

# Originalarbeiten

---

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

## **Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf Infiltration und Bodenwasservorrat im oberösterreichischen Zentralraum (Teil 4)**

Von P. LIEBHARD, J. EITZINGER und E. KLAGHOFER

(Mit 9 Abbildungen)

### **Zusammenfassung**

Die Ertragsfähigkeit eines Standortes wird wesentlich vom Bodenwasserhaushalt bestimmt, wobei vor allem die im durchwurzelten Bodenbereich pflanzenverfügbare Wassermenge eine wichtige Rolle spielt. Der Wasserhaushalt eines Ackerbodens kann durch die Bodenbearbeitung stark beeinflusst und somit optimiert werden.

Zur Beurteilung der Auswirkungen einer zehnjährigen unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung bei verschiedenen Bearbeitungstiefen auf den Bodenwasserhaushalt wurde der Infiltrationsverlauf mit der Feldmethode von KLAGHOFER (1982, 1985) und der Wassergehalt in verschiedenen Tiefen bis 50 cm gravimetrisch bestimmt. Der Versuchsstandort befindet sich im semihumid beeinflussten Ackerbaugebiet des östlichen Alpenvorlandes. Der Bodentyp ist eine mittelschwere Lockersediment-Braunerde, die Bodenart ist schluffiger Lehm bis Lehm.

Die Untersuchungen ergaben einen eindeutigen Einfluß des eingesetzten Bodenbearbeitungsgerätes und der Bearbeitungstiefe auf das Infiltrationsverhalten: Die Pflugvarianten wiesen während der Hauptvegetationszeit im Juli 1990 mit ca. 19,6 l/min/m<sup>2</sup> die höchste anfängliche Infiltrationsrate auf. Es folgten die Grubberparzellen mit ca. 14,9 l/min/m<sup>2</sup> und die Kombination Fräse und Pflug mit 11,8 l/min/m<sup>2</sup>. Äußerst gering war die Infiltration auf den Dauerfräseparzellen mit nur ca. 3 bis 4 l/min/m<sup>2</sup>. Mit Vertiefung der Pflugfurche oder der Grubberbearbeitung von 16 auf 30 cm nahm die einsickernde Wassermenge je Zeiteinheit um bis zu 25 % zu. Mit fortlaufender Infiltration kam es zu einer wesentlichen Verminderung der Versickerungsmenge. Nach vier Stunden Infiltrationszeit wurde sie beinahe konstant und pendelte sich auf einer Höhe zwischen 2 und 4 l/min/m<sup>2</sup> ein.

Der Bodenwasservorrat lag zu den Meßzeitpunkten in der Hauptvegetationszeit im Bearbeitungshorizont in den Pflug- und Grubberteilstücken um ca. 6 %, in den Fräse-Pflug-Parzellen um ca. 3 % niedriger als in den Dauerfräseparzellen. Im Unterboden zwischen 20 und 50 cm Bodentiefe hingegen war die Was-

sermenge bei ständiger Grubber- bzw. Fräsebearbeitung nachweislich höher. Bei Fruchtarten mit langer Vegetationsdauer und hohem Wasserbedarf führte eine tiefe Bearbeitung zu einem deutlichen Mehrentzug von Bodenwasser. Bis zur neuerlichen Primärbodenbearbeitung im Spätherbst glichen sich aufgrund von höheren Niederschlagsmengen – in allen Meßtiefen – die Bodenwassergehaltswerte beinahe wieder an.

Schlüsselworte: Primärbodenbearbeitung, Infiltration, Bodenwasservorrat.

#### **Influence of primary tillage on infiltration and soil water supply in central Upper Austria (part 4)**

##### Summary

The yield productivity of a location is essentially determined to a large extent by the soil water content, whereby the amount of water available to the plants in the well-rooted soil plays an important part. The water household of the field soil can be strongly influenced and optimized.

The infiltration process was determined by the field method of KLAGHOFER (1982, 1985) to evaluate the effects of different primary tillage methods at varying depths over a period of ten years on the water household (quantity) of the soil. The water content at varying depths of up to 50 cm was determined gravimetrically. The experiment was carried out in an agricultural area of the eastern "Alpenvorland" which is influenced by a semihumid climate. The soil type is a medium-heavy, loose-sedimentary brown earth and the kind of soil is a loamy clay or clay.

The tests established that the tillage methods and depths have a clear influence on the amount of infiltration. The plots treated with the plough during the main vegetative period in July 1990 showed the highest initial infiltration rate of 19.6 l/min/m<sup>2</sup>. Then followed the grubbed plots with 14.9 l/min/m<sup>2</sup> and the plots treated with the combination of rotary tiller and plough with 11.8 l/min/m<sup>2</sup>. Infiltration on the rotary tillered plots was extremely low (about 3 to 4 l/min/m<sup>2</sup>). The amount of infiltrating water per unit of time increased up to 25 % with the deepening of the plough furrow or deepening by grubbing treatment from 16 to 30 cm. With continuous infiltration there was substantial reduction in the amount of seepage. After four hours infiltration time the amount became almost constant at a level between 2 and 4 l/min/m<sup>2</sup>.

The soil water supply, when measured in the main vegetative period in the tillage horizon, was around 6 % less in the ploughed and grubbed plots and around 3 % less in the rotary tillered-ploughed plots than in the plots with only rotary tiller treatment. However, in the subsoil at a depth of between 20 to 50 cm the amount of water was measurably higher in plots treated with the field cultivator or with the rotary tiller. In crops with a long period of vegetation and a high water demand, a deep tillage method resulted in distinctly more withdrawal of water from the soil. Until renewed primary tillage in late autumn, the values of water content of the soil at all depths became equal due to large precipitation.

Key-words: Primary tillage, infiltration, soil water content.

#### **1. Einleitung und Problemstellung**

Die Aufteilung des natürlichen Niederschlages bzw. des Beregnungswassers in Abfluß, Evaporation, Infiltration und Transpiration ist sowohl für den Wachstums- und Ertragsbildungsverlauf der Pflanzen als auch für die Wasser-

bilanz des Bodens maßgebend. Bei hoher Versickerungsrate reduziert sich in den gefährdeten Lagen wesentlich die Menge des oberflächlich abfließenden Wassers und dadurch die Erosion. Neben den meteorologischen Kenngrößen ist die pflanzenverfügbare Wassermenge eines Ackerbodens überwiegend von der Bodenart, dem Humusgehalt und der Aggregatform, die das Porenvolumen und die Porenverteilung bestimmen, sowie von der Durchwurzelungstiefe abhängig (SIDIRAS und KAHNT 1988, ELLIES und HUBER 1991). Die Porengrößenverteilung bestimmt auch die Wasserleitfähigkeit und Wasserspeicherefähigkeit und damit auch den Bodenwassergehalt (HELAL 1991, HARTGE 1992). Bei hohem Grob- und optimalem Mittelporenanteil kann der Pflanzenbestand den Boden früher und leichter durchwurzeln; daraus resultiert eine höhere Nährstoffverfügbarkeit und besseres Pflanzenwachstum. Die Höhe des Wassertransportvermögens in der Krume ist von der kapillaren Leitfähigkeit und den Potentialgradienten abhängig. Da beide Größen eine Funktion des Wassergehaltes im Boden sind, ergibt sich daraus eine sowohl räumliche als auch zeitliche Variabilität dieser bodenhydrologischen Parameter (FEICHTINGER 1990).

