

Umwelt

Entwicklung des Bodengefüges bei Direktsaat und Pflug

Peter Weisskopf und Urs Zihlmann, Agroscope FAL Reckenholz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich

Andreas Chervet und Wolfgang G. Sturny, Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern, Rütli, CH-3052 Zollikofen

Moritz Müller, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL, CH-3052 Zollikofen

Auskünfte: Peter Weisskopf, E-Mail: peter.weisskopf@fal.admin.ch, Fax +41 (0)44 377 72 01, Tel. +41 (0)44 377 73 27

Zusammenfassung

Auf der Dauerbeobachtungsfläche Oberacker am Inforama Rütli werden die beiden Anbausysteme «Pflug» und «Direktsaat» seit 1994 auf einer tiefgründigen, grundfeuchten Braunerde im Verlauf einer rein ackerbaulichen Fruchtfolge miteinander verglichen. Von 2000 bis 2004 durchgeführte bodenphysikalische Begleituntersuchungen liefern Angaben zur Gefügeentwicklung im Ober- und Unterboden. Mit Hilfe von Fahrspur-Flächenanteil / Druckbeanspruchungs-Diagrammen werden Bodenbeanspruchungen der beiden Pflugverfahren miteinander verglichen und Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt. Bestimmungen von Lagerungsdichte, Grobporenvolumen und Luftpermeabilität an Bodenproben ermöglichen Rückschlüsse auf den Gefügebau. Sie zeigen bei der Direktsaat günstige Entwicklungen besonders im Unterboden und teilweise ungünstige Effekte im Oberboden.

Neben der Bestimmung traditioneller bodenmechanischer Stabilitätsparameter wie der Vorbelastung werden mit dem Rest-Gesamtporenvolumen und dem Rest-Grobporenvolumen neue Parameter vorgeschlagen, um die Ergebnisse von Drucksetzungsmessungen funktionell besser interpretieren zu können. Die Stabilitätsparameter verdeutlichen die generell günstigen Eigenschaften der Unterböden im Oberacker-Vergleich und weisen im Oberboden auf die die Stabilität fördernde Wirkung des Direktsaatsystems hin.

Systemvergleich am Inforama Rütli

Im Ackerbau müssen vermehrt extensive, konservierende Bodenbearbeitungssysteme in der Praxis umgesetzt werden, um die Bodenfruchtbarkeit auf lange Sicht sicherzustellen (Schweizerische Eidgenossenschaft 1983) und die Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Mit dem Ziel, sowohl die Vorteile als auch die Nachteile des Direktsaatsystems gegenüber dem Pflugsystem aufzuzeigen, wurde am Inforama Rütli in Zollikofen im August 1994 ein Systemvergleich angelegt (Abb. 1). Der im Streifendesign angelegte Vergleich ohne Wiederholungen liegt auf einer tiefgründigen, grundfeuchten Braunerde mit einem Tonanteil von 15 Prozent und einem organischen Substanzgehalt von drei Prozent (Chervet *et al.* 2001). Sechs nebeneinander liegende Fruchtfolgeparzellen à 14 Aren werden je zur Hälfte direkt bestellt beziehungsweise gepflügt.

Neben agronomischen Erhebungen werden bodenphysikalische, -biologische und -chemische Parameter erfasst. Ein Teil der Untersuchungen wird von der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft in Zollikofen (SHL) und von Agroscope FAL Reckenholz durchgeführt.

Auf der 1994 am Inforama Rütli angelegten Dauerbeobachtungsfläche Oberacker (Kasten 1 und Abb. 1) sind ab 2000 von Agroscope FAL Reckenholz Begleituntersuchungen mit dem Ziel durchgeführt worden, bodenphysikalische Aspekte dieses Systemvergleiches vertieft beurteilen zu können. Bei diesen Untersuchungen geht es um die Frage, ob die beiden Anbausysteme «Pflug» (PF) und «Direktsaat» (DS) durch die unterschiedlichen Bodenbeanspruchungen sowie durch die von ihnen ausgelösten unterschiedlichen Gefügebildungs- und Gefügeregenerations-Vorgänge den Aufbau und die Stabilität des Bodengefüges am Standort Oberacker unterschiedlich beeinflussen. Seit dem Jahr 2000 werden dazu in der Parzelle 5 jedes Frühjahr beide Anbausysteme in den Tiefen 10 bis 15 cm und 35 bis 40 cm jeweils mindestens sechs Wochen nach der letzten Bodenbearbeitung beprobt. Dabei werden pro Anbausystem und Tiefe acht ungestörte Zylinderproben entnommen. Die Zylinderproben haben ein Volumen von 235 cm³ und die Masse 30 mal 100 mm (Höhe mal Durchmesser).

