

(Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität für Bodenkultur, Wien, Vorstand: o. Univ.-Prof. Dr. P. Ruckebauer)

Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf Lagerungsdichte, Porenvolumen und Porengrößenverteilung von Ackerböden im oberösterreichischen Zentralraum (Teil 3)

Von P. LIEBHARD

(Mit 6 Abbildungen)

Zusammenfassung

Die Prüfung unterschiedlicher Primärbodenbearbeitungsverfahren auf einer tiefgründigen, mittelschweren kalkfreien Lockersedimentbraunerde in semihumider Klimallage bei viergliedrigem Fruchtwechsel ergab nach zehn Jahren unter Praxisbedingungen eine signifikante Änderung der Lagerungsdichte, des Porenvolumens und der Porengrößenverteilung im Durchwurzelungsbereich der Krume.

In der Krume nimmt einerseits naturbedingt die mittlere Lagerungsdichte mit zunehmender Bodentiefe bis zum Verdichtungshorizont unter der Bearbeitungsgrenze von 1,48 auf 1,56 g/cm³ zu. Andererseits verändert sie sich im A_p-Horizont in Abhängigkeit von der Art der Primärbodenbearbeitung. Sie steigt von 1,51 bei jährlichem Pflügen auf 1,59 g/cm³ bei ausschließlichem Fräseeinsatz. Auch während der Vegetationszeit steigt die Lagerungsdichte geringfügig, aber doch stetig an.

Bezüglich des Gesamtporenvolumens sind die Ergebnisse im Trend ähnlich der Lagerungsdichte, aber entgegengesetzt gerichtet. Während der Vegetationszeit wird der höchste Wert mit 44,20 % in den Pflugvarianten, von 40,40 % bei jährlichem Grubbern und von nur 37,70 Volumenprozent in den Fräseparzellen erreicht. Die größten Unterschiede ergeben sich jeweils in der Unterkrume. Die starke Abnahme im Gesamtporenvolumen geht überwiegend auf die Verminderung des Grobporenanteiles zurück, bei annähernd konstant bleibendem Mittel- und Feinporenvolumen.

Auf dem untersuchten Standort kann durch eine Kombination von jahresweise wechselndem Pflügen und reduzierten Bearbeitungsmaßnahmen sowohl einer Bodenverdichtung als auch der damit gekoppelten Ertragsverminderung erfolgreich entgegengewirkt werden.

Schlüsselworte: Bodenbearbeitung, Lagerungsdichte, Porenvolumen, Porengrößenverteilung.

**Influence of primary tillage on density, pore volume and pore size distribution
of an arable farming soil in the centre of Upper Austria
(part 3)**

Summary

In this contribution the results are presented of the influence of different primary tillage methods on soil density, pore volume and pore size. The type of soil under investigation was a deep medium-heavy calcium-free loose-sedimentary brown earth in semihumid climate. After ten years of customary tillage in a four-course rotation significant effects were registered on all three factors mentioned above for the rooted top soil fraction.

Under natural conditions the mean soil density increases with increasing soil depth from 1.48 for the top soil to 1.56 g/cm³ for the compacted horizon below the tillage zone. After tillage, the density of the A_p horizon ranged from 1.51 after ploughing to 1.59 g/cm³ in the rotary tiller variant. During the vegetation period (after sowing up to the next soil preparation) the soil density steadily increases to a small extent.

The results of the total pore volume show the same tendency as described for the soil density, but in the opposite direction. During the vegetation period the highest value of 44.20 % was detected after ploughing, 40.40 % in the cultivator variant and 37.70 % with the rotary tiller. The largest differences were found in the subsoil. The decrease in total pore volume was mainly caused by the reduction of the fraction of large pores, the fraction of small and fine pores remained nearly constant.

At the above mentioned location a yearly alternation of ploughing and of reduced cultivation within crop rotation could prevent the negative side effects of soil compacting and concomitant yield reduction.

Key-words: primary tillage, soil density, pore volume, pore size distribution.

1. Einleitung, Literatur und Problemstellung

Sowohl die Strukturänderung zu größeren landwirtschaftlichen Betrieben als auch der hohe Kostenanteil der Bodenbearbeitungsmaßnahmen an den gesamten Produktionskosten, die meist zwischen 25 und 40 % liegen, zwingt die Landwirte zur Suche nach geeigneten Verfahren, um Kosten zu sparen und die negativen ökologischen Auswirkungen des intensiven Ackerbaues zu minimieren. Häufig führen aber die kostengünstigeren Produktionstechniken zu einer stärkeren Belastung der Bodenstruktur, zu Bodenverdichtungen und teilweise auch zu Ertragsminderungen. Pflanzenbauliche Kriterien sowie günstige bodenphysikalische bzw. -mechanische Kennwerte erfordern meist ein standort- und kulturartenabhängiges Produktionssystem und eine optimale Intensität der Bodenbearbeitung.

Zwischen dem Boden und der wachsenden Pflanze bestehen viele direkte oder indirekte Interaktionen (HELAL 1991), die sowohl im chemischen, biologischen als auch im bodenphysikalischen Bereich liegen. Als sich ständig ändernder Naturkörper wird die Entwicklung des Bodens wesentlich von der Nutzungsintensität beeinflusst. Teile der sich verändernden bodenphysikalischen Eigenschaften können in ihrem Ausmaß auf Gewichts- oder Volumeneinheiten bezogen werden.

Die Lockerungs- wie auch die Verdichtungsvorgänge werden durch Veränderung der Anordnung der einzelnen Feststoffpartikel im Boden verursacht (TEBRÜGGE 1986). Das Verhältnis von Gewicht zu Volumen ist bei verschiedenen

Böden und in verschiedenen Tiefen einerseits von der natürlichen Bodenentwicklung und andererseits von der Bearbeitung abhängig. Mit der Primärbodenbearbeitung wird meist eine Lockerung der Krume und damit eine Erhöhung des Porenvolumens erreicht. Dabei entstehen Sekundärporen, die sich im besonderen durch eine ausgeprägte Kontinuität und einen Durchmesser größer 60 µm auszeichnen. Diese Sekundärporen werden in der Oberkrume aber wieder relativ leicht durch Platzregen oder durch Infiltration zerstört.

Der Porenraum stellt im Boden den Speicher dar, aus dem die Pflanzen kontinuierlich ihren Wasserbedarf decken (HARTGE 1992), in dem die Durchlüftung erfolgt, das Wurzelwachstum, die Nährstoffverfügbarkeit und Aufnahme, die Wärmekapazität und Wärmeleitung, die biologische Aktivität, die Aggregatsstabilität, mineralogische Eigenschaften und die Bildung anaerober Zonen beeinflusst wird.

