

Umwelt

Physikalische Bodenbelastungen bei der Zuckerrübenenernte

Simon van der Veer und Martin Meyer, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, CH-3052 Zollikofen
Andreas Chervet und Wolfgang G. Sturny, Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern, Rütli, CH-3052 Zollikofen
Peter Weisskopf, Agroscope FAL Reckenholz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich
Auskünfte: Simon van der Veer, E-Mail: simon.vanderveer@gmx.ch, Tel. +41 (0)79 224 60 04

Zusammenfassung

In der Schweiz werden die Zuckerrüben vor allem mit zweireihigen gezogenen oder sechsstufigen selbstfahrenden Vollerntern gerodet. Mehrfachbefahrungen beim zweireihigen gezogenen Verfahren, Radlasten von über 10 Tonnen beim Selbstfahrer sowie oft feuchte und ungünstige Erntebedingungen im Herbst geben immer wieder Anlass zu Bedenken hinsichtlich möglicher Gefügeschäden durch Bodenverdichtungen. Auf einem Standort mit einheitlichen Bodenverhältnissen (tiefergründiger sandiger Lehm) wurden eine langjährig direkt gesäte und eine regelmässig gepflügte Zuckerrübenparzelle miteinander verglichen. Während und nach den Überfahrten bei den oben erwähnten Ernteverfahren erfolgten dabei die folgenden Messungen: Für die Bodendruckmessung wurden die Drucksonden nach Bolling eingesetzt; zur Untersuchung von Porenvolumina und Gefügestabilität wurden Zylinderproben mit ungestörtem Gefüge entnommen. Beide Ernteverfahren beeinträchtigten den gepflügten Boden mit geringer Gefügestabilität mindestens bis in 60 cm Tiefe; zwischen den Ernteverfahren waren jedoch keine deutlichen Unterschiede festzustellen. Das Anbausystem «Direktsaat», langjährig umgesetzt, zeigte eine erhöhte Gefügestabilität und leistet dadurch einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Tragfähigkeit von Böden.

Die eingebauten Bollingsonden kurz nach der Überfahrt mit dem Verfahren zweireihig gezogen. 50 % des totalen Einsatzgewichtes (12 t) liegen auf dem unter dem Bunker liegenden Vollernterhint.

Verschiedene, rasch aufeinander folgende Mechanisierungsschritte führten in den letzten 15 Jahren dazu, dass bei der Zuckerrübenenernte in der Schweiz heute vor allem zweireihige, vom Schlepper gezogene und sechsstufige selbstfahrende Erntemaschinen zum Einsatz kommen. Die während der Zuckerrübenenernte im Herbst oft ungünstigen

(weil sehr feuchten) Bodenbedingungen, die Mehrfachbefahrungen beim zweireihigen gezogenen Ernteverfahren («Multi Pass-Effekt») sowie Radlasten von über 10 Tonnen beim Selbstfahrer werfen immer wieder die Frage auf, welches Verfahren die geringeren Bodenbeanspruchungen verursacht und deshalb in der Praxis zu bevorzugen ist.

Ausgangslage

Die in diesem Beitrag vorgestellte Untersuchung befasste sich mit der Wechselwirkung zwischen der durch verschiedene Ernteverfahren verursachten Gefügebeanspruchung und der als Folge verschiedener Bestelltechniken unterschiedlichen Gefügestabilität von Böden. Dazu wurde im Berner Seeland ein Standort ausgewählt, wo die beiden Anbausysteme Direktsaat («DS», mit einem stabilen, tragfähigen Gefüge) und Pflug («PF», mit einem lockeren, wenig

tragfähigen Gefüge) bis und mit der Zuckerrübensaat 2004 auf zwei unmittelbar nebeneinander liegenden Parzellen langjährig angewendet worden waren. Die Böden beider Parzellen sind typische Braunerden auf Grundmoräne und bodenkundlich praktisch identisch; es sind schwach humose sandige Lehme mit einem Tongehalt von 17 % (0 - 40 cm) beziehungsweise 25 % (40 - 60 cm) und einem Humusgehalt im Oberboden von 2,5 %. Die einheitlichen Bodenverhältnisse und die unmittelbare Nähe der Parzellen waren ideale Voraussetzungen für Vergleichsmessungen. Auf den beiden mit unterschiedlichen Anbausystemen bewirtschafteten Parzellen wurden die zwei Zuckerrüben-Ernteverfahren «zweireihig, vom Schlepper gezogen, mit Standardbereifung» und «sechsstufig, selbstfahrend, mit von der Fahrzeugkonstruktion her grösstmöglicher Bereifung» miteinander verglichen. Mit der Erhebung beziehungsweise Messung mehrerer Parameter wurden die Bodendrucke, die daraus resultierenden Bodenbeanspruchungen sowie deren Folgen für Gefügaufbau und -stabilität beurteilt.