Die Ermittlung dieser funktionellen Abhängigkeiten ist mit Feld- und Labormethoden möglich (TÜRK et al. 1991). Diese können jedoch auch durch Schätz- und Modellverfahren ergänzt werden (HARTGE et al. 1986, GUNZELMANN und HORN 1987, VEREECKEN et al. 1989, FEICHTINGER 1990, BACHMANN und HARTGE 1992, LOHMANN 1992). Folgende aktuelle Untersuchungsmethoden stehen u. a. in Verwendung:

- Infiltrationsversuche im Feld (TOPP und DAVIS 1981, KLAGHOFER 1982, 1985, PAPRITZ et al. 1989, FEICHTINGER 1990)
- Infiltrationsversuche in Bodensäulen (BOUMA 1981),
- Ausflußmethoden aus Bodensäulen (WHITE et al. 1984, RADULOVICH et al. 1989) sowie direkte Untersuchungen an isolierten Einzelaggregaten (GUNZELMANN und HORN 1987, FEICHTINGER 1990).

Die Bewertung des für den Bodenwasserhaushalt entscheidenden Parameters der Porengrößenverteilung erfolgt an den funktionellen Eigenschaften des Porensystems (KLAGHOFER 1988). Die Korngrößenbedingten Primärporen ergeben einen bodenspezifischen, gesättigten Wasserleitfähigkeitswert. Das durch die Bodenbearbeitung hergestellte Sekundärporensystem verändert die Porengrößenverteilung, damit auch die Wasserleitfähigkeit (HELAL 1991) und indirekt die Erodierbarkeit des Bodens. Auch die Nährstoffverfügbarkeit hängt z. T. von der kleinräumigen Wasserbewegung ab, da die Aufnahme nicht nur durch Massenfluß, sondern auch durch Diffusionsvorgänge gesteuert wird (BECHER 1991).

Obwohl die Höhe der infiltrierten und pflanzenverfügbaren Wassermenge einen großen Einfluß auf die Standorteignung für die verschiedenen Pflanzen hat, werden diese Größen zur Optimierung der landwirtschaftlichen Produktion oder zur Verminderung von Erosionsschäden in der Praxis derzeit noch wenig berücksichtigt. Auch die mit der Bodenwasserbewegung verbundenen, z. T. hohen Transportraten von Nähr- und Schadstoffen erfordern zunehmend stärkere Berücksichtigung im Ökosystem. Computersimulationen finden zunehmend Anwendung bei verschiedenen Fragestellungen, wie z. B. bei der Modellierung des Bodenwasserhaushaltes oder des damit gekoppelten Pflanzenwachstums (EITZINGER und DIRMHORN 1994).

Nach ELLIES und HUBER (1991) werden noch nicht alle Kriterien für eine exakte Modellvorhersage aufgrund der z. B. nicht berücksichtigten Einflußfaktoren der Gefügeveränderungen durch Quellung und Schrumpfung von acker-

baulich genutzten Böden erfüllt. Weiters werden bei Berücksichtigung des Wasserentzuges durch die Wurzeln die Bodenwassermodelle sehr kompliziert (RICHTER 1986).

Bei den Methoden zur quantitativen Erfassung der Infiltration handelt es sich meist um aufwendige Verfahren. Die angeführten Ergebnisse, mit einer einfachen – für den Pflanzenbau geeigneten Methode ermittelt – ergaben, daß bestimmte Bodenbearbeitungsverfahren sich negativ auf die Wasserinfiltration und die pflanzennutzbare Wassermenge auswirken.

Die vorliegenden Ergebnisse sollen daher einerseits die Auswirkung einer langjährig unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf die standortabhängige Wasserinfiltration – eine für die Umwelt wichtige Größe – und den Wasservorrat im Boden – ein für die Pflanze bedeutender Wachstumsfaktor – aufzeigen und andererseits weitere Beurteilungsgrundlagen für den Wasserhaushalt auf strukturinstabilen Böden liefern.

## 2. Material und Methoden

Auf einer tiefgründigen, mittelschweren, kalkfreien, pseudovergleyten Lokersediment-Braunerde in semihumider Klimalage (Alpenvorland – Österreich) und bei durchschnittlichen Jahresniederschlägen von 860 mm wurden in einem Langzeitversuch bei konstant vorgegebenem viergliedrigem Fruchtwechsel ausgewählte bodenchemische und -physikalische Kriterien der Bodenfruchtbarkeit untersucht. Mit drei verschiedenen Geräten und bei unterschiedlichen Bearbeitungstiefen erfolgte ein standortspezifischer Vergleich von praxisrelevanten Primär-Bodenbearbeitungsverfahren. Dem Pflug und Grubber als gezo-gene Geräte wurde die zapfwellengetriebene Fräse gegenübergestellt. Neben diesen Varianten kam noch eine Kombination – vor Getreide Fräse und vor Hackfrüchten Pflug – zum Einsatz.

Der Oberboden ist ein mittelhumoser, schwerer, schluffiger Lehm, der Unterboden besteht überwiegend aus Lehm. Der gesamte  $A_p$ -Horizont weist eine mäßige Durchlässigkeit, aber hohe Wasserspeicherkapazität auf. Standort, Profil und Versuchsanlage wurden bereits in einer früheren Arbeit (LIEBHARD 1993) ausführlich beschrieben.

Die angeführten Abbildungen zeigen gemittelte Ergebnisse aus den Meßserien von Juli bis November unter Körnermais (1989) und unter Zuckerrübe (1990). Die statistische Auswertung der gravimetrisch ermittelten Bodenwasserhaltswerte erfolgte mit dem Programmpaket SAS (Statistical Analysis System). Zur Bestimmung der maßgebenden bodenphysikalischen Kenngrößen wurden nachfolgende Methoden angewendet:

*Infiltration:* Feldmethode nach KLAGHOFER (1982, 1985). Mit dieser Methode wird im Gegensatz zu Labormethoden eine relativ große Bodenfläche von  $100 \times 13$  cm erfaßt. Der rechteckige Begrenzungsrahmen für die angeführten Fläche zur Messung der Infiltration wurde quer zur Fahrtrichtung der Bodenbearbeitung eingebracht, damit der Einfluß der Heterogenität der Bodendichte im Bearbeitungshorizont objektiv erfaßt werden konnte.

Die in der jeweiligen Zeiteinheit versickerte Wassermenge wurde für die Errechnung der Infiltration in  $l/min/m^2$  zum jeweiligen Zeitpunkt herangezogen und in Diagrammen dargestellt.

*Bodenwassergehalt:* Zeitgleich zu den Infiltrations- und Penetrometermessungen von Mai bis November wurden die Proben gezogen. Die Entnahme erfolgte mit einem Handbohrer in fünf Tiefenstufen mit jeweils 10 cm Abstand. Die Ermittlung der Gehaltswerte erfolgte gravimetrisch im Labor nach ÖNORM

L 1062 (1988). Die Errechnung des Bodenwasservorrates erfolgte in Prozent der nutzbaren Feldkapazität, welche aus der pF-Kurve bestimmt wurde.

**Porenanteil und Lagerungsdichte:** Die Bestimmung des Porenanteils und der Lagerungsdichte erfolgte an ungestörten Bodenproben mittels Stechzylindern nach ÖNORM L 1068 (1988). Der Porenanteil (Anteil von Bodenporen am Gesamtporenvolumen) ist ein wichtiger Parameter für den Wasser- und Gashaushalt des Bodens.

**Porenverteilung:** Sie gibt den Anteil der Bodenporen an den einzelnen Porengrößenklassen an und wurde nach ÖNORM L 1063 (1988) mittels einer Druckmembranapparatur im Labor an ungestört entnommenen Bodenproben bestimmt.