Die Bewertung der Porengrößenverteilung geht auf S (1931, 1951) und DE BOODT et al. (1967) zurück. Die Grenzen zwischen den Bereichen sind an die charakteristischen Kennwerte des Wasserhaushaltes angelehnt. Nach HARTGE (1992) entspricht ein Äquivalentdurchmesser zwischen 50 µm und 10 µm der Entwässerungsgrenze bei verschiedenen Wasserspannungen der Feldkapazität (pF 1,8 bis 2,5) und von 0,2 µm beim permanenten Welkepunkt (pF 4,2). Bezüglich der Primärporen ist die Porengrößenverteilung von Körnern und Kornform, hinsichtlich der Sekundärporen vom Bodengefüge und damit von der Bodenentwicklung abhängig (HARTGE 1992). Dadurch wird indirekt sowohl die Wurzelwegsamkeit als auch die kleinräumige Wasserbewegung erheblich beeinflusst (BATHKE et al. 1991).

Unter den vorgegebenen Standortbedingungen mit strukturinstabilen Böden wurde geprüft, ob und in welchem Ausmaß durch einen langjährigen unterschiedlichen Maschinen- und Geräteeinsatz bei verschiedener Bearbeitungstiefe in der Primärbodenbearbeitung die angeführten bodenphysikalischen Kennwerte verändert werden. Eine optimale Lagerungsdichte ermöglicht eine schnelle und in die Tiefe gehende Durchwurzelung der Krume. Weiters sind der notwendige Wasser- und Luftaustausch des Bodens nur bei ausreichendem Porenvolumen und entsprechender Porengrößenverteilung gewährleistet.

2. Material und Methoden

Im zentralen Ackerbaugesamt des östlichen Alpenvorlandes wurden auf einer tiefgründigen, mittelschweren, kalkfreien, pseudovergleyten Lockersediment-Braunerde (271 m Seehöhe) in einem Langzeit-Primärbodenbearbeitungsversuch mechanische und physikalische Kriterien der Bodenfruchtbarkeit untersucht. Der A_p-Horizont besteht aus schluffigem Lehm, der Unterboden überwiegend aus Lehm. Die Krume weist eine mäßige Durchlässigkeit, aber hohe Wasserspeicherfähigkeit auf. Wesentliche Parameter sind in Tabelle 1 angeführt.

Die Anlage des Versuches erfolgte im Herbst 1980 auf einer Fläche von ca. 3,2 ha – verteilt auf zwei Schläge – mit acht Bearbeitungsvarianten als Block und jeweils zwei Wiederholungen. Mit drei verschiedenen Geräten und bei unterschiedlichen Bearbeitungstiefen wurden standortspezifische, praxisrelevante Primärbodenbearbeitungsverfahren durchgeführt. Dem Pflug und Grubber als gezogene Geräte wurde die zapfwellengetriebene Fräse gegenübergestellt. Neben diesen Varianten kam noch eine Kombination vor Getreide Fräse und vor Hackfrüchten Pflug zum Einsatz. Alle übrigen Kultur- und Pflegemaßnahmen wurden im gleichen Ausmaß durchgeführt.

Tabelle 1

Korngrößenverteilung und Humusgehalt in % sowie pH-Wert des absolut trockenen Gesamtbodens, 1990

Distribution of the particle size and humus content in % and pH-value of oven-dry soil, in 1990

| Bearbeitungs- variante und Be- arbeitungstiefe | Körnung in % | | | | | | Humus in % | | pH | |
|--|--------------------|-------|---------------------------|-------|------------------|-------|------------|------|------|------|
| | Sand 2–0,063 mm | | Schluff 0,063–0,002 mm | | Ton <0,002 mm | | O | U | O | U |
| | O | U | O | U | O | U | | | | |
| Pflug | | | | | | | | | | |
| 17 cm | 12,75 | 13,50 | 55,50 | 54,50 | 31,75 | 32,00 | 2,00 | 2,05 | 6,50 | 6,75 |
| 24 cm | 13,75 | 13,00 | 56,75 | 55,75 | 29,50 | 31,25 | 1,95 | 2,00 | 6,50 | 6,70 |
| 30 cm | 14,75 | 14,50 | 56,25 | 55,75 | 29,00 | 29,75 | 1,85 | 1,78 | 6,40 | 6,70 |
| Grubber | | | | | | | | | | |
| 17 cm | 14,25 | 13,75 | 56,75 | 55,50 | 29,00 | 30,75 | 2,48 | 1,90 | 6,50 | 6,45 |
| 24 cm | 15,00 | 14,00 | 56,25 | 56,25 | 28,75 | 29,75 | 2,43 | 1,95 | 6,55 | 6,65 |
| 30 cm | 14,50 | 13,50 | 55,50 | 56,75 | 30,00 | 29,75 | 2,48 | 1,93 | 6,40 | 6,55 |
| Fräse | | | | | | | | | | |
| 10 cm | 14,25 | 11,75 | 56,75 | 56,25 | 29,00 | 32,00 | 2,60 | 1,95 | 6,55 | 6,60 |
| Fräse + Pflug | | | | | | | | | | |
| 10+24 cm | 13,25 | 12,00 | 56,50 | 55,75 | 30,25 | 31,50 | 2,10 | 2,00 | 6,55 | 6,55 |

O = Oberboden (Entnahmetiefe 0–20 cm)

U = Unterboden (Entnahmetiefe 20–40 cm)

Seit Anlage des Versuches konnte die Fruchtfolge, wie sie auf einem Großteil der Ackerschläge im oberösterreichischen Zentralraum üblich war, beibehalten werden: Zuckerrübe – Winterweizen – Körnermais – Winterweizen.

Die Ernterückstände wurden jeweils vollständig eingearbeitet. Weitere Details bezüglich Standort, Boden, Profil und Versuchsanlage wurden bereits in einer früheren Arbeit (LIEBHARD 1993a) ausführlich beschrieben.