An den Zylinderproben wurden folgende Parameter des Gefügestandes bestimmt:

- Gefügebau: Lagerungsdichte, Gesamtporenvolumen, Grobporenvolumen («Luftkapazität») und Luftpermeabilität;
- Gefügestabilität: Vorbelastung, Porositätsverlust (Kasten 2);



Abb 1. Dauerbeobachtungsfläche Oberacker am Inforama Rütli, Zollikofen, Luftaufnahme vom 29. Juni 2004. (Foto: Gabriela Brändle, Agroscope FAL Reckenholz)

■ Gefügereaktion auf Druckbeanspruchungen: Rest-Gesamtporenvolumen und Rest-Grobporenvolumen (Kasten 2).

Bodenbeanspruchung im Pflugsystem

Die Bodenbearbeitung im Pflugsystem bewirkt nicht nur eine mechanische Bodenlockerung, sondern hat auch eine erhöhte mechanische Bodenbeanspruchung durch das Befahren zur Folge. Anhand von Diagrammen, die den Flächenanteil der durch das Befahren verursachten Fahrspuren zusammen mit den entsprechenden Druckbeanspruchungen darstellen, lassen sich die vom Pflugsystem verursachten zusätzlichen Bodenbeanspruchungen erkennen.

Durch das Pflügen entstanden 1999 im Unterboden auch flächenmässig erhebliche Druckbeanspruchungen (Abb. 2). Diese waren nicht in erster Linie wegen des absoluten Gewichts oder der schlechten Bereifung des eingesetzten Traktors hoch, sondern weil 1999 noch mit einem zweischarigen «in furrow»-Pflugverfahren gearbeitet wurde. Bei diesem Pflugverfahren laufen die Räder der einen Traktorseite in der Pflugfurche der vorherigen Durchfahrt, so dass die Beanspruchungen der Traktorräder direkt auf den Unterboden einwirken. Beim Wintergerstenanbau 2004 sehen die durch das Pflügen verursachten Bodenbeanspruchungen anders aus: Durch den Einsatz eines dreischarigen «onland»-Pfluges sind einerseits weniger Überfahrten nötig, andererseits werden die hohen Unterbodenbeanspruchungen vermieden, in den Oberboden verlagert und durch die Doppelbereifung der Hinterachse teilweise reduziert. Während beim System PF vor dem Wechsel vom «in furrow»- zum «onland»-Pflügen im Unterboden deutlich grössere Beanspruchungen in höheren Druckbereichen auftraten als

Charakterisieren von Gefügestabilität und der Gefügereaktion auf Druckbeanspruchungen

Die Vorbelastung VB_{Casa} entspricht theoretisch jenem Druckwert, bei dem auf einem sehr feuchten Boden mit einer Saugspannung von 60 Hektopascal entwässerte Bodenproben vom elastischen zum plastischen Verformungsverhalten übergehen.

Der Porositätsverlust dPV ist die in Porenvolumenverlust umgerechnete Setzung der auf 60 Hektopascal entwässerten Proben bei 50 beziehungsweise 100 Kilopascal Belastung im 30-minütigen Oedometerversuch.

Das Rest-Gesamtporenvolumen GPV_r ist das nach der Belastung mit 50 beziehungsweise 100 Kilopascal in den Proben noch vorhandene Gesamtporenvolumen.

Das Rest-Grobporenvolumen GGP_r entspricht dem nach der Belastung mit 50 beziehungsweise 100 Kilopascal in den Proben noch vorhandenen Grobporenvolumen, unter der Annahme, dass der Porenvolumenverlust bei der Drucksetzung zu Setzungsbeginn ausschliesslich zu Lasten der Grobporen geht.

beim System DS, werden durch den Wechsel des Pflugverfahrens die Unterboden-Beanspruchungen im System PF erheblich verringert, allerdings wegen der Doppelbereifung bei immer noch hohem Fahrspur-Flächenanteil.

Entwicklung des Gefügaufbaus

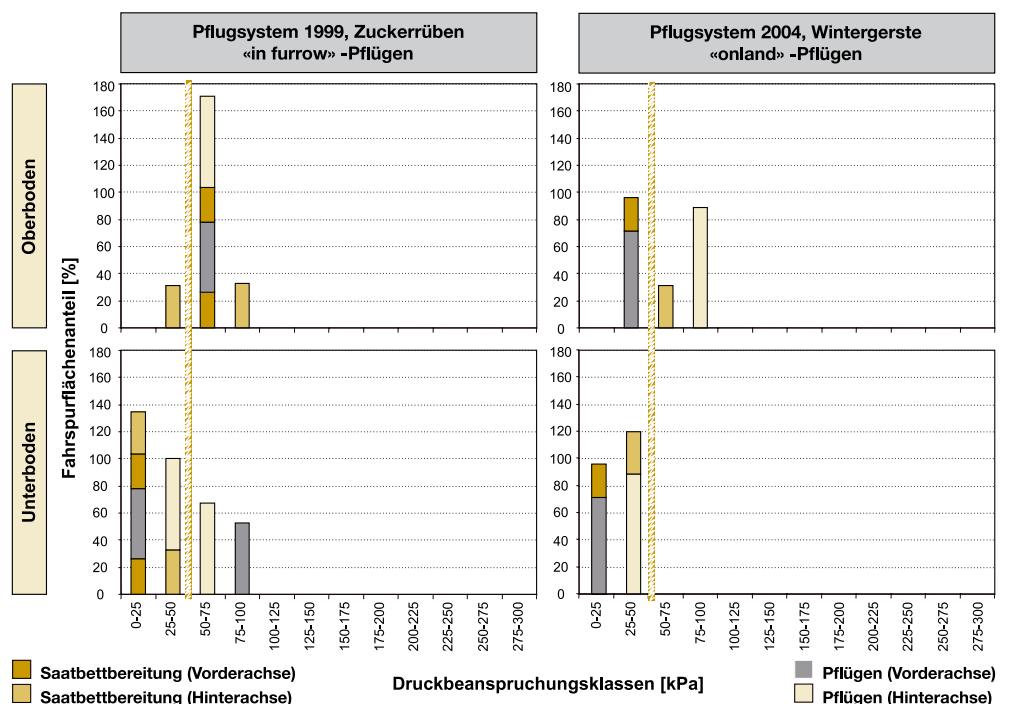
Während im ersten Untersuchungsjahr 2000 bei beiden Systemen mehr Grobporen im Oberboden zu finden waren, wiesen in den übrigen Jahren die Unterböden grössere Grobporenvolumina auf (Abb. 3).