Material und Methoden

Um Rückschlüsse auf die aktuelle Befahrbarkeit des Bodens ziehen zu können, wurden vom 1. August bis zur Ernte am 13. Oktober 2004 die Niederschläge erfasst und mittels Tensiometern die Saugspannung in den Böden der beiden Anbausysteme festgehalten.



Bei beiden Ernteverfahren wurden bei maximaler Bunkerfüllung die Kontaktflächen zwischen Rad und Boden sowie die Radlasten auf dem Feld bestimmt und daraus die mittleren Kontaktflächendrücke aller Räder berechnet.

Während des Einsatzes der beiden Ernteverfahren wurde unter der Fahrspurmitte aller Räder der Bodendruck bei maximaler Nutzlast mittels Bollingsonden in den Tiefen 20, 30 und 60 cm jeweils in dreifacher Wiederholung (eine Wiederholung beinhaltet vier Bollingsonden) gemessen.

In denselben Bodentiefen wurden unmittelbar neben den Bodendruckmessstellen sowie in angrenzenden unbefahrenen Kontrollflächen sofort nach den Befahrungen ungestörte Zylinderproben mit einem Volumen von 235 cm³ in zwölfacher Replikation entnommen und im Labor auf Gefügebau- und -stabilitätsparameter anhand beschriebener Methoden untersucht (Weisskopf *et al.* 2005). Damit konnte die Reaktion des Gefüges auf das Befahren durch die Ernteverfahren erfasst und mit dem unbefahrenen Boden verglichen werden. Bleibende Veränderungen der Gefügeeigenschaften nach einer Überfahrt geben Auskunft über Bodenbeeinträchtigungen in beiden Anbausystemen als Folge der eingesetzten Ernteverfahren. Das Versuchsdesign umfasste drei in Reihen angeordnete Feldwiederholungen. Die Auswertung der Bodendruckmessungen sowie der Gefügebau- und -stabilitätsparameter wurde mit dem Programm «Statistica» (Version 6.0) durchgeführt und erfolgte via Varianzanalyse und Mittelwertvergleich. Für die Varianzanalyse kam der F-Test zur Anwendung, für den Mittelwertvergleich der t-Test nach Tukey-Kramer (Scheffé 1953).

Bewässerung des Bodens vor den Befahrungen

Weil in der Trockenphase von Beginn September bis zur Ernte am 13. Oktober kaum Niederschlagsereignisse auftraten, waren die Saugspannungswerte in beiden Anbausystemen kurz vor der Ernte so hoch, dass die vorgesehenen Untersuchungen infolge der Trockenheit gar nicht durchführbar gewesen wären oder keine verwertbaren Aussagen ermöglicht hätten. Daher wurden die Versuchsfelder beider Systeme vier Tage vor dem geplanten Erntetermin gleichmässig mit jeweils 55 mm bewässert. Als Folge dieser Massnahme waren die Böden bei den Befahrungen sehr feucht bis nass (ca. 30 hPa Saugspannung).

Bodenbelastungen und Ernteverfahren

Kontaktflächen: Die gemessenen Kontaktflächen waren bei maximaler Bunkerfüllung bei allen Rädern beider Ernteverfahren (Ausnahme: Schlepperrad hinten rechts) beim Anbausystem DS jeweils um bis zu 18 % höher als beim Anbausystem PF. Die Radlasten lassen sich folglich beim System DS auf einer grösseren Kontaktfläche abstützen, was mit dem in der obersten Bodenschicht oft beobachteten stabileren Plättchengefüge begründet werden kann (stärkere Deformation der Reifen). Infolge dieser stabileren Gefügeform breiten sich die auf den Boden ausgeübten Druckbeanspruchungen zudem stärker in horizontaler als in vertikaler Richtung aus. Beides zusammen macht sich als grössere Tragfähigkeit und durch geringere Fahrspurtiefen im Anbausystem DS bemerkbar. Im gelockerten Boden des Systems PF hingegen breiten sich die Druckbeanspruchungen infolge der sehr lockeren Bodenstruktur vermehrt vertikal in tiefere Bodenschichten aus, was zu den für dieses Anbausystem typischen ausgeprägten Fahrspuren führt.