Die mathematisch-statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programmpaket SAS (Statistical Analysis System) und speziellen Programmen des Institutes für Mathematik und angewandte Statistik der Universität für Bodenkultur Wien. Die Analyseergebnisse der „Bearbeitungsvarianten“ wurden als Split-Plotanlage und die Werte der „Monat-Datenerfassung“ als Strip-Plotanlage ausgewertet. Bei der Darstellung der Ergebnisse der Mittelwertvergleiche in den Abbildungen 1 und 2 unterscheiden sich Mittelwerte mit gleichem Buchstaben nur durch Zufall. Zusätzlich werden Ergebnisse der Feinkartierung (Profil) von November 1989 (STADLER 1990) angeführt.

Laboruntersuchungen:

Im Herbst 1980 und 1990 wurden die Proben für die Analysen im ungestörten Zustand an markierten Stellen entnommen. Die angeführten Ergebnisse sind Mittelwerte einer Doppelbestimmung von jeweils vier Proben.

Lagerungsdichte: nach ÖNORM L 1068-88 in Metallstechzylindern mit einem Volumen von 205 cm³.

Gesamtporenvolumen: Aufbauend auf die Lagerungsdichte (dB_g/cm³) wurde das Porenvolumen errechnet. Die Ermittlung der Feststoffdichte d_F erfolgte nach ÖNORM L 1068-88 mit dem Pyknometer.

Porengrößenverteilung: Der Druckpotential-Wasseranteil wurde nach ÖNORM L 1063-88 mit Hilfe einer Druckmembranapparatur an ungestörten Stechzylindern

derproben ermittelt. Die Grenzen zwischen den Porengrößenbereichen sind an charakteristische Kennwerte des Wasserhaushaltes angelehnt.

3. Ergebnisse

Aus der großen Anzahl der bodenphysikalischen Kennwerte wurden Veränderungen durch die zehnjährige, unterschiedliche Primärbodenbearbeitung nur bei wenigen, ausgewählten Parametern meßbar. Eine stärkere Veränderung zeigten die Gefügestabilität, die Infiltration und der Bodenwasserhaushalt (LIEBHARD et al. 1994, LIEBHARD 1994).

3.1 Lagerungsdichte

Tabelle 2 zeigt im Profil bis auf eine Tiefe von 110 cm die für den Standort typische geringe Variabilität der Lagerungs- oder Bodendichte. Die hohe Homogenität in der Textur (Tab. 1 bzw. LIEBHARD 1993) erlaubt auch nur eine geringe meßbare Veränderung in der Lagerungsdichte. Die Werte nehmen im A_p -Horizont von 1,48 auf 1,55 g/cm³ (AB-Horizont) zu und ab dem B_{g1} -Horizont wieder auf 1,50 g/cm³ ab. Die Werte verlaufen fast parallel mit dem Tongehalt und sind in 1 m Tiefe nur geringfügig höher als im Krumbereich.

Tabelle 2

Lagerungsdichte im Profil von 15 bis 110 cm Bodentiefe, standortübliche Variante, November 1989
Bulk densities in the soil-profile at different depths ranging from 15 to 110 cm, standard tillage method at location, November 1989

| Horizont | Entnahmetiefe (cm) | Lagerungsdichte (g/cm ³) |
|----------|--------------------|--------------------------------------|
| A_p | 15– 20 | 1,48 |
| AB | 45– 50 | 1,55 |
| B_{g1} | 75– 80 | 1,52 |
| B_{g2} | 105–110 | 1,50 |
| GD 5 % | | 0,04 |

Die variantenbezogene Primärbodenbearbeitung ergab während der Hauptvegetationszeit Juni nur im Durchwurzelungsbereich – von 5 bis 20 cm Bodentiefe – einen gesicherten Einfluß auf die Lagerungsdichte (Abb. 1). In den Pflug- und Grubberparzellen sowie bei Kombination Fräse und Pflug wurde bis 20 cm Bodentiefe eine ähnlich hohe nachhaltige Lockerung innerhalb des effektiven Wurzelraumes erreicht. Eine ausschließliche Bearbeitung mit der Fräse führte im Bearbeitungshorizont gegenüber allen übrigen Varianten zu einer Erhöhung der Lagerungsdichte.

Zwischen Bearbeitungsverfahren und Entnahmetiefe bestand im A_p -Horizont eine vom eingesetzten Gerät abhängige Wechselwirkung (Tab. 3). Im gepflügten Bereich und bei der Kombination Fräse und Pflug stieg die Lagerungsdichte von der Oberkrume in den unteren Krumbereich stark, in den Grubber- sowie in den Dauerfräseparzellen nur geringfügig an. In diesen Feldstücken lagen die Werte bereits im obersten Horizont (5–10 cm Entnahmetiefe) auf einer Höhe von 1,55 g/cm³. Im Verdichtungshorizont (Pflugsohle) unter der Bearbeitungsgrenze (Entnahmetiefe 25–30 cm) hatte das Bearbeitungsverfahren bzw. das Gerät keinen statistisch absicherbaren Einfluß mehr auf die Lagerungsdichte (Abb. 1).

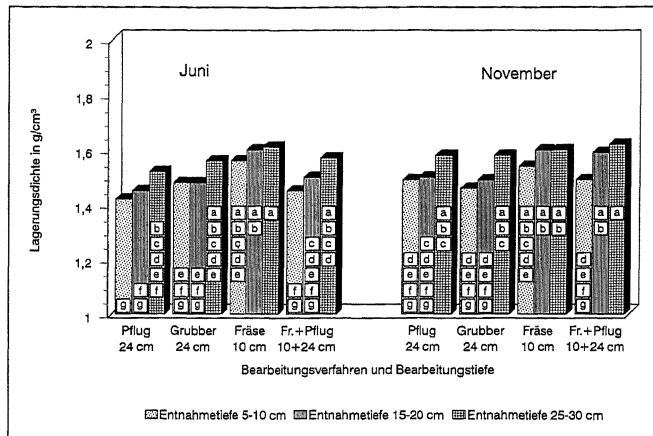


Abb. 1: Lagerungsdichte in g/cm^3 von 5 bis 30 cm Tiefe unter Zuckerrübe bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung, Juni und November 1990
Soil density in g/cm^3 at a depth of 5 to 30 cm measured in sugar beet after different primary tillage methods, June and November, 1990