Die Grobporenvolumina im Ober- und Unterboden ent-

wickelten sich im Verlauf des Untersuchungszeitraums unterschiedlich: Im Oberboden verringerten sich die Werte zwischen 2000 und 2001 von etwa 15 auf 10 Volumenprozent. Dagegen erhöhte sich das Grobporenvolumen im Unterboden beider Verfahren, mit Ausnahme von 2003, von 2000 bis 2004 kontinuierlich.

Im Oberboden konnten beim Grobporenvolumen in drei der fünf Untersuchungsjahre keine Systemunterschiede zwischen PF und DS festgestellt werden, in den beiden Jahren 2000 und 2004 hingegen wies das PF-System jeweils höhere Werte auf. Auch

Abb. 2. Fahrspurflächen / Druckbeanspruchungs-Diagramm für die Bodenbearbeitungsmassnahmen im Pflugsystem der Dauerbeobachtungsfläche Oberacker. Dargestellt werden die Bodenbelastungen beim Anbau von Zuckerrüben 1999 (links) und beim Anbau von Wintergerste 2004 (rechts), jeweils für den Oberboden (10 cm Bodentiefe, oben) und den Unterboden (35 cm Bodentiefe, unten). 1999 wurde mit dem «in furrow»-, 2004 mit dem «onland»-Pflugverfahren gearbeitet.



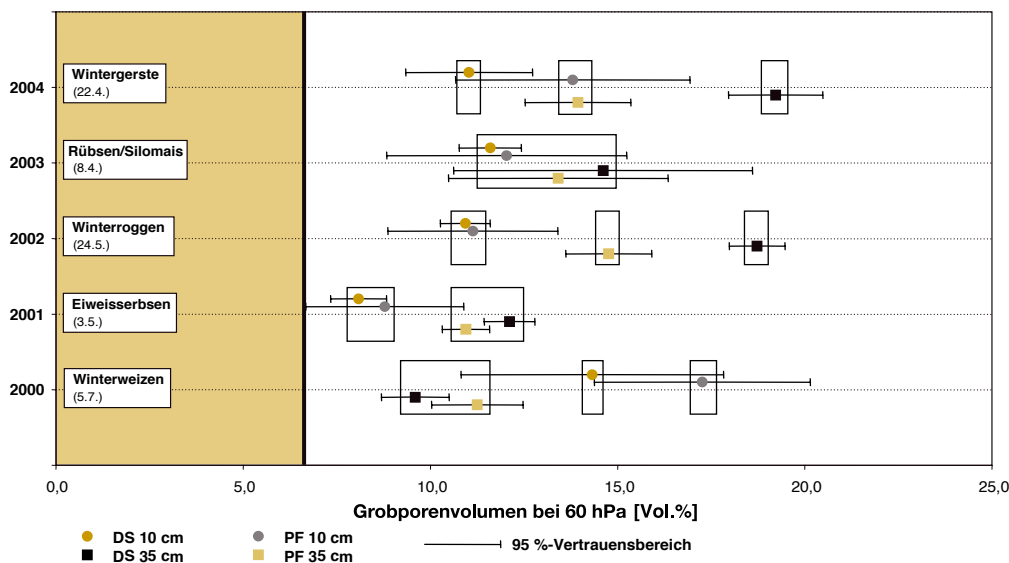


Abb. 3. Grobporenvolumen bei 60 hPa im Oberboden (kreisförmige Symbole) und Unterboden (quadratische Symbole) der beiden Anbausysteme «Pflug» und «Direktsaat» im Verlauf der Untersuchungsperiode 2000 bis 2004; in Klammern: Beprobungstermin.

im Unterboden unterschieden sich die Anbausysteme bezüglich der Grobporenvolumen-Werte in drei der fünf Jahren nicht, in den beiden Jahren 2002 und 2004 waren jedoch grössere Grobporenvolumina im Unterboden des DS-Systems zu finden.