Generelle Rahmenbedingungen des Befahrungsvorversuchs

Die Messungen wurden weitgehend unter dem angestrebten worst case-Szenario «maximale Radlast auf sehr feuchtem bis nassem (rund 30 hPa) Boden» durchgeführt. Bei beiden Ernteverfahren wurde ein Bunkerfüllungsgrad von 100 Prozent erreicht. Beim zweireihigen gezogenen Ernteverfahren wurde das am stärksten belastete rechte Vollernterrad in die Messungen miteinbezogen und der Effekt von Mehrfachbefahrungen durch vier der sechs Räder berücksichtigt. Beim sechsreihigen selbstfahrenden Ernteverfahren wurde aus versuchstechnischen Gründen nicht das Rad mit der höchsten Radlast (linkes Hinterrad), sondern das Rad mit dem höchsten Kontaktflächendruck (linkes Vorderrad) gemessen, weil der Messort infolge des spurversetzten Fahrwerkes mit den Bollingsonden nicht erreichbar war. Dies ist bei der Interpretation der Resultate zu berücksichtigen, ebenso die Tatsache, dass die Untersuchungen nur an einem Standort durchgeführt worden sind.

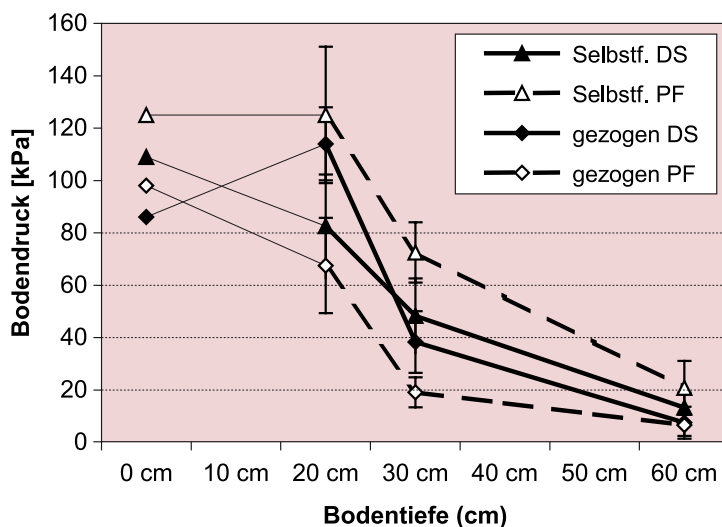
Mittlerer Kontaktflächendruck:

Die durchwegs sehr grossen Kontaktflächen des sechsreihigen selbstfahrenden Ernteverfahrens führten im System DS unter dem linken Vorderrad zu einem maximalen Kontaktflächendruck von 109 kPa bei einer Radlast von 7'550 kg, was fast jenem des linken Hinterrades entspricht (115 kPa bei 11'100 kg). Schafer-Landefeld *et al.* (2004) bestimmten in ihren Untersuchungen an vergleichbaren Zuckerrübenvollerntern einen mittleren Kontaktflächendruck von 113 kPa. Die im Allgemeinen kleineren Kontaktflächen im System PF bewirkten, dass beim sechsreihigen Ernteverfahren im System PF der höchste mittlere Kontaktflächendruckwert aller Räder

Mit 135% Fahrspurfächenanteil überfährt das Verfahren sechsreihig selbstfahrend aufgrund der geringeren Anzahl Reifen und der grösseren Rodebreite weniger Fläche als das Verfahren zweireihig gezogen (298% Fahrspurfächenanteil). Das totale Einsatzgewicht von gut 35 Tonnen ist regelmässig auf alle Räder verteilt. Man beachte auch die versetzbare Spur (Hundegang).



Abb. 1. Mit Drucksonden nach Bolling erhobene Bodendrücke in den Bodentiefen 20, 30 und 60 cm. Der Druckmittelwert an der Bodenoberfläche (0 cm) entspricht dem aufgrund von Felderhebungen empirisch bestimmten mittleren Kontaktflächendruck.



gemessen wurde (125 kPa). Dabei entsprach der Reifeninnendruck der vorderen Räder des selbstfahrenden Vollernters mit 2,75 bar den Empfehlungen des Reifenherstellers.

Beim zweireihigen gezogenen Ernteverfahren sind in beiden Anbausystemen mit rund 5'900 kg sowohl die höchsten Radlasten wie auch die grössten Kontaktflächendrücke unter dem rechten Vollernterrad bestimmt worden. Der mittlere Kontaktflächendruck betrug im System DS 86 kPa, im System PF 98 kPa. Damit war der maximale mittlere Kontaktflächendruck im zweireihigen gezogenen Ernteverfahren um gut 20 % tiefer als derjenige des Vergleichsverfahrens. Der Reifeninnendruck des rechten Vollernterrades war mit 1,15 bar gegenüber den Herstellerempfehlungen (1,2 - 1,5 bar) etwas zu tief eingestellt.