Tabelle 3

Lagerungsdichte in g/cm^3 von 5 bis 30 cm Bodentiefe bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung und Datenerfassung in der Hauptwachstumsphase (Juni) und am Ende der Vegetationszeit (Anfang November), 1990
Soil density in g/cm^3 at a soil depth of 5 to 30 cm after different primary tillage methods. The measurements were carried out during the main growth period (June) and at the end of the vegetative period (the early part of November), 1990

| | FG | DQ | F-Wert |
|--------------------------------------|----|--------|-----------|
| Block | 3 | 0,0009 | |
| Bodenbearbeitung | 3 | 0,0383 | 57,51*** |
| Fehler 1 (Bl×BOBE) | 9 | 0,0007 | |
| Entnahmetiefe | 2 | 0,0717 | 182,50*** |
| E×BOBE | 6 | 0,0043 | 11,02*** |
| Fehler 2 (E×BOBE×Bl+E×Bl) | 24 | 0,0004 | |
| Monat-Datenerfassung (Juni–November) | 1 | 0,0193 | 10,49* |
| Fehler 3 (Mo×Bl) | 3 | 0,0018 | |
| Mo×BOBE | 3 | 0,0081 | 4,90* |
| Fehler 4 (Mo×BOBE×Bl) | 9 | 0,0017 | |
| E×Mo | 2 | 0,0010 | 1,21ns |
| E×Mo×BOBE | 6 | 0,0007 | 0,83ns |
| Rest | 24 | 0,0009 | |

Innerhalb eines Jahres (bis zur neuerlichen Primärbodenbearbeitung im Herbst = November) nahm mit fortlaufender Vegetationszeit die Lagerungsdichte zu. Die statistische Absicherung ist nur für einzelne Entnahmetiefen gegeben. Auch die jahreszeitliche unterschiedliche Datenerfassung wies eine signifikante Wechselwirkung auf (Tab. 3). Am Ende der Vegetationszeit lagerte nur bei einer ausschließlichen Fräsebearbeitung der Oberboden (bis 20 cm Entnahmetiefe) signifikant dichter (Abb. 1). Das bei diesen Bearbeitungsvarianten geringere Sekundärporensystem war aber stabiler.

3.2 Porenvolumen und Porengrößenverteilung

Im Profil (von 15 bis 110 cm) gab es im Gesamtporenvolumen in den einzelnen Horizonten nur geringfügige Unterschiede. Vor der neuerlichen Primärbodenbearbeitung (Anfang November) verminderte sich das Porenvolumen von der Hauptdurchwurzelungszone bis 40 cm Tiefe in den Unterboden nur um 2,75 %.

Darunter stieg das Gesamtporenvolumen wieder geringfügig an und erreichte im B_{g2}-Horizont mit 46,8 % ähnliche Werte wie in der Krume (Tab. 4).

Tabelle 4

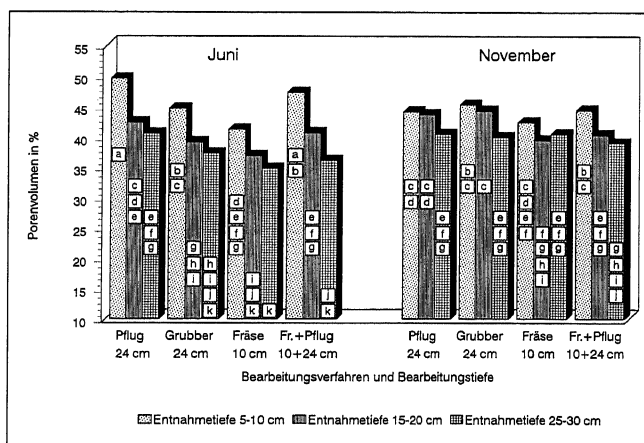
Anteil des Porenvolumens am gesamten Bodenvolumen im Profil von 15 bis 110 cm Bodentiefe, standortübliche Variante, November 1989
Pore volume as a fraction of the total soil volume measured in the soil profile at a depth ranging from 15 to 110 cm, normal local tillage variant, November 1989

| Horizont | Entnahmetiefe (cm) | Gesamtporenvolumen (%) |
|-----------------|--------------------|------------------------|
| A _p | 15– 20 | 46,70 |
| AB | 45– 50 | 43,95 |
| B _{g1} | 75– 80 | 45,20 |
| B _{g2} | 105–110 | 46,80 |
| GD 5 % | | 2,16 |

Die langjährige unterschiedliche Primärbodenbearbeitung wirkte sich im Bearbeitungshorizont in allen angeführten Bodentiefen deutlich aus (Tab. 5). Das sich in der Hauptvegetationszeit (Juni) daraus ergebende Gesamtporenvolumen aus einer Entnahmetiefe von 5 bis 30 cm, war mit 44,2 Volumsprozent in den Pflugparzellen am höchsten. Durch die Grubberbearbeitung verminderte es sich auf 40,4 % und bei jährlichem Fräseeinsatz fiel es auf 37,7 % ab. Der jahresweise wechselnde Einsatz von Pflug und Fräse ergab ein Porenvolumen von 41,4 %. Diese wesentliche Abnahme des Gesamtporenvolumens im Hauptdurchwurzelungsbereich in den Fräse- und seichtgründig bearbeiteten Grubberparzellen führte am Standort Ansfelden – mit einem meist hohen Wassersättigungsgrad des Bodens – zu einem stark verminderten Wurzelwachstum. In Jahren mit hohen Niederschlagsmengen zur Zeit der Saat kam es auf den Parzellen mit verminderter Bodenbearbeitung zu einer Reduzierung des Feldaufganges bis 20 % und zu einer Wachstumsbeeinträchtigung in der Jugendphase (diesbezügliche Ergebnisse werden in späteren Arbeiten mitgeteilt werden). Die größten Unterschiede im Porenvolumen ergaben sich während der Hauptvegetationszeit in einer Bodentiefe von 5 bis 20 cm (Abb. 2). Unterhalb der Bearbeitungsgrenze (Bodentiefe 25–40 cm) waren die Unterschiede zwischen den Varianten zwar noch signifikant, aber wesentlich geringer. Auch nach einer langen Setzungsperiode von zwölf Monaten zeigten sich Unterschiede (Abb. 2).

Abb. 2: Anteil des Porenvolumens in % am gesamten Bodenvolumen in einer Tiefe von 5 bis 0 cm bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung unter Zuckerrübe, Juni und November 1990

Pore volume as a fraction of the total soil volume (in %) at a depth of 5 to 30 cm measured in sugar beet after different primary tillage methods, June and November 1990



Das nachhaltigste, höchste Porenvolumen bis zum November wurde mit 41 bis 46 % durch das jährliche Grubbern erreicht. Bei ausschließlicher Fräsebearbeitung kam es im gesamten Durchwurzelungsbereich zu einer Verminderung auf 40 bis 43 Volumsprozents.