Von den zwischen 2000 und 2001 wahrscheinlich durch Bewirtschaftungsmassnahmen verursachten Gefügebeeinträchtigungen haben sich die Oberböden im Verlauf der Untersuchungsdauer noch nicht wieder vollständig erholt: Das DS-System mit seinen überwiegend natürlichen Gefüge-Regenerationsprozessen zeigt dies klar auf, und auch das System PF mit seiner mechanischen Bodenlockerung erreichte erst

2004 (nach dem trockenen Sommer 2003) wieder höhere Grobporenvolumen-Werte. Ob die Situation im Jahr 2000 eine Nachwirkung der Zuckerrüben-ernte 1999 mit dem einzigen, erntebedingten Lockerungseingriff ins Oberbodengefüge des DS-Systems darstellt, lässt sich derzeit nicht beantworten.

Interessant ist, dass sich das Grobporenvolumen der Unterböden im Verlauf der Untersuchungsperiode generell erhöht und insbesondere beim System DS gegenüber der Ausgangssituation im Jahr 2000 zum Teil erheblich verbessert hat.

Die in der Abbildung 3 hervorgehobene Fläche unter sieben Volumenprozent Grobporenvo-

lumen markiert jenen Bereich, in dem gemäss Vorschlag von Häusler und Buchter (2004) der vorsorgliche Grobporen-Richtwert unterschritten würde (Kasten 3).

Die Korrelationen zwischen dem Grobporenvolumen und der Luftpermeabilität sind zwar über den gesamten Grobporenbereich betrachtet nicht sehr eng und stark vom jeweiligen Gefügetyp abhängig (Abb. 4). Die gesamte Werteschar zeigt jedoch klar, bei welchem Grobporenvolumen die Luftpermeabilität spätestens einbricht und wo das Gefüge seine Fähigkeit zum Gastransport als Massefluss praktisch verliert. Die markierten Punkte entsprechen den von Häusler und Buchter (2004) vorgeschlagenen Richt- und Prüfwerten für das Grobporenvolumen bei einer Saugspannung von 60 Hektopascal.

Entwicklung der Gefügestabilität

Beim Parameter Vorbelastung traten – wie auch bei der Lagerungsdichte – im Unterboden deutlich höhere Werte auf als im Oberboden. Mit den beiden zwischen den Beprobungsterminen 2000 und 2001 im Oberboden beziehungsweise 2002 und 2003 im Unterboden aufgetretenen Verdichtungseffekten war auch eine Erhöhung der mechanischen Stabilität der Böden verbunden, die sich als höhere Vorbelastungswerte bemerkbar machte. Als Folge dieser Entwicklungen zeigten die Vorbelastungswerte der Unterböden im Verlauf der Untersuchungsperiode 2000 bis 2004 eine beachtliche Bandbreite zwischen etwa 50 und 110 Kilopascal. Demgegenüber bewegten sich die Vorbelastungswerte im Oberboden, mit Ausnahme des DS-Systems im Jahr 2001, in einem engeren Bandbereich zwischen 20 und 50 Kilopascal. Im Unterboden sind keinerlei Systemeffekte auf die Vorbe-

Richt- und Prüfwerte für den physikalischen Bodenschutz

Die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz (BGS) hat 2004 für die Gefügeparameter effektive Lagerungsdichte, Grobporenvolumen bei 60 Hektopascal, gesättigte Wasserleitfähigkeit und Eindringwiderstand Richt- und Prüfwerte vorgeschlagen (Häusler und Buchter 2004). In Analogie zu den in der Verordnung über Belastungen des Bodens VBBö (Schweizerische Eidgenossenschaft 1998) festgehaltenen Richt-, Prüf- und Sanierungswerten für chemische Bodenparameter sollen damit auch bei physikalischen Bodeneigenschaften Interpretationshilfen für den Vollzug des Bodenschutzes geschaffen werden.

Für die Begleituntersuchungen im Systemvergleich Oberacker sind dabei folgende Richtwerte von Interesse:

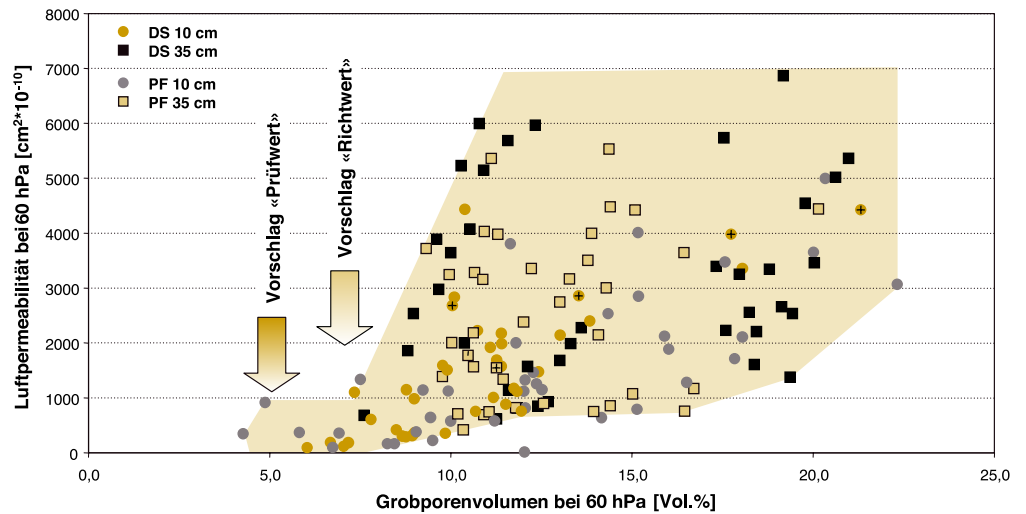
- Effektive Lagerungsdichte: Überschreitung des Richtwertes von 1,7 g/cm³;
- Grobporenvolumen bei 60 Hektopascal: Unterschreitung des Richtwertes von sieben Volumenprozent beziehungsweise des Prüfwertes von fünf Volumenprozent.

lastung auszumachen. Auch im Oberboden bestehen nur in zwei von fünf Jahren (2000 und besonders 2001) statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Systemen, wobei die höheren Vorbelastungswerte jeweils im DS-System auftraten; tendenziell sind im DS-System allerdings auch in den Jahren 2002 und 2004 zusammen mit höheren Lagerungsdichten ebenfalls höhere Vorbelastungswerte festgestellt worden.

Ein neuer Blick auf die Gefügestabilität

Die herkömmliche bodenmechanische Kenngröße Vorbelastung war an den Drucksetzungskurven der strukturierten Bodenproben aus dem Oberacker-Vergleich oftmals nur schwierig oder gar nicht bestimmbar, beispielsweise wegen atypischer Kurvenverläufe mit graduelltem Übergang vom elastischen zum plastischen Verformungsbereich. Es wurde deshalb versucht, die Drucksetzungskurven auf eine neue Weise auszuwerten. Als Folge dieser Überlegungen sind die Parameter Porenvolumenverlust, Rest-Gesamtporenvolumen und Rest-Grobporenvolumen entwickelt worden. Sie haben neben ihrer allgemeinen Anwendbarkeit auch bei schwierig zu interpretierenden Kurvenverläufen den Vorteil, eine Verbindung zwischen bodenmechanischen Prozessen und Kennwerten des Gefügebauaufbaus zu schaffen (Kasten 2).

Für die Bestimmung dieser Parameter der Gefügereaktion auf Druckbeanspruchungen wird zunächst die aufgrund von Oedometerversuchen bestimmte Drucksetzungskurve aus linearen Elementen modelliert. Mit Hilfe dieser vereinfachten Modell-Drucksetzungskurve kann zu jeder Druckbeanspruchung einer Bodenprobe der zugehörige Setzungswert bestimmt werden, woraus sich wiederum der entsprechende Porositätsverlust ableiten lässt.



Porositätsverluste nach Druckbeanspruchung

Die Porositätsverluste zeigten – bei vergleichsweise wenig unterschiedlichen Messwerten innerhalb der Gruppen – sehr deutliche systematische Unterschiede zwischen dem Drucksetzungsverhalten der Ober- und Unterböden mit deutlich höheren Porositätsverlusten in den Oberbodenproben (Abb. 5).

Im Gegensatz zur Vorbelastung zeigt sich beim Porositätsverlust eine ganz andere Bandbreite der Werte im Ober- und Unter-

boden: Während sich die Porositätsverluste im Unterboden bei 100 Kilopascal Standard-Druckbeanspruchung dank der hohen Stabilität dieser Gefügestrukturen im engen Bereich zwischen 1,6 und 2,3 Volumenprozent bewegten, variierte der Porositätsverlust im Oberboden während der Untersuchungsperiode 2000 bis 2004 zwischen 1,9 und 5,2 Volumenprozent. Dieses unterschiedliche Bild ergibt sich unter anderem aus dem Umstand, dass die Standard-Druckbeanspruchung von 100 Kilopascal für die Oberboden-

Abb. 4. Zusammenhang zwischen den Gefügeparametern «Grobporenvolumen bei 60 hPa» und «Luftpermeabilität bei 60 hPa» in den Proben aus dem Oberboden (kreisförmige Symbole) bzw. Unterboden (quadratische Symbole) der beiden Anbausysteme «Pflug» und «Direktsaat»; Werteschar der Untersuchungsperiode 2000 bis 2004.