### 3. Ergebnisse

Die Abbildungen 1 bis 6 stellen Ergebnisse der Infiltrationsmessung dar. Sie zeigen mit fortlaufender Infiltration bei allen Varianten eine wesentliche Verminderung der Versickerungsmenge und einen charakteristischen Verlauf der

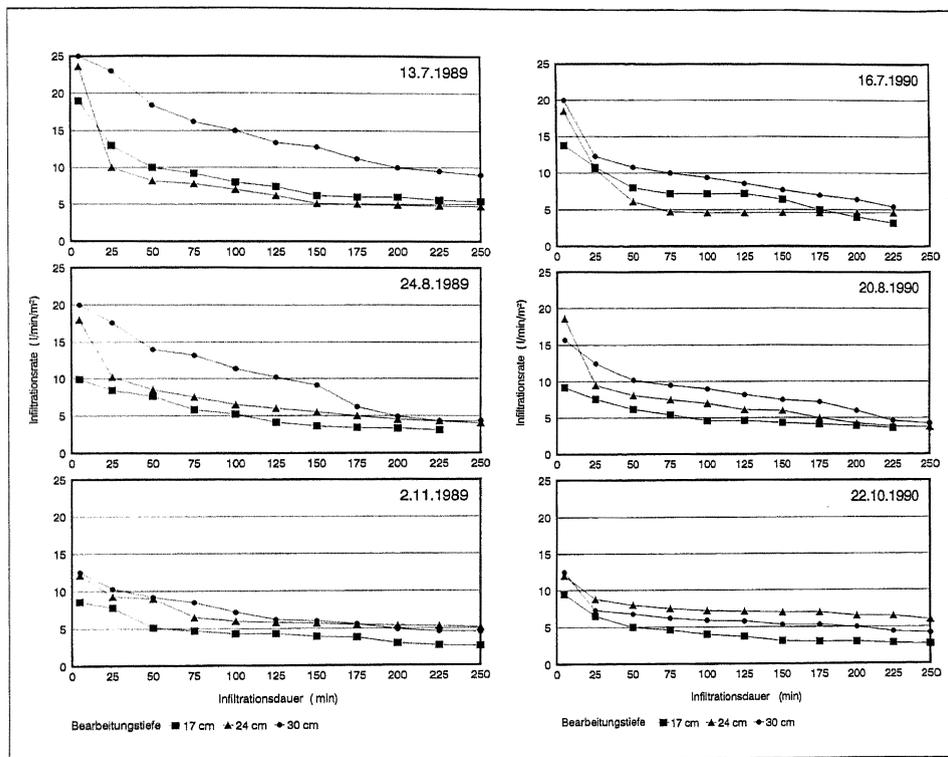


Abb. 1 (links): Effekt der unterschiedlich tiefen Pflugbearbeitung auf den zeitlichen Verlauf der Infiltrationsrate (Mittelwert) am 13. Juli, 24. August und 2. November 1989 unter Körnermais

The effect of ploughing at varying depths on the rate of infiltration on July 13, August 24 and November 2, 1989 in maize

Abb. 2 (rechts): Effekt der unterschiedlich tiefen Pflugbearbeitung auf den zeitlichen Verlauf der Infiltrationsrate (Mittelwert) am 16. Juli, 20. August und 22. Oktober 1990 unter Zuckerrübe

The effect of ploughing at varying depths on the rate of infiltration on July 16, August 20 and October 22, 1990 in sugar beet

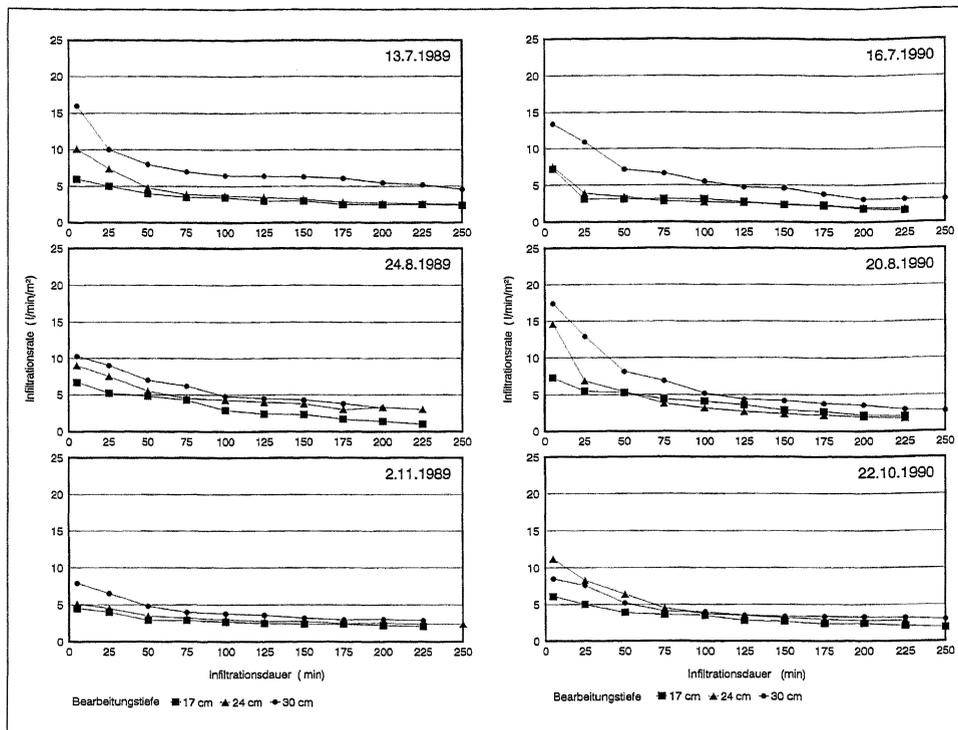


Abb. 3 (links): Effekt der unterschiedlich tiefen Grubberbearbeitung auf den zeitlichen Verlauf der Infiltrationsrate (Mittelwert) am 13. Juli, 24. August und 2. November unter Körnermais

The effect of grubbing at varying depths on the rate of infiltration on July 13, August 24 and November 2, 1989 in maize

Abb. 4 (rechts): Effekt der unterschiedlich tiefen Grubberbearbeitung auf den zeitlichen Verlauf der Infiltrationsrate (Mittelwert) am 16. Juli, 20. August und 22. Oktober 1990 unter Zuckerrübe

The effect of grubbing at varying depths on the rate of infiltration on July 16, August 20 and October 22, 1990 in sugar beet

zeitlichen Abnahme. Je höher die Anfangswerte der Infiltration liegen, desto stärker nahm die Infiltration während der Messung ab. Weiters ist der Langzeiteffekt der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf die Wasserinfiltration und die Veränderung im Jahresablauf zu erkennen. Bei allen verwendeten Bodenbearbeitungsgeräten stiegen die Infiltrationsraten mit zunehmender Bearbeitungstiefe an. Die Meßpunkte der Kurven kennzeichnen die Höhe der zu einem bestimmten Zeitpunkt während der Meßdauer gemessenen Infiltrationsrate. Der Ausgangswassergehalt (Abb. 7 bis 9) wurde am Beginn der Infiltrationsmessungen bis in eine Tiefe von 50 cm bestimmt.