Einfluss der Befahrungen auf den Bodendruck

Die von den jeweiligen Kontaktflächendrücken ausgehenden gemessenen Bodendrücke nahmen als Folge der Druckausbreitung mit zunehmender Bodentiefe erwartungsgemäss ab (Abb. 1). In beiden Anbausystemen, beziehungsweise Ernteverfahren war der Druckabbau mit 40 und mehr

kPa insbesondere zwischen 20 und 30 cm überproportional hoch. Deshalb waren - nach einem weiteren Druckabbau im Unterboden - in 60 cm Bodentiefe durchwegs nur noch sehr geringe Bodendrücke (kleiner als 20 kPa) messbar.

■ Die Bodendrücke beim sechsreihigen selbstfahrenden Ernteverfahren waren (mit einer Ausnahme) in allen drei Schichten beider Anbausysteme höher als unter dem zweireihigen gezogenen Verfahren, beim System PF durchwegs statistisch gesichert. Die Zunahme des Drucks im Oberboden des Systems DS während der Überfahrt des zweireihigen gezogenen Ernteverfahrens widerspricht den theoretischen Erwartungen.

Einfluss der Befahrungen auf die Porosität

In allen drei beprobten Bodenschichten des Systems DS veränderten sich als Folge der Überfahrt bei beiden Ernteverfahren sowohl die Gesamtporen- (nicht dargestellt) wie auch die Grobporenvolumina kaum (Abb. 2). Eine tendenzielle Abnahme des Grobporenvolumens war im Vergleich zu den Kontrollmessungen «unbefahren» nach der Überfahrt beim sechsreihigen selbstfahrenden Ernteverfahren in den beiden unteren Bodenschichten festzustellen. Die

Medianwerte des Grobporenvolumens lagen in der DS-Parzelle bei 8 Vol.% in 20 cm Bodentiefe, 7,5 Vol.% in 30 cm Bodentiefe und 12 bis 14 Vol.% in 60 cm Bodentiefe.

Im Oberboden des Systems PF verringerten sich im Vergleich zu den Kontrollmessungen «unbefahren» sowohl die Gesamt- als auch die Grobporenvolumina (Abb. 2) durch die Überfahrten bei beiden Ernteverfahren statistisch gesichert. Mit der Bodenbearbeitung im Frühjahr wurde der Boden überlockert, das heisst mechanisch wurden künstliche Grobporen geschaffen und durch die Überfahrten bei beiden Ernteverfahren wieder zusammengedrückt. Der Grobporenmedianwert sank in der Bodenschicht 20 cm nach den Überfahrten beim sechsreihigen selbstfahrenden Ernteverfahren von rund 15 auf unter 6 Vol.%, beim zweireihigen gezogenen Ernteverfahren auf rund 7 Vol.%. Dasselbe Bild ergab sich - weniger ausgeprägt - auch bei den Grobporenvolumen-Messungen in der Schicht 30 cm, wo die Medianwerte bei beiden Ernteverfahren gar unter 6 % sanken. Selbst in 60 cm Bodentiefe war eine Abnahme der Grobporenvolumina in beiden Ernteverfahren noch statistisch gesichert nachweisbar: Durch die Überfahrten bei beiden Ernteverfahren sank das Grobporenvolumen in dieser Schicht um rund 4 auf 9 Vol.%. In allen drei Bodenschichten des Systems PF lagen die Medianwerte der Grobporenvolumina nach den Überfahrten bei beiden Ernteverfahren unter denjenigen des Systems DS.