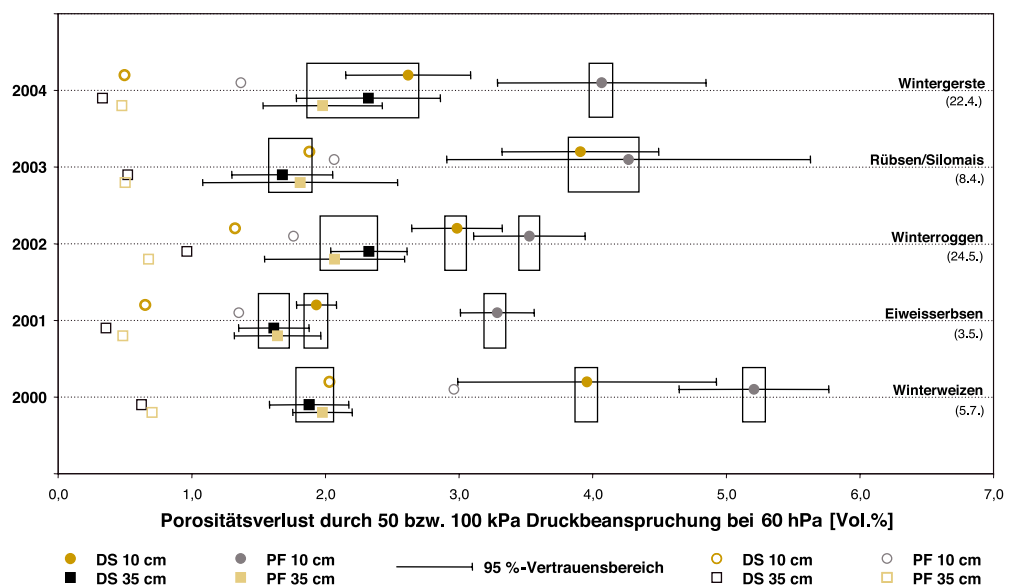


Abb. 5. Porositätsverluste bei Proben aus dem Oberboden (kreisförmige Symbole) und dem Unterboden (quadratische Symbole) der beiden Anbausysteme «Pflug» und «Direktsaat» im Verlauf der Untersuchungsperiode 2000 bis 2004, in Klammern: Beprobungstermin. Die ungefüllten Symbole bezeichnen die Porositätsverluste bei einer Standard-Druckbeanspruchung von 50 Kilopascal, die ausgefüllten Symbole bei 100 Kilopascal Druckbeanspruchung.

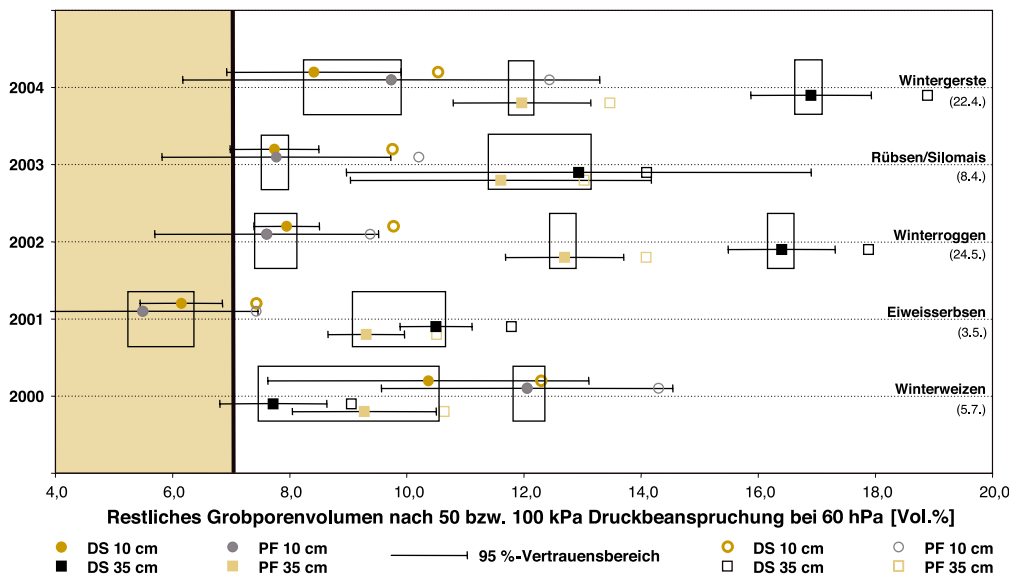


Abb. 6. Rest-Grobporenvolumen nach Standard-Druckbeanspruchungen von Proben aus dem Oberboden (kreisförmige Symbole) und dem Unterboden (quadratische Symbole) der beiden Anbausysteme «Pflug» und «Direktsaat» im Verlauf der Untersuchungsperiode 2000 bis 2004, in Klammern: Beprobungstermin. Die ungefüllten Symbole bezeichnen die Rest-Grobporenvolumina bei einer Standard-Druckbeanspruchung von 50 Kilopascal, die ausgefüllten Symbole bei 100 Kilopascal Druckbeanspruchung.

Gefügeformen bereits jenseits des Vorbelastungswerts im überwiegend plastischen, deformationsanfälligen Erstbelastungsbereich lag, während sie sich im Unterboden noch im Bereich der Vorbelastungswerte und damit meist im teilelastischen, wenig deformationsanfälligen Wiederbelastungsbereich bewegte.