Die Pflugvarianten wiesen in der Hauptvegetationszeit Juli und August in beiden untersuchten Jahren von allen Bearbeitungsvarianten mit gleicher Bearbeitungstiefe die höchsten Infiltrationsraten auf (Abb. 1 und 2). Zu Beginn der Infiltrationsmessung betrug im Juli die Versickerungsmenge der standortüblich tief gepflügten Parzellen (24 cm Bearbeitungstiefe) 1989 ca. 24 l/min/m<sup>2</sup> (1990 ca. 19 l/min/m<sup>2</sup>), sie ging nach 50 Minuten auf ca. 8 l/min/m<sup>2</sup> (1990 ca. 6 l/min/m<sup>2</sup>) zurück. Über den gesamten Meßzeitraum wurden die am weitaus höchsten Versickerungsraten auf den am tiefsten gepflügten Parzellen (Bear-

beitungstiefe 30 cm) erreicht. Die 17 cm tief bearbeiteten Parzellen wiesen von den Pflugvarianten die niedrigste Infiltrationsrate auf. In beiden Versuchsjahren nahmen die Infiltrationsraten der vergleichbar tief gepflügten Parzellen von Juli bis zum November hin ab.

Die mit dem Grubber bearbeiteten Teilstücke wiesen in beiden Versuchsjahren mit abnehmender Bearbeitungstiefe ebenfalls eine stark sinkende Infiltrationsrate auf (Abb. 3 und 4). Die betriebsübliche Bearbeitung auf 24 cm Bodentiefe ergab im Juli 1989 eine anfängliche Infiltrationsrate von ca. 10 l/min/m<sup>2</sup> (1990 ca. 7 l/min/m<sup>2</sup>), die nach 200 Minuten Meßdauer auf etwa 3 l/min/m<sup>2</sup> (1990 ca. 2 l/min/m<sup>2</sup>) abfiel. Ein jährliches Grubbern auf 30 cm Bodentiefe entsprach bezüglich der Infiltrationsrate der standortüblichen Bodenbearbeitung mit dem Pflug bei 24 cm Bearbeitungstiefe. Auch von den Grubbervarianten zeigten die 17 cm tief bearbeiteten Parzellen die niedrigste Infiltrationsrate.

Mit beachtlichem Abstand wiesen die Dauerfräseparzellen sowohl 1989 als auch im Jahr 1990 die geringste Wasserinfiltration auf. Die Infiltrationsraten änderten sich während der Infiltration nur geringfügig und lagen am Beginn der Infiltration in einem Bereich von 3 bis 4 l/min/m<sup>2</sup> und von 0,5 bis 3 l/min/m<sup>2</sup>

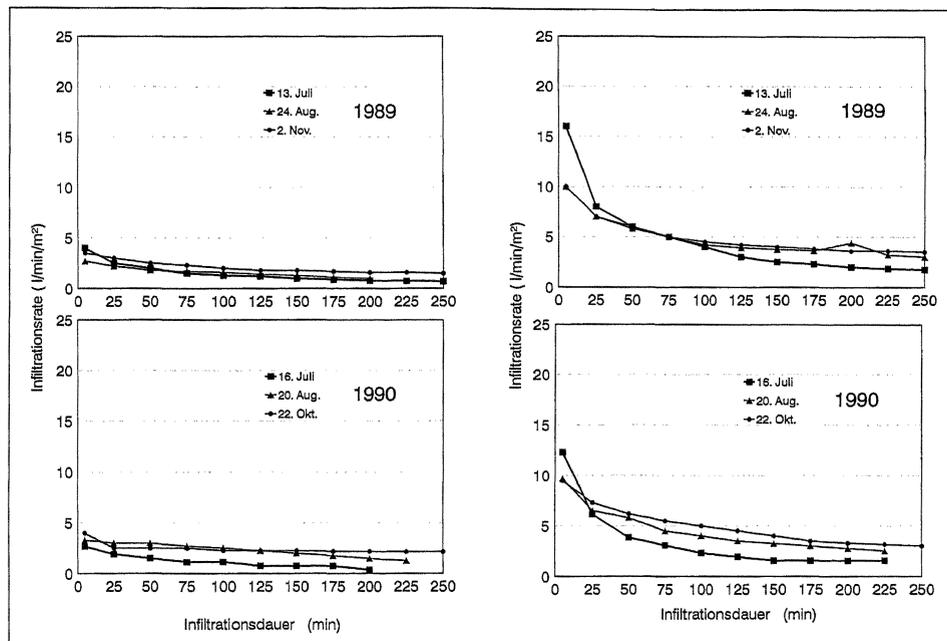


Abb. 5 (links): Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate (Mittelwert) am 13. Juli, 24. August und 2. November 1989 unter Körnermais und am 16. Juli, 20. August und 22. Oktober 1990 unter Zuckerrübe, Variante Fräse, 10 cm Bearbeitungstiefe  
Rate of Infiltration (average value) on July 13, August 24 and November 2, 1989 in maize and on July 16, August 20 and October 22, 1990 in sugar beet, variant rotary tiller; 10 cm tillage depth

Abb. 6 (rechts): Zeitlicher Verlauf der Infiltrationsrate (Mittelwert) am 13. Juli, 24. August und 2. November 1989 unter Körnermais und am 16. Juli, 20. August und 22. Oktober 1990 unter Zuckerrübe, Variante Fräse und Pflug, 10 und 24 cm Bearbeitungstiefe  
Rate of infiltration (average value) on July 13, August 24 and November 2, 1989 in maize and on July 16, August 20 and October 22, 1990 in sugar beet, variant rotary tiller and plough, 10 and 24 cm tillage depth

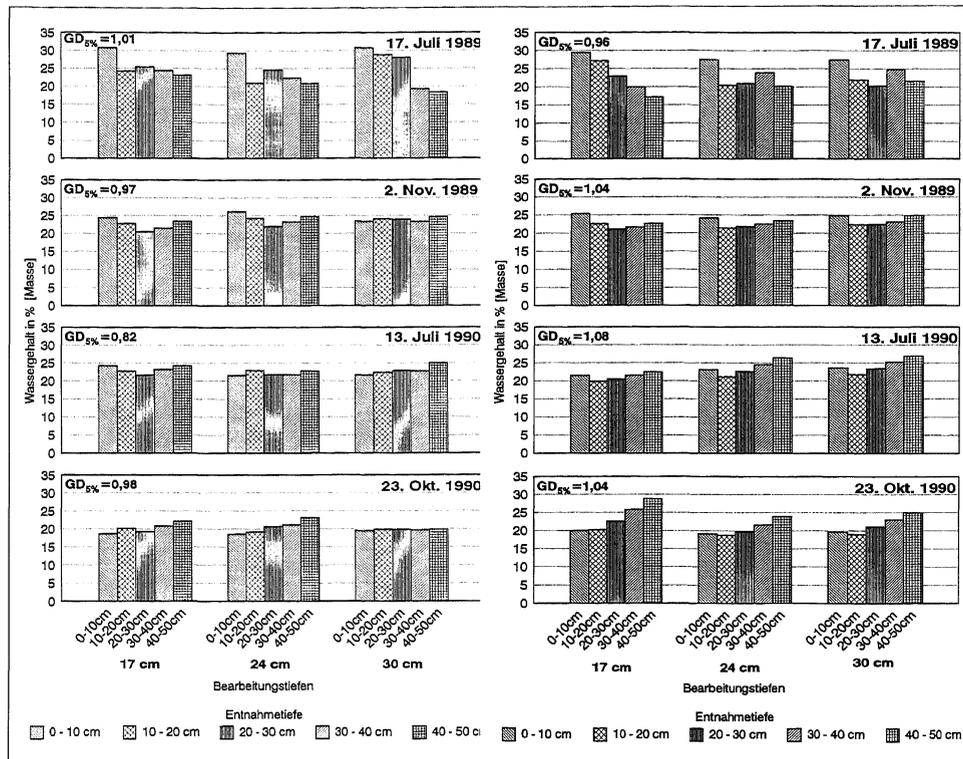


Abb. 7 (links): Wassergehalt in % (Masse) von 0 bis 50 cm Tiefe bei unterschiedlich tiefer Pflugbearbeitung in der Hauptvegetationszeit und nach der Ernte unter Körnermais (1989) und unter Zuckerrübe (1990)