Einfluss der Befahrungen auf die Stabilität

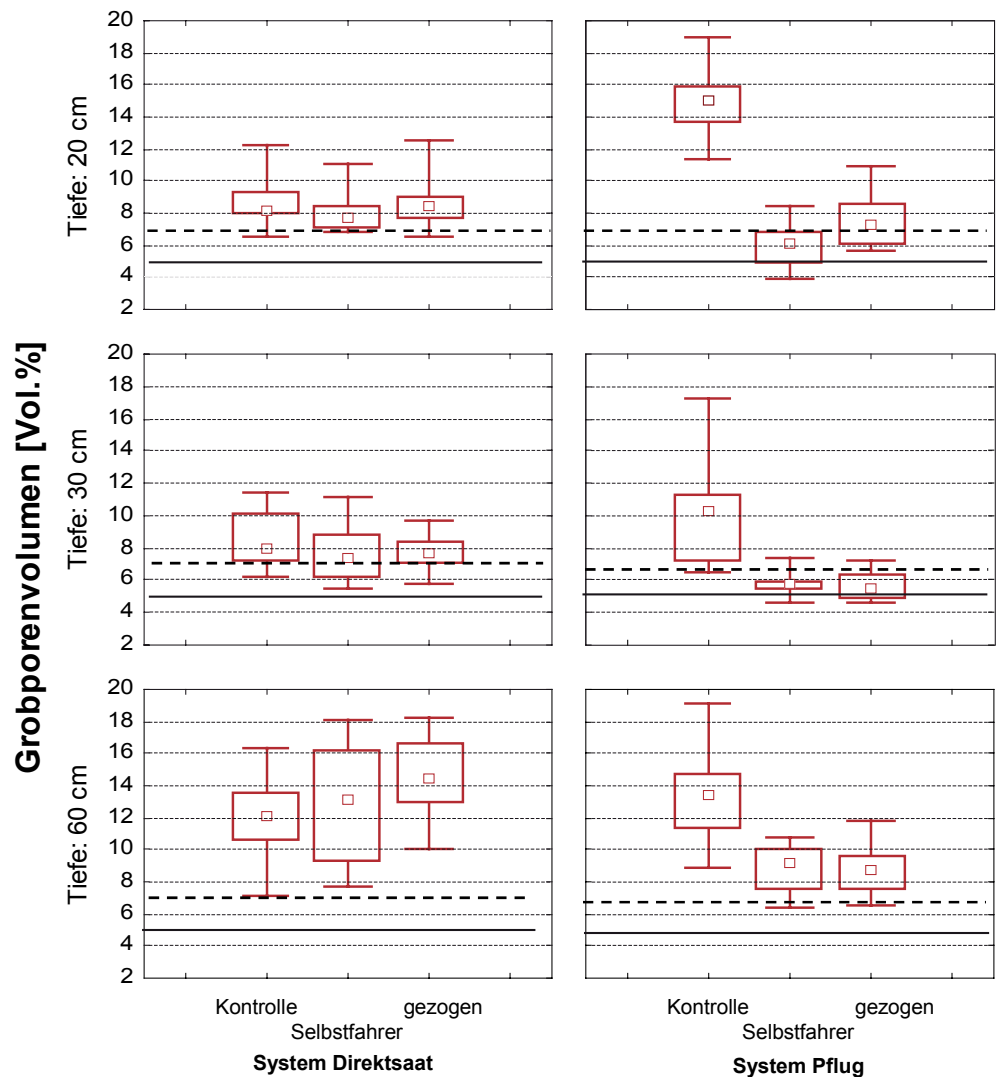
Vorbelastung: In beiden Anbausystemen veränderten sich die Vorbelastungswerte nach den Überfahrten bei beiden Ernteverfahren unerheblich (Abb. 3). Einzig in 60 cm Bodentiefe

beim Pflugsystem wurde nach der Überfahrt des zweireihigen gezogenen Ernteverfahrens eine statistisch gesichert tiefere Vorbelastung gemessen als im sechsreihigen selbstfahrenden Vergleichsverfahren. Ansonsten wurden zwischen den Ernteverfahren höchstens tendenzielle Unterschiede festgestellt.

Auffallend waren beim System DS die im Vergleich zu PF deutlich höheren Stabilitäten in 20 cm Bodentiefe und die geringeren Vorbelastungswerte in 60 cm Bodentiefe. Im gelockerten Oberboden (Tiefe 20 cm) des Systems PF hingegen wurden die mit Abstand tiefsten Vorbelastungswerte festgestellt. Die (ehemalige) Pflugschicht war in beiden Anbausystemen die stabilste Bodenschicht und zeigte jeweils die höchsten Vorbelastungswerte.

Kompressionsbeiwert: Im Gegensatz zum System DS stellte man in 20 cm Bodentiefe des Systems PF vor den Überfahrten bei beiden Ernteverfahren einen statistisch gesichert grösseren Kompressionsbeiwert und damit eine geringere Gefügestabilität fest (nicht dargestellt). Durch die Überfahrten wurde das Gefüge - etwas ausgeprägter durch das Befahren mit dem sechsreihigen selbstfahrenden Ernteverfahren - in eine festere Sekundärstruktur gebracht. Die angetriebenen Räder des sechsreihigen Selbstfahrs verursachten im Vergleich zu denjenigen des zweireihigen gezogenen Vergleichsverfahrens ausgeprägtere horizontal auf den Boden wirkende Kräfte. Dadurch wurde möglicherweise der durch den Rodevorgang leicht gelockerte Boden beim anschliessenden Befahren umso kompakter gepresst beziehungsweise intensiver eingeregelt.