Die Porositätsverluste beider Systeme lagen im Unterboden in allen Untersuchungsjahren statistisch nicht unterscheidbar nahe beieinander, das heisst es lassen sich hier keine Systemeffekte erkennen. Ganz anders stellte sich die Situation im Oberboden dar: Hier unterschieden sich die beiden Systeme PF und DS in vier von fünf Jahren deutlich voneinander, wobei die grössten Porositätsverluste jeweils im PF-System als Folge des durch mechanische Lockerungsmassnahmen weniger stabilen Gefüges auftraten.

Kenngrosse «Reaktion des Grobporen-Volumens»

Beim Rest-Gesamtporenvolumen werden Porositätsverluste generell dem Gesamtporenvolumen angerechnet (Kasten 2). Interessant wäre es allerdings, die funktionelle Bedeutung dieses Porenvolumenverlustes abschätzen zu können. Weil durch den Drucksetzungsprozess üblicherweise zuerst die grössten luftgefüllten Hohlräume deformiert werden, wird beim Parameter Rest-Grobporenvolumen die extreme Annahme getroffen, dass der gesamte Porenvolumen-Verlust durch die Standard-Druckbeanspruchungen zu Lasten des Grobporenvolumens geht, d.h. der Parameter Rest-Grobporenvolumen geht vom schlimmstmöglichen Fall aus, um die maximal mögliche Beeinträchtigung des Grobporenvolumens abschätzen zu können.

Durch die Standard-Druckbeanspruchung mit 100 Kilopascal würde sich das bei der Besprechung des Grobporenvolumens dargestellte Bild in zwei Bereichen verändern (Abb. 6):

■ Die Unterschiede zwischen Ober- und Unterboden würden zunehmen und die Grobporenwerte im Oberboden merklich

unter die Zehn-Volumenprozent-Marke rutschen, teilweise sogar deutlich in den ungünstigen Bereich unterhalb den von Häusler und Buchter (2004) vorgeschlagenen Grobporen-Richtwert von sieben Volumenprozent. Im Jahr 2000 wäre nach der Zuckerrübenenernte 1999 beim System DS sogar das Rest-Grobporenvolumen im Unterboden knapp in den ungünstigen Grobporenbereich geraten.

■ Die im Oberboden beim Grobporenvolumen festgestellten Systemunterschiede würden weitgehend verschwinden, weil die Porositätsverluste durch Druckbeanspruchungen beim lockereren Gefüge im System PF grösser sind als bei DS.

Unterböden mit besserem Gefüge als Oberböden

Beim DS-System gibt es systembedingt keine gezielten Bodenbearbeitungseingriffe, entsprechend entfallen alle diesbezüglichen Bodenbeanspruchungen. Die mit der Bodenbearbeitung im Pflugsystem verbundenen Eingriffe können einen beträchtlichen Teil aller Unterbodenbeanspruchungen ausmachen, insbesondere beim verbreiteten «in furrow»-Pflügen, wo die Räder der einen Traktorseite auf dem Furchengrund und damit direkt auf dem Unterboden fahren. Das neue Pflugverfahren mit «onland»-Pflügen, wo alle Traktorräder auf der Bodenoberfläche fahren und doppelt bereift werden können, ermöglicht eine erheblich bodenschonendere Arbeitsweise, mit der sich Unterbodenbeanspruchungen deutlich verringern lassen.

Bei DS zeigten die Oberböden verglichen mit dem PF-System oft vergleichbare, teilweise jedoch etwas ungünstigere Gefügebau-Eigenschaften. Der Unterboden wies in beiden Systemen generell meist bessere Gefügeeigenschaften auf als der Oberboden – sowohl bezüglich

Erläuterung zu den Abbildungen 3, 5 und 6

Die Symbole repräsentieren Mittelwerte aus acht Wiederholungen, die Fehlerbalken entsprechen dem 95 Prozent-Vertrauensbereich der Mittelwerte. Rechtecke um die Symbole zeigen die statistische Interpretation der Ergebnisse als Gruppierung nach Tukey (1949).

Die in den Abbildungen 3 und 6 hervorgehobene Fläche markiert jeweils den Bereich ungünstiger Grobporenvolumenwerte (Richtwert-Unterschreitung) gemäss Vorschlag von Häusler und Buchter (2004).

Gefügebau (zum Beispiel Luftpermeabilität) als auch hinsichtlich Stabilität (zum Beispiel Porositätsverluste). Bemerkenswert ist, dass im Unterboden die Gefügeparameter auf teilweise günstigere Verhältnisse im DS-System hinweisen; hier macht sich möglicherweise – neben dem rascheren Druckabbau im eher stabileren Oberboden – der Wegfall der Unterbodenbeanspruchungen durch das «in furrow»-Pflügen bemerkbar. Es wird interessant sein zu sehen, wie sich die Unterbodeneigenschaften des PF-Systems nach dem 2003 vollzogenen Wechsel zum «onland»-Pflugverfahren im Vergleich zum System DS entwickeln. Erfreulich ist die Feststellung, dass sich der Gefügebau im Unterboden während der Untersuchungen von 2000 bis 2004 in beiden Systemen nahezu kontinuierlich verbessert hat.

Die Gefügestabilität liess sich mit dem traditionellen boden-

mechanischen Parameter Vorbelastung an den strukturierten Böden der Dauerbeobachtungsfläche Oberacker nicht immer eindeutig bestimmen. Sowohl die herkömmlichen Stabilitätsparameter als auch die neu vorgeschlagenen Parameter der Gefügereaktion auf Druckbeanspruchungen zeigen klar die unabhängig vom Versuchsvorgehen grössere Stabilität der Unterböden in der Dauerbeobachtungsfläche Oberacker. Für den Oberboden lassen die Stabilitätsparameter einen meist deutlich günstigeren Einfluss des DS-Systems erkennen, insbesondere weil bei der Direktsaat regelmässige Lockerungsmassnahmen unterbleiben.

Literatur

■ Häusler S. & Buchter B., 2004. Definition und Erfassung von Bodenschadverdichtungen. Teil 2: Vorschläge für Richt- und Prüfwerte zur Definition von Bodenschadverdichtungen. BGS Dokument 13,

Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale Zollikofen, 17-35.

■ Chervet A., Maurer C., Sturny W.G. & Müller M., 2001. Direktsaat im Praxisversuch. Einfluss auf die Struktur des Bodens. *Agrarforschung* 8 (1), 12-17.

■ Chervet A., Ramseier L., Sturny W.G. & Tschannen S., 2005. Direktsaat und Pflug im 10-jährigen Systemvergleich. *Agrarforschung* 12 (5), 184-189.

■ Schweizerische Eidgenossenschaft, 1983. Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG). Systematische Sammlung des Bundesrechts, SR-Nr. 814.01.

■ Schweizerische Eidgenossenschaft, 1998. Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBö). Systematische Sammlung des Bundesrechts, SR-Nr. 814.12.

■ Tukey J.W., 1949. Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics* 5 (6), 99-114.

RÉSUMÉ

Évolution de la structure du sol en semis direct et sous labour

Les systèmes de culture avec labour et en semis direct sont pratiqués depuis 1994 sur la parcelle de surveillance à long terme Oberacker à l'Inforama Rütti. Cet essai se déroule dans une rotation de grandes cultures uniquement, sur un sol brun (limon sableux faiblement humifère), profond et humide en profondeur. Les paramètres de physique du sol relevés entre 2000 et 2004 indiquent une évolution de la structure des différents horizons du sol. Des diagrammes de proportions de traces de passage et de pression permettent de comparer les contraintes au sol de deux procédés de labour et d'en déduire des possibilités d'améliorations.

La structure du sol peut être évaluée d'après des mesures de densité apparente, de porosité grossière et de perméabilité à l'air sur des échantillons. Le semis direct entraîne une évolution favorable dans les horizons profonds du sol mais en partie aussi des effets défavorables dans l'horizon superficiel.

À côté des paramètres traditionnels des contraintes et de stabilité mécanique du sol, deux nouveaux paramètres sont proposés ici: le volume résiduel total des pores et le volume résiduel des pores grossiers. Ces paramètres doivent permettre une meilleure interprétation fonctionnelle des résultats de mises sous pression. Les paramètres de stabilité montrent les propriétés globalement favorables dans les horizons profonds de la parcelle d'essai Oberacker. Dans l'horizon superficiel, ils indiquent un effet de stabilisation de la structure grâce au système du semis direct.

SUMMARY

Evolution of soil structure under no-tillage and ploughing

Since 1994 plow tillage is compared to no-tillage on six crop rotation plots in the long-term field trial Oberacker at the Inforama Ruetti in Zollikofen. The deep cambisol of the trial plots consists of 15 % clay and 3 % organic matter. From 2000 to 2004 soil physical parameters have been investigated in order to assess the effects of the two tillage systems on soil structure. Diagrams showing at the same time the share of wheeled area and the amount of soil stress under the wheel tracks are used to compare possible impacts of the two ploughing systems «in furrow» and «onland» on soil structure and to make suggestions for improvements.

Determination of bulk density, macropore volume and air permeability allow for conclusions regarding the size and arrangement of voids in the soil and show favourable effects of no-tillage on structural properties of the subsoil and partly negative effects of this tillage system on topsoil.

Apart from the determination of conventional soil mechanical stability parameters like precompression stress, the new parameters «remaining total pore volume» and «remaining macropore volume» are suggested to improve the interpretation of compression test results, particularly regarding functional aspects. These parameters characterizing soil structural stability emphasize the generally favourable properties of the subsoils in the «Oberacker» trial and indicate improvements in topsoil stability caused by no-tillage.

Key words: soil structure, soil compaction, precompression stress, no-tillage, plough tillage «in-furrow» and «onland»