Water content in % (mass) from 0 to 50 cm depth after tillage by plough at varying depths in the main vegetative period and after the harvest in maize (1989) and in sugar beet (1990)

Abb. 8 (rechts): Wassergehalt in % (Masse) von 0 bis 50 cm Tiefe bei unterschiedlich tiefer Grubberbearbeitung in der Hauptvegetationszeit und nach der Ernte unter Körnermais (1989) und unter Zuckerrübe (1990)

Water content in % (mass) from 0 to 50 cm depth after tillage by cultivator at varying depths in the main vegetative period and after the harvest in maize (1989) and in sugar beet (1990)

am Ende der Messungen (Abb. 5). Bei der Variante Pflug+Fräse lagen die Werte am Beginn bei ca. 10 l/min/m<sup>2</sup>, und sie sanken bis zum Abbruch der Messungen auf ca. 2,5 bis 4,5 l/min/m<sup>2</sup> (Abb. 6).

Die Zusammenhänge zwischen einer mehrjährigen flachen pfluglosen Bearbeitung und einer verminderten Infiltrationsrate und der Ertragsstruktur sowie der Ertragsleistung der Kulturpflanzen waren am angeführten Standort eindeutig (Teil 7 und 8, in Bearbeitung).

Die unterschiedliche Primärbodenbearbeitung beeinflusste in beiden Versuchsjahren den Wassergehalt im Boden (nachfolgend in % Masse angegeben) sowohl in den verschiedenen Entnahmetiefen als auch im Verlauf der Vegetationszeit deutlich (Abb. 7 bis 9). Tabelle 1 zeigt die signifikanten Mehrfachwechselwirkungen auf. In den angeführten Jahren war die Beeinflussung des aktuellen Bodenwassergehaltes durch die Bearbeitungsvariante je nach Vegetations-

zeit und Bodentiefe (0 bis 50 cm) unterschiedlich. Zusätzlich bestanden Interaktionen zwischen Vegetationsjahr, Entnahmetiefe und Zeitpunkt der Probenahme.

Tabelle 1

*Einflußgrößen auf den Wassergehalt in % (Masse) von 0 bis 50 cm Bodentiefe bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung in der Hauptwachstumsphase (Juli) und am Ende der Vegetationszeit (Oktober) in den Jahren 1989 und 1990*

*Factors influencing the water content in % from 0 to 50 cm soil depth after different primary tillage methods in the main growth phase (July) and at the end of the vegetative period (October) in the years 1989 and 1990*

	FG	DQ	F-Wert
Block	3	1,317	
Bodenbearbeitung	7	9,855	17,81***
Fehler 1 (Bl × Bobe)	21	0,553	
Entnahmetiefe	4	88,161	155,97***
Entnahmetiefe × Bodenbearbeitung	28	20,382	36,06***
Fehler 2 (E × Bobe × Bl, E × Bl)	96	0,565	
Monat – Datenerfassung (Juli–Nov.)	1	358,202	2.043,46***
Fehler 3 (Mo × Bl)	3	0,175	
Bodenbearbeitung × Monat	7	49,875	127,33***
Fehler 4 (Bobe × Mo × Bl)	21	0,392	
Monat × Entnahmetiefe	4	63,231	135,58***
Bodenbearbeitung × Monat × Entnahmetiefe	28	11,761	25,21***
Fehler 5 (Bobe × Mo × E × Bl, Mo × E × Bl)	96	0,466	
Jahr	1	588,289	5.504,46***
Fehler 6 (J × Bl)	3	0,107	
Bodenbearbeitung × Jahr	7	34,542	162,40***
Fehler 7 (Bobe × J × Bl)	21	0,213	
Jahr × Entnahmetiefe	4	217,046	433,69***
Bodenbearbeitung × Jahr × Entnahmetiefe	28	13,864	27,70***
Fehler 8 (Bobe × J × E × Bl, Mo × E × Bl)	96	0,500	
Jahr × Monat	1	37,442	489,17***
Fehler 9 (J × Mo × Bl)	3	0,077	
Bodenbearbeitung × Jahr × Monat	7	30,950	9,83***
Jahr × Monat × Entnahmetiefe	4	12,247	3,89**
Rest	145	3,147	

Erwartungsgemäß hat die Jahreswitterung und die jeweilige Fruchtart den größten Einfluß auf den Bodenwassergehalt. Aber auch die langjährige unterschiedliche Primärbodenbearbeitung führte in den ausgewählten Bodentiefen von 0 bis 50 cm zu unterschiedlichen Wassergehalten.

Tabelle 2 und 3 zeigen zum angeführten Untersuchungstermin (Juli und Oktober 1990) den durch die unterschiedliche Bodenbearbeitung verursachten unterschiedlich hohen, nutzbar gespeicherten Bodenwasservorrat (bis 40 cm Bodentiefe). In den gepflügten Parzellen schöpfte in der Hauptvegetationszeit (Juli) die Zuckerrübe in allen – aber besonders in den tieferen Horizonten – den Wasservorrat stärker aus als in den Dauerfräseparzellen. Auf den Grubber-, Fräse- sowie im verminderten Ausmaß auf den Fräse- und Pflugparzellen war im Verdichtungshorizont unter der Bearbeitungsgrenze die verminderte Ausschöpfung deutlich nachweisbar. Die Wirkung der Wasserausschöpfung ging über die Mächtigkeit des Bearbeitungshorizontes hinaus und ist als Folge der tieferen Durchwurzelung erklärbar.

Tabelle 2

*Physikalische Kennwerte und pflanzenverfügbarer Bodenwasservorrat bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung unter Zuckerrübe, Juli 1990*

*Physical characteristic values and plant available soil water supply after different primary tillage methods in sugarbeet, July 1990*

Variante und Bearbeitungstiefe in cm	Boden-Entnahmetiefe in cm	Lagerungsdichte g/cm <sup>3</sup>	Feldkapazität (60k Pa) Vol. %	LK* Vol. %	Äquivalentwelkepunkt (1500k Pa) Vol. %	% der nutzbaren Feldkapazität
Pflug 24 cm	5-10	1,42	34,1	15,5	17,0	89,5
	15-20	1,45	38,6	3,8	19,1	86,0
	25-30	1,52	37,9	2,7	18,4	87,0
	35-40	1,57	40,1	1,9	21,2	85,0
Grubber 24 cm	5-10	1,48	38,9	5,8	17,4	87,9
	15-20	1,48	35,9	3,3	18,8	87,0
	25-30	1,56	34,5	2,8	18,2	102,2
	35-40	1,56	38,4	2,1	20,1	99,5
Fräse 10 cm	5-10	1,56	37,6	3,7	18,5	93,3
	15-20	1,60	33,0	3,8	15,3	96,5
	25-30	1,61	31,2	3,6	15,1	108,9
	35-40	1,55	36,9	2,2	18,3	95,8
Fräse+Pflug 10+24 cm	5-10	1,45	36,4	10,9	17,9	90,8
	15-20	1,50	37,5	3,2	18,6	92,0
	25-30	1,57	33,1	3,0	16,6	100,1
	35-40	1,56	37,9	2,1	19,4	87,3