Tabelle 5

Anteil des Porenvolumens am gesamten Bodenvolumen in % in Tiefen von 5 bis 30 cm Bodentiefe bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung und Datenerfassung in der Hauptwachstumsphase (Juni) und am Ende der Vegetationszeit (Anfang November), 1990
 Pore volume as a fraction of the total soil volume (in %) measured at a depth of 5 to 30 cm. Different primary tillage variants. The measurements were carried out during the main growth period (June) and at the end of the vegetative period (the early part of November), 1990

| | FG | DQ | F-Wert |
|---|----|---------|-----------|
| Block | 3 | 1,662 | |
| Bodenbearbeitung | 3 | 73,910 | 220,63*** |
| Fehler 1 (Bl×BOBE) | 9 | 0,335 | |
| Entnahmetiefe | 2 | 324,139 | 299,82*** |
| E×BOBE | 6 | 6,712 | 6,21** |
| Fehler 2 (E×BOBE×Bl+E×Bl) | 24 | 1,081 | |
| Monat-Datenerfassung (Juni–November) | 1 | 29,593 | 11,16* |
| Fehler 3 (Mo×Bl) | 3 | 2,653 | |
| Mo×BOBE | 3 | 29,680 | 53,10*** |
| Fehler 4 (Mo×BOBE×Bl) | 9 | 0,559 | |
| E×Mo | 2 | 46,485 | 44,57*** |
| E×Mo×BOBE | 6 | 5,531 | 5,30** |
| Rest | 24 | 1,043 | |

In der Oberkrume (Entnahmetiefe 5 bis 10 cm) ergaben die unterschiedlichen Bearbeitungsmaßnahmen keine Veränderung im Feinporenanteil, deutliche aber bei den Mittelporen, den engen und weiten Grobporen. Durch die Grubber- und Fräsebearbeitung kam es bei den Mittel- und Grobporen gegenüber den Pflugparzellen sogar zu einer Zunahme. Bei den weiten Grobporen hingegen reduzierte sich der Anteil in den nichtwendenden Bearbeitungsparzellen um mehr als die Hälfte. Die standortübliche Pflugbearbeitung ergab 15,45 %, ...

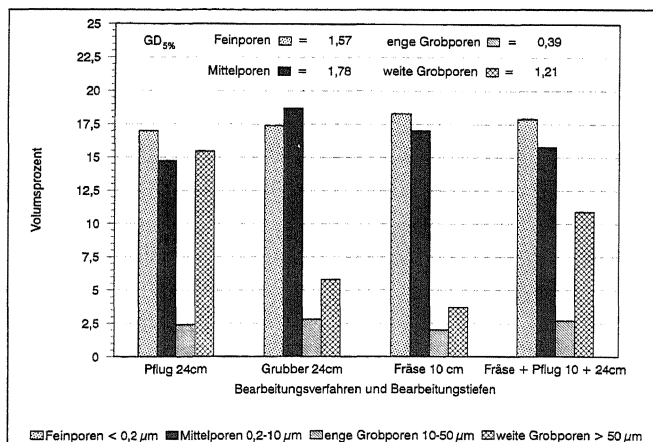
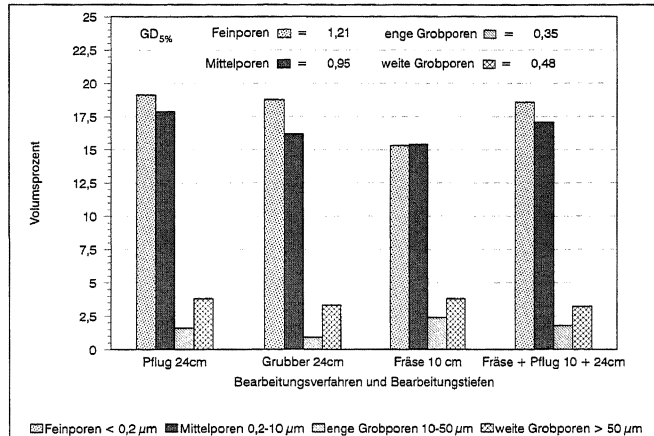


Abb. 3: Einfluß der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf die Porengrößenverteilung von 5 bis 10 cm Tiefe unter Zuckerrübe, Juni 1990

Effect of different primary cultivation methods on pore size distribution at a depth of 5 to 10 cm in sugar beet, June 1990

Abb. 4: Einfluß der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf die Porengrößenverteilung von 15 bis 20 cm Tiefe unter Zuckerrübe, Juni 1990

Effect of different primary cultivation methods on pore size distribution at a depth of 15 to 20 cm in sugar beet, June 1990



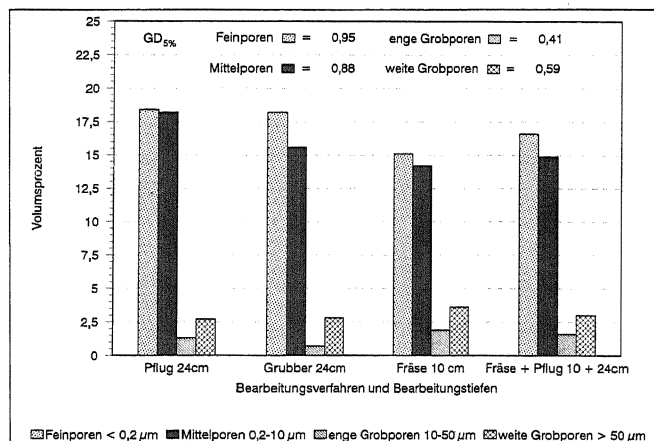
die Kombination Fräse und Pflug 10,9 %, die Grubbervariante 5,8 % und in den Fräseparzellen waren nur 3,7 % Makroporen (Abb. 3).

Im tieferliegenden Krumenbereich (von 15 bis 20 cm Bodentiefe) verminderte sich durch den Langzeiteffekt der Fräse der Feinporenanteil um ca. 3,5 Volumspercent gegenüber den anderen Bearbeitungsvarianten. Auch das Mittelporenvolumen fiel bei jährlichem Grubbern und Fräsen nachweislich ab. Im Grobporenanteil war kein einheitlicher Trend erkennbar. Die höchste Menge an engen und weiten Grobporen wurde in den Fräseparzellen gemessen. Die jahresweise, abwechselnde Primärbearbeitung mit Pflug oder Fräse wurde in der Auswirkung auf die Porengrößenverteilung von der Pflugarbeit überdeckt (Abb. 4).