In ähnlicher Ausprägung nahmen in 30 cm Bodentiefe die Kom-



pressionsbeiwerte durch die Überfahrten bei beiden Ernteverfahren in beiden Systemen statistisch gesichert ab, d.h. die Stabilität des Bodengefüges nahm jeweils in ähnlichem Ausmass zu. Während in der 60 cm Bodenschicht des Systems PF die Kompressionsbeiwerte durch das Befahren beim zweireihigen gezogenen Ernteverfahren gegenüber dem Vergleichsverfahren sechsreihig selbstfahrend statistisch gesichert abnahmen, wurde im System DS kaum ein Unterschied festgestellt.

Bei den Ergebnissen der bodenmechanischen Untersuchungen fällt auf, dass der Vorbelastungswert als Folge der Überfahrten nicht - wie aufgrund

von Beobachtungen in anderen Versuchen - stark zugenommen hat, sondern dass er im Gegenteil sogar teilweise verringert wurde. Dies bedeutet, dass sich bleibende Stabilitätsveränderungen in diesem Befahrungsbereich, sondern in erster Linie als Stabilitätszunahmen im Erstbelastungsbereich sichtbar machen. Dieser Effekt könnte auf die Versuchsumstände mit der kurz vor den Befahrungen ausgebrachten Wassermenge - dem hohen Wassersättigungsgrad - sowie den intensiven Bodenbeanspruchungen durch angetriebene Räder beziehungsweise Mehrfachbefahrungen zurückzuführen sein. Als Folge dieser Konstellation von Stabi-

Abb. 2. Grossporenvolumen bei den Ernteverfahren «sechsreihig selbstfahrend» und «zweireihig gezogen» in 20, 30 und 60 cm Bodentiefe in den Anbausystemen «Direktsaat» (links) und «Pflug» (rechts); inkl. eingezeichnete BGS-Vorschläge für Richt- (-----) und Prüfwerte (—). Box-Plot mit Median, Bereich 25-75 % sowie Minimum und Maximum.

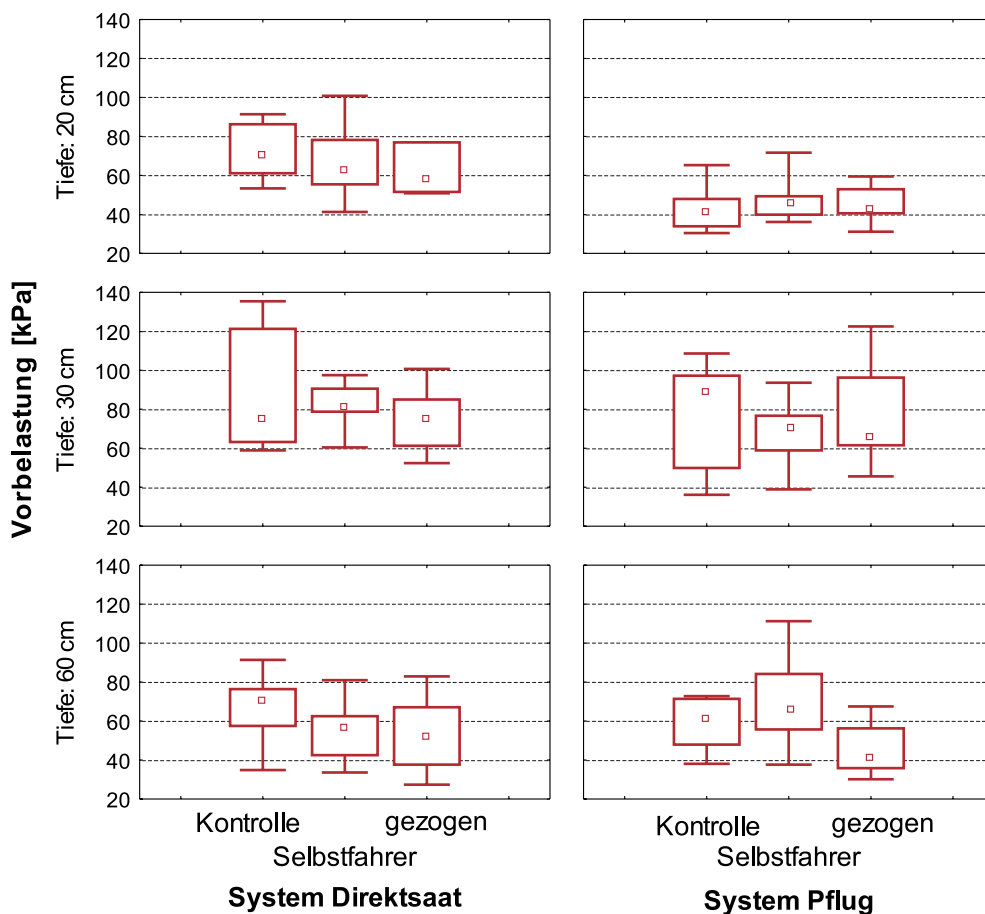


Abb. 3. Vorbelastung bei den Ernteverfahren «sechsstreihig selbstfahrend» und «zweireihig gezogen» in 20, 30 und 60 cm Bodentiefe in den Anbausystemen «Direktsaat» (links) und «Pflug» (rechts). Box-Plot mit Median, Bereich 25-75 % sowie Minimum und Maximum.