\* LK (Luftkapazität) = Gesamtporenvolumen - Feldkapazität

Tabelle 3

*Physikalische Kennwerte und pflanzenverfügbarer Bodenwasservorrat bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung unter Zuckerrübe, Oktober 1990*

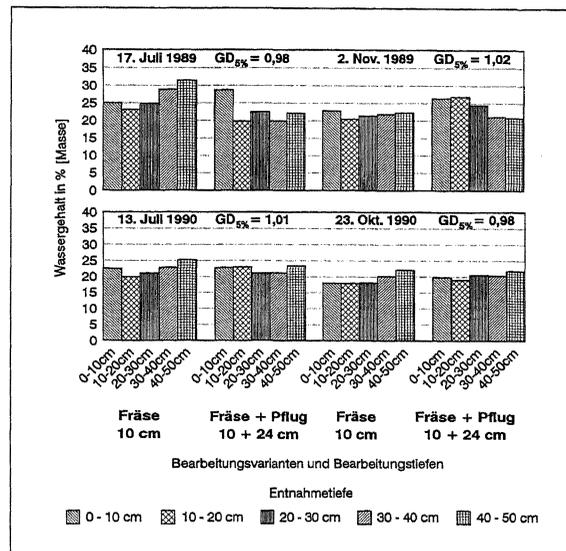
*Physical characteristic values and plant available soil water supply after different primary tillage methods in sugarbeet, October 1990*

Variante und Bearbeitungstiefe in cm	Boden-Entnahmetiefe in cm	Lagerungsdichte g/cm <sup>3</sup>	Feldkapazität (60k Pa) Vol. %	LK* Vol. %	Äquivalentwelkepunkt (1500k Pa) Vol. %	% der nutzbaren Feldkapazität
Pflug 24 cm	5-10	1,49	33,0	11,2	17,3	83,5
	15-20	1,50	38,9	4,8	18,6	73,7
	25-30	1,58	37,7	2,8	17,7	86,3
	35-40	1,57	40,2	2,0	20,4	82,4
Grubber 24 cm	5-10	1,46	38,3	7,0	17,5	72,8
	15-20	1,49	40,1	4,2	18,2	69,5
	25-30	1,58	36,0	4,0	17,8	86,5
	35-40	1,55	38,9	2,9	19,9	86,1
Fräse 10 cm	5-10	1,54	37,5	4,9	17,8	73,9
	15-20	1,60	35,6	3,9	16,1	80,4
	25-30	1,60	36,4	4,1	15,2	79,6
	35-40	1,55	39,0	2,7	18,5	79,9
Fräse+Pflug 10+24 cm	5-10	1,49	35,6	8,8	17,7	82,9
	15-20	1,59	36,9	3,5	18,1	81,9
	25-30	1,62	35,8	3,2	16,9	93,2
	35-40	1,56	39,8	2,2	19,3	79,6

\* LK (Luftkapazität) = Gesamtporenvolumen - Feldkapazität

Abb. 9: Wassergehalt in % (Masse) von 0 bis 50 cm Tiefe bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung in der Hauptvegetationszeit und nach der Ernte unter Körnermais (1989) und unter Zuckerrübe (1990)

Water content in % (mass) from 0 to 50 cm depth after different primary tillage methods at varying depths in the main vegetative period and after the harvest in maize (1989) and in sugar beet (1990)



Innerhalb der bearbeiteten Krume zeigte sich bei den Pflug- und Grubbervarianten die hohe Bodenwasserspeicherefähigkeit an den hohen Bodenwassergehalten (Juli 1989, Deckfrucht Mais). Unter der Bearbeitungsgrenze war der Bodenwassergehalt stets am niedrigsten. Nach Abschluß der Vegetation (Ende Oktober) waren die Unterschiede weder im Gesamtvorrat eindeutig (Tab. 3) noch im gravimetrischen Bodenwassergehalt zwischen den Bearbeitungsvarianten absicherbar (Abb. 7 bis 9). Hervorzuheben ist der wesentlich geringere Bodenwassergehalt von ca. 18–21 % nach der Hauptfrucht Zuckerrübe trotz wesentlich höherer Herbstniederschläge (September und Oktober 1990 = 189,3 mm Niederschläge, ≈190 % im Vergleich zum langjährigen Mittel) gegenüber Körnermais von ca. 21–26 % (September und Oktober 1989 = 128,7 mm Niederschläge, ≈130 % im langjährigen Mittel).

#### 4. Diskussion

Die Ergebnisse der Felderhebung zeigen eine maßgebliche, direkte und indirekte Beeinflussung der Wassereffizienz durch die Primärbodenbearbeitung. Entscheidend für das variantenabhängige Verhalten betreffend Versickerungshöhe als auch deren zeitlichen Verlauf ist die jeweilige Lagerungsdichte (Tab. 2 und 3) und die Porengrößenverteilung, im besonderen der Anteil der Makroporen, wie dieser auch bereits mehrfach von SLATYER (1967), HELAL (1991), HARTGE (1992), ZHANG und HARTGE (1992) nachgewiesen wurde, sowie die Zahl der Regenwurmgänge und des Humusgehaltes in der Krume. Ergebnisse dieser Faktoren wurden in früheren Arbeiten angeführt (ETTINGER 1988 und 1991, LIEBHARD 1992 und 1993).

Am Versuchsstandort ist während der gesamten Vegetationszeit die Wasserinfiltration auf den Pflug-, der Kombination Fräse und Pflug – sowie den tief bearbeiteten Grubberparzellen wesentlich höher als auf den Fräseteilstücken und den flachbearbeiteten Varianten. Die unterschiedlichen Meßzeitpunkte innerhalb einer Vegetationsperiode und im Vergleich der Jahre brachten ähnliche Ergebnisse. Eine Abnahme der Infiltrationsrate auf ausschließlich gefrästem

Ackerland wurde auch von HILLEL (1980), EITZINGER (1988, 1991) sowie FREEBAIRN und GUPTA (1990) festgestellt. Das Leitbahnsystem für infiltrierendes Wasser, überwiegend bestehend aus den Grob- und Mittelporen, weist eine variantenabhängige Größe auf. Die langjährige unterschiedliche Primärbodenbearbeitung führte zu einer Veränderung des Grobporenvolumens und der Infiltrationsrate im bearbeiteten Horizont (KLAGHOFER und EITZINGER 1990).

Ein Gleichbleiben bis sogar wesentliches Ansteigen der Infiltrationsrate auf den gefrästen Flächen gegenüber gepflügten wurde von ZACHMANN et al. (1987), EHLERS (1983), ROTH et al. (1988), JOSCHKO (1988), BORCHERT (1988), MEEK et al. (1989), LAL und VANDOREN (1991) beobachtet. Für die höhere Infiltrationsrate auf diesen Ackerflächen waren die Bodenbedeckung, die Menge an Ernterückständen, die Mulchschichtdicke sowie hauptsächlich der wesentlich höhere Regenwurmbesatz von Bedeutung. Wegen des zu niedrigen Regenwurmbesatzes kam dieser Effekt am untersuchten Standort nicht zum Tragen (EITZINGER 1991).

Nach Eintritt von Niederschlägen ist die versickerbare Wassermenge bei den Varianten Pflug, Grubber und Kombination Fräse und Pflug mit hohem Grobporenanteil im Bearbeitungshorizont größer als auf den Dauerfräseparzellen, da die Bodenhorizontstärke mit rascher Wasserabführung größer ist. Gekoppelt mit der Bearbeitungstiefe wurde der höhere Grobporenanteil geschaffen (EITZINGER 1991).