Im Unterboden lag – bedingt durch die Bodenart mittelschwerer bis schwerer Lehm (Schluffanteil 55,75 %) – der Anteil an groben Poren zwischen 3,5 und 5,5 Volumspercent. Der Einfluß der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung war in den Entnahmetiefen von 25 bis 30 und 35 bis 40 cm noch in allen Porengrößenbereichen deutlich feststellbar. Auch in diesem Tiefenbereich verringerte sich bei jährlichem Fräseeinsatz der Fein- und Mittelporenanteil. Das wesentlich höhere Volumen bei den engen und weiten Grobporen ging auf die größere Anzahl von Bioporen in den Fräseparzellen zurück (Abb. 5 und 6).

Abb. 5: Einfluß der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf die Porengrößenverteilung von 25 bis 30 cm Tiefe unter Zuckerrübe, Juni 1990

Effect of different primary cultivation methods on pore size distribution at a depth of 25 to 30 cm in sugar beet, June 1990



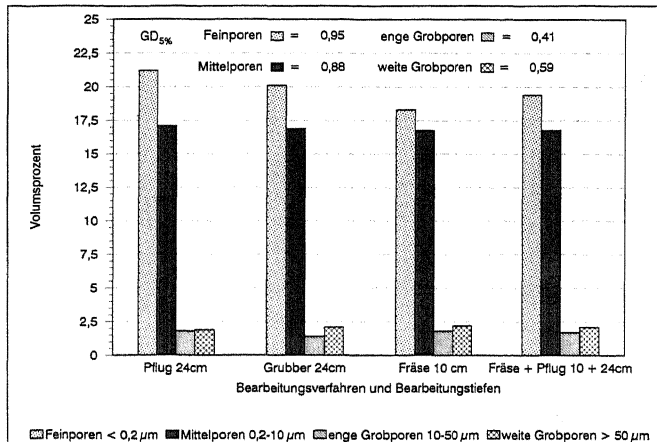


Abb. 6: Einfluß der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf die Porengrößenverteilung von 35 bis 40 cm Tiefe unter Zuckerrübe, Juni 1990

Influence of different primary cultivation methods on pore size distribution at a depth of 35 to 40 cm in sugar beet, June 1990

4. Diskussion

Zahlreiche Ergebnisse aus der Literatur deuten darauf hin, daß die Lagerungsdichte mit ihrem Einfluß auf Wurzelwegsamkeit, Wurzelwachstum, Befahrbarkeit u. a. bei verschiedenen Böden, aber auch bei einem Boden in unterschiedlichen Tiefen nicht gleich ist (CANARACHE 1991, BECHER 1991, HARTGE 1992); darüber hinaus wird sie von der Art und dem Umfang der Primärbodenbearbeitung wesentlich beeinflusst. Dies erschwert eine Beurteilung, ab welcher Lagerungsdichte ein Ackerboden als „schadverdichtet“ gilt. Nach BLUME (1990) und PITTELKOW (1991) ist auch die gebildete Wurzeltrockenmasse kein geeigneter Parameter zur Charakterisierung der optimalen Lagerungsdichte, da ein Großteil der Kulturpflanzen art- und sortenspezifische Differenzen aufweist.

Der Boden des Standortes weist, wie bereits in der Texturanalyse angeführt (LIEBHARD 1993a), sowohl auf der gesamten Versuchsfläche als auch innerhalb des Profils eine hohe Homogenität des Substrates auf. Gegenüber anderen Standorten sind die nur extrem geringfügig unterschiedlichen Werte der Lagerungsdichte im Profil (bis auf eine Tiefe von 120 cm) von 1,48 bis 1,55 g/cm³ – auch bei einem mehrfachen Horizontwechsel – hervorzuheben.

Die durch die unterschiedliche Primärbodenbearbeitung bedingte, zwar nur geringfügig, aber signifikant ansteigende mittlere Lagerungsdichte von 1,49 g/cm³ (jährliches Pflügen) bzw. 1,51 g/cm³ (Grubbersvariante) auf 1,58 g/cm³ bei ausschließlicher Fräsebearbeitung führte im besonderen bei Zuckerrübe zu einer verminderten Durchwurzelungsintensität und geringeren Eindringtiefe der Pflanzenwurzeln. Bei Körnermais und Winterweizen waren von 1980 bis 1990 noch keine Unterschiede feststellbar. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit den Arbeiten von HESS und FRANKEN (1987) sowie mit HILL (1990). Die Ursache ist das geringe Gesamtporenvolumen und die sich daraus ergebende verminderte Durchwurzelung. Das Erreichen einer mittleren Länge der Hauptwurzeln von Winterraps oder Zuckerrübe könnte zusätzlich als geeignetes Kriterium zur Erstellung der optimalen Lagerungsdichte und der Durchwurzelbarkeit auf mittelschweren und schweren Ackerböden herangezogen werden. Die Untersuchungen von MEYER (1985) zeigen, daß ein mechanisches Auflockern des verdichteten Bearbeitungshorizontes durch die Primärbodenbearbeitung der inneren Auflockerung der einzelnen Bodenaggregate – wie sie bei der Lebendverbauung erfolgt – nicht gleichwertig ist.

In den vorliegenden Versuchen nimmt mit zunehmender Bodentiefe von der Oberkrume bis unter die Bearbeitungsgrenze (Pflugsohle) die Lagerungsdichte je nach Bearbeitungsvariante unterschiedlich zu. Das Ansteigen der Werte mit zunehmender Tiefe entspricht den meisten Ackerstandorten mit einer natürlichen Bodenentwicklung (BECHER 1991). Die durch die Primärbodenbearbeitung bedingten Unterschiede in der Lagerungsdichte sind unmittelbar nach der Durchführung und im Frühjahr am größten (BORCHERT 1988, DIEZ et al. 1988, HILL 1990, CHRISTOPH et al. 1991). Für das Wurzelwachstum vieler Blatt- bzw. Hackfrüchte sind die Bedingungen von Mai bis Vegetationsende entscheidend. Wie die Ergebnisse zeigen, sind die Auswirkungen in der Hauptvegetationszeit, aber auch noch nach einem Jahr beträchtlich (Abb. 1). Die Befahrbarkeit ist nach einer Regenperiode hingegen auf Parzellen mit höherer Lagerungsdichte früher möglich. Nach PETELKAU (1987) führt eine nichtwendende Bodenbearbeitung generell zu einer besseren Tragfähigkeit und Befahrbarkeit des Ackers. Die meist kurzfristig höhere Tragkraft des Bodens läßt sich aber nicht mit einer höheren Eigenstabilität erklären, sondern ist auf die geringere Wasserleitfähigkeit und die verzögerte Wasserableitung zurückzuführen (HORN et al. 1991). Durch den sehr hohen Wassersättigungsgrad des Bodens könnte die schon 1972 von CERATZKI ermittelte Mindestluftkapazität von 8 bis 12 % für eine ausreichende Sauerstoffnachlieferung von 2,8 bis 5,6 l O₂ pro m² und Tag nicht immer gewährleistet sein.

