factor «soil water potential» had the stronger influence than the factor «wheel load».

Key words: soil water potential, wheel load, physical properties, subsoil compaction