Die Infiltrationsverläufe zeigen entsprechend dem Grobporenanteil einen charakteristischen Verlauf. Nach BECHER (1985) eilt in sekundärporenen Böden das Wasser bei Infiltration in ungesättigten Böden der Sättigungszone voraus. Mit zunehmender Länge der Transportzone, vor allem unter dem Bearbeitungshorizont (Pflugsohlenbereich), nimmt – wie es die Infiltrationsverläufe zeigten – die Vorrückgeschwindigkeit in der Befeuchtungsfront rasch ab. Der hydraulische Gradient nähert sich 1, und die Vorrückgeschwindigkeit wird konstant (HARTGE 1992).

Bei Infiltration nimmt die Versickerungskurve einen abnehmenden, aber je nach Bearbeitungsvariante verschieden steilen Verlauf ein. Die Eindringgeschwindigkeit ist bei den Varianten mit gezogenen Bearbeitungsgeräten auch noch nach zwei bis drei Stunden höher, da der hydraulische Gradient in der Sättigungszone größer ist. Beim Vergleich der Ausgangswassergehalte weisen jeweils die Fräseparzellen wegen oberflächlichem Wasserstau einen deutlich höheren Wert auf (Abb. 7 bis 9).

Zu Vegetationsbeginn im Frühjahr kann aufgrund der Winterniederschlagsmenge von einer beinahe vollständigen Auffüllung der Bodenwasserreserve der nutzbaren Feldkapazität ausgegangen werden. Die wesentlichste Beeinflussung der Veränderung des Wassergehaltes im Boden während der Hauptvegetationszeit ist durch die Niederschlagsmenge und deren Verteilung vorgegeben. Dennoch kann, wie Tabelle 1, 2 und 3 zeigen, davon ausgegangen werden, daß sich die unterschiedliche Primärbodenbearbeitung im aktuellen Bodenwassergehalt direkt und indirekt auswirkt. Unmittelbar beeinflusst die unterschiedliche Primärbodenbearbeitung über das Grobporenvolumen die Infiltration und somit die Bodenwassergehaltdynamik. Indirekt entscheidet die Wurzellängendichte die Höhe des Pflanzenwasserentzuges. Durchgehend weisen die Varianten mit einer nachhaltigen Lockerung nicht nur bei Einzelterminen, sondern im gesamten Wachstumsverlauf eine für den Pflanzenwasserbedarf bessere Bodenfeuchtedynamik auf.

Die Veränderung des Wassergehaltes im Oberboden ist vom Zustand der Vegetationsdecke abhängig. Zu Zeiten mit hoher Biomassebildung ist im effektiven Wurzelraum bei gleich hohen Potentialgradienten eine wesentlich höhere Wasserzufuhr notwendig als im Unterboden, da einerseits durch die Evaporation und andererseits durch die Transpiration der Pflanzen hohe Wassermengen entzogen werden. Nach SCHMIDT und MUELLER (1991) wird die Interzeption im entscheidenden Ausmaß auch durch den Blattflächenindex beeinflusst. In intensiv landwirtschaftlich genutzten Ackerflächen können daher die zum Teil großen Unterschiede im Bodenwasserentzug nur schwer faktorspezifisch zugeteilt werden.

Wie die Ergebnisse der Abbildungen 7 und 8 zeigen, führt eine tiefergehende Lockerung im Unterboden mit Pflug oder Grubber bei Fruchtarten mit hohem Wasserbedarf und höherer Trockenmassebildung, wie z. B. Körnermais oder Zuckerrübe, zu einem Mehrentzug von Bodenwasser. In den Fräseparzellen ist bei den angeführten Kulturarten der um 8 bis 10 % höhere Bodenwassergehalt auf die verminderte Ausschöpfung zurückzuführen; die Erträge liegen aufgrund der ungünstigen Wurzelraumbedingungen meist signifikant niedriger (Teil 7 und 8, in Bearbeitung). Bei geändertem physikalischem Bodenzustand wurde auf schweren Bodenarten auch von WERNER (1988) ein unterschiedlich hoher Wasserentzug der Pflanzen nachgewiesen.

## 5. Schlußfolgerung

Eine Steigerung der Effizienz der Niederschläge für die Kulturpflanzen setzt die Kenntnis spezieller standortbezogener, bodenphysikalischer Faktoren und die Einbindung der Kausalzusammenhänge der beeinflussten produktionstechnischen Komponenten auf die Versickerung und nutzbare Bodenwassermenge voraus. Bei Vorliegen von Infiltrationsraten ist weiters eine Abschätzung der Verschlammung an der Bodenoberfläche sowie die Auswirkung von Bodenverdichtungen auf den Bodenwasserhaushalt möglich. Eine generelle Ermittlung der Infiltrationsrate am Feld ist aber aufgrund des sehr hohen Arbeits-, Geräte- und Zeitbedarfes nicht vertretbar.

Die Aufteilung der anfallenden Wassermenge in Versickerung und Evapotranspiration hängt einerseits jeweils von der Niederschlagsverteilung, -intensität, den bodenphysikalischen Eigenschaften und der Bodenbedeckung (Kulturart, Pflanzenzahl und Entwicklungszustand) ab. Andererseits zeigt die zehnjährige unterschiedliche Primärbodenbearbeitung am angeführten Standort einen deutlichen Einfluß auf einige bodenphysikalische Faktoren, wie bearbeitungsabhängiges Versickerungsverhalten und daraus resultierende unterschiedliche Bodenwasserverfügbarkeit.

- Die Bearbeitung mit dem Pflug oder Grubber gewährleistet auf dem schweren schluffigen Boden des Versuchsstandortes eine hohe kapillare Leitfähigkeit, bei jährlichem Fräseeinsatz wird sie hingegen stark reduziert.
- Die erhöhte Lagerungsdichte in den flachbearbeiteten Grubber- und Fräseparzellen führt zu einer Verschlechterung der Wasserinfiltration.
- Bei einer größeren Bearbeitungstiefe kommt es zur Vertiefung des Wurzelraumes, und dieser bewirkt einen höheren Wasserentzug im Unterboden. Das Vorliegen eines starken Verdichtungshorizontes unter der Bearbeitungsgrenze führt während der Hauptwachstumszeit der Kulturpflanzen zu einer geringeren Durchwurzelung und dadurch zu einer verspäteten oder wesentlich geringeren Wasserentnahme aus dem Unterboden.

### Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft geförderten Projektes Nr. L 580/89 durchgeführt. Für die Bereitstellung des Labors und die Unterstützung danken wir der Direktion und den Mitarbeitern der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen. Weiters danken wir Herrn Dr. A. SCHREIBERHUBER für die großzügige langjährige kostenlose Versuchsdurchführung.