Eine der bedeutendsten direkten oder indirekten Auswirkungen der Verminderung des Gesamtporenvolumens ist die Verringerung der Zahl der Grobporen (BORCHERT 1988, BATEY 1990). Die Poren mit einem Durchmesser über 10 µm sind im Ober- und Unterboden insbesondere für den Gasaustausch und die Wasserabführung verantwortlich (BAUMER 1984, HARTGE 1992). In den vorliegenden Versuchen hat sich in der bearbeiteten Krume (bis 20 cm Bodentiefe) das Grobporenvolumen (enge und weite Grobporen) bei der standortüblichen Pflugbearbeitung von 23,30 % auf 12,80 (Grubbervariante) bzw. 13,90 % in der Fräseparzelle verringert. Unter der Bearbeitungsgrenze (25–30 cm Bodentiefe) sind hingegen im ungestörten Boden der Dauerfräseparzellen sowohl die Zahl als auch das Volumen der Grobporen gegenüber der Pflug- und Grubbervariante signifikant angestiegen. Die größere Zahl der engen und weiten Grobporen in diesem Horizont ist auf die wesentlich höhere Populationsdichte der Regenwürmer zurückzuführen (LIEBHARD 1992). Eine Abnahme des Makroporenanteils bei reduzierter Primärbodenbearbeitung ergibt sich überwiegend aufgrund der Verminderung des Zwischenaggregatporenraumes durch Sackung und deckt sich mit Ergebnissen von GLINSKI und STEPNIIEWSKI (1985), HESS und FRANKEN (1987), BLUME (1990), FREDE (1990). Nach DIEZ et al. (1988) und BORCHERT (1988) enthält ein gepflügter Boden in der gesamten Krume sogar das Zweieinhalb- bis Dreifache an groben Poren gegenüber einem ausschließlich gefrästen. Zu den Sackungsverdichtungen kommt es entweder durch die natürlichen Setzungsvorgänge oder durch das Einwirken von hohen Lasten oder Scherkräften (SOMMER et al. 1981, ALTEMÜLLER 1985, GLINSKI und STEPNIIEWSKI 1985, HARTGE und HORN 1989).

Ein Großteil der Ackerböden wird in der Ertragsleistung der Pflanzenbestände auch vom Mittelporenvolumen beeinflusst, denn sowohl die gesamte speicherbare und pflanzenverfügbare Wassermenge als auch die Mächtigkeit des durchwurzelbaren Raumes (abhängig von der Eindringtiefe der Atemluft) ist davon abhängig (HARTGE 1992). Am angeführten Standort verhält sich auch der Feinporenanteil parallel zum Mittelporenanteil. Im Krumenbereich bis 40 cm Bodentiefe ist der Anteil einerseits durch die Bodenart und andererseits

durch die standortübliche Primärbodenbearbeitung (Pflug zwischen 17,00 und 21,20 %, Grubber zwischen 17,40 und 20,10 %, Fräse zwischen 15,10 und 18,30 % und Kombination Fräse und Pflug zwischen 16,60 und 19,40 %) hoch.

Für die Wasserversorgung der Nutzpflanzen ist die Menge an Feinporen von geringerer Bedeutung, da das in ihnen enthaltene Wasser für die Wurzeln meist nicht mehr zur Verfügung steht. In ihnen wird es mit einem höheren Saugdruck als beim Trennwert des permanenten Welkepunktes festgehalten (FREDE 1990, HILL 1990, HARTGE 1992).

5. Schlussfolgerung

Wegen der vorgegebenen natürlichen Standortbedingungen (mittelschwerer bis schwerer Lehmboden und 880 mm Jahresniederschlag) muß die Bodenbearbeitung auf die Schaffung bzw. Erhaltung eines grobporigen und lockeren Durchwurzelungshorizontes hin ausgerichtet werden. Mit den gezogenen Geräten Pflug und Grubber oder der Kombination – jahresweiser Wechsel Fräse und Pflug – wird diese Anforderung erfüllt. Eine ausschließliche Primärbodenbearbeitung mit der Fräse führt zu einer Veränderung bestimmter bodenphysikalischer Kennwerte und zu einem verminderten Wachstum mit geringer Ertragsleistung der Nutzpflanzen, auch wenn teilweise andere Produktionsfaktoren und die Witterung überdeckend wirken.

Für den Standort Anfelden beträgt die substratspezifische optimale Lagerungsdichte (bedingt durch das Ausgangsmaterial und den Humusgehalt) im effektiven Durchwurzelungsbereich 1,40 bis 1,50 g/cm³. Eine höhere Lagerungsdichte verbessert zwar geringfügig die Befahrbarkeit des Bodens, aber bei niederschlagsreicher Witterung vermindert sich der Feldaufgang in einem über den Toleranzbereich hinausgehenden Ausmaß.

Die Erreichung und nachhaltige Stabilisierung eines Gesamtporenvolumens von mindestens 42 % am Bodenvolumen mit einem Anteil von Mittel- und Grobporen von über 57 % sind für eine ausreichende Wasserableitung, pflanzennutzbare Wasserspeicherung und Bodendurchlüftung notwendig.

Danksagung

Herrn Dozent E. KLAGHOFER, Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen, danke ich für die Bereitstellung des Labors und die Unterstützung bei den Analysen sowie Herrn Dr. J. EITZINGER für die Laborarbeit. Weiterer Dank gilt dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft für die finanzielle Unterstützung und Herrn Dr. A. SCHREIBERHUBER für die langjährige Versuchsdurchführung.