litäts- und Beanspruchungsfaktoren wurde das Bodengefüge vermutlich nicht nur graduell entlang der bestehenden Erstbelastungsgeraden verdichtet (erkennbar anhand einer Zunahme der Vorverdichtung bei praktisch gleich bleibendem Kompressionsbeiwert), sondern derart stark umgestaltet, dass die Erstbelastungsgerade in eine neue Lage gebracht wurde (erkennbar an der Abnahme des Kompressionsbeiwertes bei ähnlichem oder gar geringerem Vorbelastungswert).

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass die Reaktionen des Bodens auf Überfahrten mit sehr hohen Radlasten prinzipiell nachvollziehbar und mit theoretischen Überlegungen begründbar sind:

Der höhere Kontaktflächen- druck bei beiden Ernteverfahren im System DS weist auf ein sehr stabiles Gefüge in der obersten Bodenschicht dieses Anbausystems hin. Ein ähnlich stabiles Gefüge fehlt im Bearbeitungshorizont des Systems PF. Da hier der Boden regelmässig überlockert wird, lässt er sich durch Druckbeanspruchungen auch wieder stärker verdichten. Durch die Überfahrten bei beiden Ernteverfahren wurden deshalb im System PF sowohl der Gefügebau (Groporenvolumen und Gesamtporenvolumen) als auch die Gefügestabilität (Vorbelastung und Kompressionsbeiwert) zum Teil stark ungünstig verändert. Auch Kooistra und Boersma (1994) weisen in ihren Untersuchungen auf die abnehmende Stabilität des Bodens nach einem Pflug-

einsatz beziehungsweise auf eine Stabilitätszunahme nach einer Bodenbearbeitung ohne Pflug hin. Der in beiden Anbausystemen gemessene starke Bodendruckabbau und die hohen Vorbelastungswerte zwischen 20 und 30 cm Bodentiefe weisen auf ein stabiles Bodengefüge in dieser Schicht hin.

In allen drei Bodentiefen des Systems DS wurden bezüglich Gefügebau und -stabilität wenige Unterschiede zwischen den Kontrollmessungen «unbefahren» und den Messungen nach den Überfahrten bei beiden Ernteverfahren festgestellt. Im System PF dagegen waren die Veränderungen vor allem der Gefügebau-Parameter im Vergleich zu den Kontrollmessungen «unbefahren» auch im Unterboden ausgeprägt. Teilweise lagen die Werte der Groporenvolumina - insbesondere im System PF - nach den Befahrungen unter den von der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz vorgeschlagenen Richt- beziehungsweise sogar Prüfwerten (Abb. 2), was als Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit zu interpretieren ist (Häusler und Buchter, 2004).

Aus den unter worst case-Bedingungen durchgeführten Untersuchungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden (siehe auch Kasten Seite 477):

1.) Beide Ernteverfahren beeinträchtigen den tiefgründigen Boden (Braunerde, schwach humoser sandiger Lehm) bei sehr hohem Wassergehalt und daher geringer Gefügestabilität im Anbausystem PF bis in mindestens 60 cm Tiefe; zwischen den Ernteverfahren «sechsstreihig, selbstfahrend» und «zweireihig, gezogen» ist jedoch kaum ein wesentlicher Unterschied ersichtlich. Nur im Oberboden sind leichte Tendenzen zugunsten des zweireihigen gezogenen Ernteverfahrens festzustellen.

2.) Beim Anbausystem PF findet man erst in 30 cm Bodentiefe eine Schicht mit erhöhter Gefügestabilität. Im Vergleichssystem DS, langjährig umgesetzt, lässt sich dagegen eine erhöhte Gefügestabilität auch in der obersten Bodenschicht nachweisen, so dass im Vergleich zum System PF wesentlich geringere Gefügeeintrüchtigungen auftreten. Das System DS leistet daher einen grossen Beitrag zur Erhöhung der Tragfähigkeit von Böden und zur Vermeidung von Unterbodenverdichtungen.

Literatur

■ Häusler S. & Buchter B., 2004. Definition und Erfassung von Bodenschadverdichtungen. Teil 2: Vorschläge für Richt- und Prüfwerte zur Definition von Bodenschadver-

dichtungen. BGS Dokument 13, Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale Zollikofen, 17-35.

■ Kooistra M. J. & Boersma O. H., 1994. Subsoil compaction in Dutch marine sandy loams – loosening practices and effects. Agriculture, Soil Science, Elsevier Science BV. PO BOX 211, 1000 AE Amsterdam, Netherlands.

■ Schafer-Landefeld L., Brandhuber R., Fenner S., Koch H. J. & Stockfisch N., 2004. Effects of agricultural machinery with high axle load on soil properties of normally managed fields. Agriculture, Soil Science, Elsevier Science BV. PO BOX 211, 1000 AE Amsterdam, Netherlands.

■ Scheffé H., 1953. A method for judging all contrasts in the analysis of variance. *Biometrika* **40**, 87-104.

Weitere Praxisempfehlungen

Der überlegte Einsatz der in diesem Artikel untersuchten Ernteverfahren trägt wesentlich mehr zur Bodenschonung bei als aufgrund eines rein technischen Vergleiches zu erwarten wäre. Zu einem bodenschonenden Einsatz mit schwerer Erntemechanisierung gehören insbesondere organisatorische Verbesserungen wie: das Vermeiden von «Nassernten», ein häufiges Abbunkern, das Anlegen von Mieten an beiden Feldenden sowie eine maximale Nutzung der befestigten Wege. Durch die konsequente Wahl der maximal möglichen Bereifung mit korrekt eingestelltem Luftdruck lassen sich die bodenmechanischen Eigenschaften der Fahrzeuge noch zusätzlich verbessern.

■ Weisskopf P., Zihlmann U., Chervet A., Sturny W. G. & Müller M., 2005. Entwicklung des Bodengefüges bei Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung* **12** (8), 362-367.

RÉSUMÉ

Atteintes physiques à la structure du sol lors de la récolte de betteraves sucrières

En Suisse, la récolte des betteraves sucrières s'effectue essentiellement à l'aide de récolteuses intégrales tractées à deux rangs ou de récolteuses automotrices à six rangs. La multiplication des passages des engins tractés ou la pression des pneus de plus de 10 tonnes des récolteuses automotrices, ajoutées à des conditions de récolte souvent défavorables et des terrains humides en automne, font régulièrement craindre des atteintes à la structure des sols à la suite de compactations.

Deux parcelles de betteraves sucrières situées sur un site aux conditions pédologiques homogènes (limon sableux profond) ont été comparées, l'une étant cultivée depuis des années en semis direct et l'autre régulièrement labourée. Pendant et après les passages des récolteuses mentionnées ci-dessus, les mesures suivantes ont été effectuées: la pression au sol a été déterminée à l'aide de sondes Bolling, et des cylindres de sol intacts ont été prélevés pour mesurer le volume des pores et la stabilité de la structure. Le sol labouré, à la structure plus fragile, a été perturbé jusqu'à une profondeur de 60 cm par les deux méthodes de récolte; on n'a toutefois pas observé de différence notable entre les deux méthodes utilisées. Le système cultural du « semis direct » pratiqué depuis des années a permis d'augmenter la stabilité de la structure et d'apporter ainsi une contribution importante à l'amélioration de la portance des sols.

SUMMARY

Physical impacts on soil structure during sugar beet harvest

In Switzerland sugar beets are harvested primarily by two-row hauled or six-row self propelled vehicles. The multiple passes in the same wheel track caused by the hauled vehicles, the more than 10 tonnes wheel loads of the self-propelled harvesters and the generally unfavourable conditions with wet soils during the harvest campaign in autumn give rise to concerns about possible damages to soil structure by compaction.

On a site with homogeneous soil conditions (deep sandy loam), two sugar beet fields with different tillage history were compared, one which had been managed with no-till for a long time, and one which has been plowed routinely before sowing sugar beets. During and after the passes of the two harvest vehicles described above, several measurements were done: Bolling probes were used for measuring soil pressure, undisturbed cylindrical soil samples were taken for the analysis of porosity and structural stability in the lab. Both harvest treatments affected the structure of the plowed soil with its low stability of the arable layer at least down to 60 cm depth; however, between the two vehicles tested there could not be found any relevant differences. On the other hand the no-till system, applied for many years, showed a remarkably high degree of structural stability and can therefore make a valuable contribution to the improved trafficability of soils.

Key words: soil pressure, trafficability of soils, risk of structure-damages by compaction, sugar beet harvesters, no-tillage