### Literatur

- BACHMANN, J. und K. H. HARTGE, 1992: Die Berechnung von Wasserspannungskurven aus Primärdaten – Ein Methodenvergleich. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 155, 109–114.
- BECHER, H. H., 1985: Mögliche Auswirkungen einer schnellen Wasserbewegung in Böden mit Makroporen auf den Stofftransport. *Z. dt. geol. Ges.* 136, 303–309.
- BECHER, H. H., 1991: Über die Aggregatdichte und deren mögliche Auswirkung auf den Bodenlösungstransport. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154, 3–8.
- BORCHERT, H., 1988: Bodenphysikalische Veränderungen eines Lößbodens bei langjähriger pflugloser Bewirtschaftung. *Bayer. Landwirtsch. Jahrb.* 65, 813–824.
- BOUMA, J., 1981: Soil morphology and preferential flow along macropores. *Agric. Water Manag.* 3, 235–250.
- EHLERS, W., 1983: Auswirkungen der Bodenbelastung mit schwerem Gerät und der Bodenbearbeitung auf das Bodengefüge und das Pflanzenwachstum. *Kali-Briefe (Büntehof)* 15, 499–516, Hannover.
- EITZINGER, J., 1988: Einfluß unterschiedlicher Primärbodenbearbeitungssysteme auf Eindringwiderstand und Infiltration eines Bodens im semihumiden Klimabereich. Diplomarbeit, Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- EITZINGER, J., 1991: Einflüsse unterschiedlicher Primärbodenbearbeitungssysteme auf ausgewählte bodenphysikalische Eigenschaften. Dissertation, Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- EITZINGER, J. und I. DIRMHORN, 1994: Sind Simulationsmodelle für Kulturpflanzen praktikabel? *Blick ins Land* 4/94, 4–7.
- ELLIES, A. und A. HUBER, 1991: Wasserhaushalt und Bodenwasserverteilung bei einer Futtermaiskultur in Südchile. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154, 9–12.
- FEICHTINGER, F., 1990: Feld-, Labor- und indirekte Methoden zur Bestimmung der kapillaren Leitfähigkeit. Gegenüberstellung von Ergebnissen. *Mitteilungen aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt*, Heft 32, Petzenkirchen, 1–163.
- FREEBAIRN, D. M. and S. C. GUPTA, 1990: Microrelief, Rainfall and Cover Effects on Infiltration. *Soil and Tillage Research* 16, 307–327.
- GUNZELMANN, M. und R. HORN, 1987: Die Bestimmung der Wasserspannungs- und Wasserleitfähigkeits-Beziehung von Bodenaggregaten. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 150, 400–402.
- HARTGE, K. H., 1992: Lehrbuch der Bodenkunde. Scheffer und Schachtschabel. 13. Aufl., Kapitel XIV–XIX, Enke, Stuttgart.
- HARTGE, K. H., BOHNE und M. EXTRA, 1986: Die Bestimmung der Wasserspannungskurve aus Körnungssummenkurven und Porenvolumen mittels Nomogrammen. *Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung* 27, 83–87.
- HELAL, H. M., 1991: Bodengefüge, Wurzelentwicklung und Wurzelfunktionen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154, 403–407.
- HILLEL, D., 1980: *Applications of Soil Physics*. Academic Press, New York.
- JOSCHKO, M., 1988: Einfluß von Regenwürmern (Lubricidae) auf verdichteten Boden – Modellversuche. Dissertation, Techn. Univ. Carole-Wilhelmina, Braunschweig.
- KLAGHOFER, E., 1982: Zur Frage der Regelung des Bodenwasserhaushaltes schwerer Böden. *Mitteilungen aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen/NÖ*, Nr. 28, 1–122.
- KLAGHOFER, E., 1985: Einfluß der landwirtschaftlichen Bodennutzung auf den Oberflächenabfluß bei Starkregen. *Mitteilungen aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen/NÖ*, Nr. 30, 1–105.
- KLAGHOFER, E., 1988: Physikalische Methoden in der landwirtschaftlichen Bodenforschung. *Mitt. der Österr. Bodenkundl. Ges.* 36, 125–137.
- KLAGHOFER, E. und J. EITZINGER, 1990: Einfluß unterschiedlicher Primärbodenbearbeitungssysteme auf Eindringwiderstand und Infiltration. *Landtechnik* 45, 231–233.
- LAL, R. and D. M. VANDOREN, 1991: Influence of 25 Years of Continuous Corn Production by three Tillage Methods on Water Infiltration for two soils in Ohio. *Soil and Tillage Research* 16, 71–84.

- 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.
- LOHMANN, F., 1992: Abschätzung der Versickerungshöhe auf sandigen Standorten bei unterschiedlichem Beregnungsregime mittels Simulationsrechnungen. *Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd.* 36, 469–479.
- MEEK, B. D., E. A. RECHEL, L. M. CARTER and W. R. DE TAR 1989: Changes in Infiltration under Alfalfa as Influenced by Time and Wheel Traffic. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 238–241.
- ÖNORM L 1062, 1988: Bestimmung des Wassergehaltes und des Wasseranteils. Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien.
- 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.
- PAPRITZ, A., H. FLÜHLER, H. WUNDERLI und H. P. LÄSER, 1989: Infiltration des Stammabflußwassers einer Buche. Ist Wasserabfluß in Makroporen nachweisbar? *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges.* 59, 217–218.
- RADULOVICH, R., E. SOLOZARNO and P. SOLLINS, 1989: Soil macropore size distribution from water breakthrough curves. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 556–559.
- RICHTER, J., 1986: Der Boden als Reaktor. Modelle für Prozesse im Boden. Enke, Stuttgart.
- ROTH, C. H., B. MEYER, H. G. FREDE and R. DERPSCH, 1988: Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an Oxisol in Parana, Brazil. *Soil and Tillage Research* 11, 81–91.
- SCHMIDT, K. und K. MUELLER, 1991: Ergebnisse zur Niederschlags-Interzeption in landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154, 153–156.
- SIDIRAS, N. und G. KAHNT, 1988: Wirkung unterschiedlich intensiver Bodenbearbeitung bei verschiedenen Fruchtfolgen auf Ertrag, Wurzelwachstum und Bodenkenwerte. *Berichte der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, Bd. 1, AG Agrarökologie. Dauerversuche zur Lösung aktueller Probleme im Pflanzenbau. Wissenschaftsverlag Vauk Kiel, 150–166.
- SLATYER, R. O., 1967: *Plant-Water Relationship*. Academic Press. London, New York.
- TOPP, G. C. and J. L. DAVIS, 1981: Detecting infiltration of water through soil cracks by time-domain reflectometry. *Geoderma* 26, 13–23.
- TÜRK, T., A. MAHR und R. HORN, 1991: Tensiometrische Untersuchungen an Aggregaten in homogenisiertem Löß. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154, 361–368.
- VERECKEN, H., J. MAES, J. FEYEN and P. DARIUS, 1989: Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density and carbon content. *Soil Science* 148, 389–403.
- WERNER, D., 1988: Einfluß des physikalischen Bodenzustandes auf den Wasserentzug landwirtschaftlicher Fruchtarten. *Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd.* 32, 303–310.
- WHITE, R. W., G. W. THOMAS and M. S. SMITH, 1984: Modelling water flow through undisturbed soil cores using a transfer function model derived from <sup>3</sup>HOH and Cl transport. *J. Soil Sci.* 35, 159–168.
- ZACHMANN, I. E., D. R. LINDEN and C. E. CLAPP, 1987: Macroporus infiltration and redistribution as affected by earthworms, tillage and residue. *Soil Sci. Soc. Am. J. Vol.* 51, 1580–1586.
- ZHANG, H. und K. H. HARTGE, 1992: Zur Auswirkung organischer Substanz verschiedener Humifizierungsgrade auf die Aggregatstabilität durch Reduzierung der Benetzbarkeit. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 155, 143–149.

(Manuskript eingelangt am 24. Juni 1994, angenommen am 28. August 1994)

Anschrift der Verfasser:

Dr. Peter LIEBHARD, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität für Bodenkultur, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien; Dr. Josef EITZINGER, Institut für Meteorologie und Physik der Universität für Bodenkultur, Türkenschanzstraße 18, A-1180 Wien und Hofrat Univ.-Doz. Dr. Eduard KLAGHOFER, Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, A-3252 Petzenkirchen