Literatur

- ALTEMÜLLER, H. J., 1985: Der Gefügestand als Kriterium für Funktion und Güte des Bodens in der BRD. Gutachten für den Rat von Sachverständigen für Umweltfragen. Veröffentlicht im Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen, Stuttgart.
- BAEUMER, K., 1984: Auswirkungen langjähriger Mineralbodenbearbeitung. Arb. DLG 179, 38–113.
- BATEY, T., 1990: Control of compaction on the farm. Soil Technology 3, 225–229, Catena, Cremlingen.
- BATHKE, G. R., A. AMOOZEGAR and D. K. CASSEL, 1991: Description of soil pore size distribution with mean weighted pore diameter and coefficient of reniformity. Soil-science (USA) 152, 82–86.
- BECHER, H. H., 1991: Über die Aggregatdichte und deren mögliche Auswirkung auf den Bodenlösungstransport. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 154, 3–8.
- BLUME, H. P., 1990: Handbuch des Bodenschutzes. Ecomed, Landsberg/Lech.

- DE BOODT, M., L. DE LEENHEER, H. FRESE, A. J. LOW and P. K. PEERLKAMP, 1967: West-European methods for soil structure determination. Gent.
- BORCHERT, H., 1988: Bodenphysikalische Veränderungen eines Lößbodens bei langjähriger pflugloser Bewirtschaftung. Bayer. Landwirtsch. Jahrb. 65, 813–824.
- CANARACHE, A., 1991: Factors and indices regarding excessive compactness of agricultural soils. Soil and Tillage Research 19, 145–164, Amsterdam.
- CERATZKI, W., 1972: Die Ansprüche der Pflanzen an den physikalischen Bodenzustand. Landbauforschung Völkenrode 1, 29–36.
- CHRISTOPH, H., G. KÜHN und A. KUNZE, 1991: Bewertung des physikalischen Bodenzustandes nach strukturschonender Bodenbearbeitung auf einem D4a-Standort. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd. 35, 443–450.
- DIEZ, Th., J. KREITMAYR und H. WEIGELT, 1988: unter Mitarbeit von J. BAUCHHENSZ, Th. BECK und H. BORCHERT, 1988: Einfluß langjähriger pflugloser Ackerbewirtschaftung (System HORSCH) auf Pflanzenwachstum, Wirtschaftlichkeit und Boden. Bayer. Land. Jahrb. 65, 789–812.
- FREDE, H.-G., 1990: Gestaltung und Funktion von Porensystemen unter dem Einfluß der Landbewirtschaftung. Mitt. d. Österr. Bodenkundlichen Ges. 42, 57–70.
- GLINSKI, J. und W. STEPNIEWSKI, 1985: Soil aeration and its role for plants. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- HARTGE, K. H., 1992: Lehrbuch der Bodenkunde. Scheffer und Schachtschabel. 13. Aufl., Kapitel XIV–XIX, Enke, Stuttgart.
- HARTGE, K. H. und R. HORN, 1989: Die physikalische Untersuchung von Böden. 2. Aufl., Enke, Stuttgart.
- HELAL, H. M., 1991: Bodengefüge, Wurzelentwicklung und Wurzelfunktionen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 154, 403–407.
- HESS, J. und H. FRANKEN, 1987: Auswirkungen der Krumen- und Unterbodenbearbeitung auf einige Bodeneigenschaften. Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 53, 185–190.
- HILL, R. L., 1990: Long-term conventional and no-tillage. Effects on Selected Soil Physical Properties. Soil Sci. Amer. J. 54, 161–166.
- HORN, R., T. BAUMGARTL, S. KÜHNER, M. LEBERT und R. KAYSER, 1991: Zur Bedeutung des Aggregierungsgrades für die Spannungsverteilung in strukturierten Böden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 154, 21–26.
- LIEBHARD, P., 1992: Effekte unterschiedlicher Grundbodenbearbeitung auf Bodenmerkmale. Wintertagung 1992, Ökosoziales Forum – Österreichische Gesellschaft für Land- und Forstwirtschaftspolitik, Wien, 80–89.
- LIEBHARD, P., 1993: Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf Textur und organische Substanz von Ackerböden im oberösterreichischen Zentralraum (Teil 1). Die Bodenkultur 44, 199–210.
- LIEBHARD, P., 1994: Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf Aggregatstabilität und Eindringwiderstand in Ackerböden im oberösterreichischen Zentralraum (Teil 5). In Bearbeitung.
- LIEBHARD, P., J. EITZINGER und E. KLAGHOFER, 1994: Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf Infiltration und Bodenwasservorrat von Ackerböden im oberösterreichischen Zentralraum (Teil 4). In Bearbeitung.
- MEYER, B., 1985: Moderner Acker- und Pflanzenbau aus Sicht der Gestaltung des Bodengefüges durch Bodenbearbeitung. Unser Boden: 70 Jahre Agrarforschung der BASF AG, Köln, 11–137.
- ÖNORM L 1063, 1988: Bestimmung der Druckpotential-Wasseranteilsbeziehung von ungestörten Bodenproben. Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien.
- ÖNORM L 1068, 1988: Bestimmung der Dichte von Böden. Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien.
- PETELKAU, H., 1987: Durch Fahrwerke landwirtschaftlicher Mechanisierungsmittel verursachte Schädwirkungen und Vorschläge zu ihrer Vermeidung. Wissenschaftliche Beiträge Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg 11, 106–119.
- PITTELKOW, U., 1991: Auswirkungen schachtartiger Lockerzonen in Krumbasisverdichtungen unter Vernässungseinfluß auf Entwässerung und Erträge in einem vierjährigen Feldversuch. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd. 35, 185–191.
- SEKERA, F., 1931: Die Beurteilung der Wasserversorgung der Pflanze als Standortfaktor. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 22, 152–190.
- SEKERA, F., 1951: Gesunder und kranker Boden. Paul-Parey, Berlin.
- SOMMER, C., R. RUHM und H. J. ALTEMÜLLER, 1981: Direkt- und Nachwirkungen starker Verdichtungen auf das Bodengefüge und den Pflanzenertrag. Kali-Briefe (Büntehof) 15, 429–448, Hannover.

STADLER, J., 1990: Profilbeschreibung Mitterfeld Ost, Mitterfeld West, Feinkartierung Versuchsfeld Ansfelden. Bundesanstalt für Bodenkultur, Wien, Außenstelle Linz.
TERBRÜGGE, F., 1986: Einfluß von Bodenbearbeitungsverfahren auf das Bodengefüge. KTBL-Schrift 308, 137-152.

(Manuskript eingelangt am 10. Jänner 1994, angenommen am 14. Februar 1994)

Anschrift des Verfassers:

Dr. Peter LIEBHARD, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität für Bodenkultur Wien, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien