

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

**Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf Ertrag und Ertragsverhalten von Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) im oberösterreichischen Zentralraum  
(Teil 6)**

Von P. LIEBHARD

(Mit 5 Abbildungen)

**Zusammenfassung**

Aufbauend auf Ergebnissen früherer Arbeiten von ausgewählten bodenchemischen und -physikalischen Parametern wird der Einfluß einer langjährigen unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung bei verschiedenen Bearbeitungstiefen in einer vierfeldrigen Fruchtfolge auf Ertrag und Ertragsstabilität geprüft. Auf dem mittelschweren, schluff- und tonreichen Boden im semihumiden Klimagebiet konnte der Nachweis erbracht werden, daß bei Winterweizen Bearbeitungssysteme mit reduzierter Eingriffsintensität der konventionellen Bestelltechnik in der Ertragsleistung annähernd gleichwertig sind. Durch ein periodisches Pflügen auf Krumentiefe zur Hackfrucht alle zwei bis vier Jahre kann der bewirtschaftungsbedingten Verdichtung ausreichend wirksam begegnet werden.

Bei einer dreifach durchlaufenen Rotation zeigen die zwölfjährigen Ergebnisse (1981 bis 1992), daß die Weizenpflanzen zwar in allen Phasen ihres Entwicklungsverlaufes von den durch die unterschiedliche Bearbeitung bedingten bodenphysikalischen Veränderungen beeinflußt werden, sich diese aber auf den Kornertrag zwar signifikant, aber relativ geringfügig auswirken. Die Zahl der aufgelaufenen Pflanzen ging mit zunehmender Dauer der pfluglosen Bearbeitung um anfangs ca. 3, später bis 11 % zurück. Auch bei optimalen Bedingungen während der Bestockungs- bzw. Schoßphase blieb der signifikante Einfluß beim Feldaufgang ab dem dritten vierjährigen Untersuchungszeitraum auf den Kornertrag bestehen.

Im Mittel der Jahre wurden die höchsten Kornerträge von 70,9 dt/ha auf den zu Weizen gefrästen und zu den Hackfrüchten auf standortübliche Tiefe von 24 cm gepflügten Parzellen erreicht. Bei jährlichem Pflügen ging der Kornertrag um 1,7 bis 3,1 % zurück. Zwischen 4,1 und 4,7 % verminderte sich die Erntemenge bei mittlerer oder tiefer Grubberbearbeitung. Um 6,1 % reduzierte sich die Höhe des Erntegutes bei jährlich flachem Grubbern auf nur 17 cm

Tiefe. Der regelmäßig niedrigste Kornertrag – im Mittel um 10,9 % weniger – wurde auf den Dauerfräseparzellen geerntet.

Bei der anfallenden Strohmenge gab es deutlichere Jahresschwankungen, aber im Durchschnitt der Jahre verhielten sich die Stroherträge ähnlich dem Kornertrag.

Schlüsselworte: Primärbodenbearbeitung, Winterweizen, Ertragsparameter, Kornertrag, Strohertrag.

### **Influence of primary tillage on yield and yield characteristics of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in the centre of Upper Austria (part 6)**

#### Summary

The influence on yield and yield stability of long-term, different primary tillage methods at varying depths within a four-field crop rotation was examined. This testing was based on the results of previous works using selected biochemical and physical parameters. On the medium-heavy, loam and clay rich soil in a semihumid climate, it could be proven that the yield results for winter wheat are equal, whether using tillage systems with reduced intensity or conventional tillage methods. The compression of the soil caused by cultivation can be countered effectively by means of periodic ploughing at topsoil depth for root-crops.

The twelve-year test results (1981 to 1992), after three rotations, show that the wheat plants are influenced in all phases of their development by the physical soil changes (density, pore volume, pore distribution, aggregate stability) caused by varying tillage methods. These soil changes, however, have a significant but relatively slight effect on the grain yield. The number of germinated plants decreased about 3 to 11 % with the increasing duration of ploughless tillage. The significant influence of the number of germinated plants on the grain yield remained even under optimum conditions during the sprouting phase from the third rotation on.

In the yearly average, the highest yields of 70.9 dt/ha for wheat were obtained on the plots rotary-tilled and on the plots ploughed to the customary depth of 24 cm for the root crops. The grain yield decreased by 1.7 to 3.1 % after yearly ploughing. The harvest quantity diminished between 4.1 and 4.7 % after medium or deep grubbing treatment. The harvest was reduced by 6.1 % after annual flat grubbing at only 17 cm depth. The regularly lowest grain yield – on average 10.9 % less – was harvested on rotary-tilled plots.

There were more distinct annual fluctuations in the accrued amount of straw, but on the average, the straw yield was similar to the grain yield.

Key-words: Primary tillage, winter wheat, yield parameters, grain yield, straw yield.

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

Im spezialisierten Ackerbau kommt es trotz hoher Aufwendungen für die Bodenbearbeitung zunehmend bei den Produktionsmaßnahmen zu Effektivitätsverlusten, da sich verstärkt Strukturschäden in der Krume und im Unterboden negativ auf das Pflanzenwachstum auswirken. Als wesentliche Ursache für die stagnierenden bzw. teilweise sinkenden Erträge trotz höherer Aufwendungen sind bewirtschaftungsbedingt verdichtete Böden mit Strukturschäden, insbe-

sondere vermindertem Porenvolumen (PETELKAU 1987, BOHNE 1988, 1991 a, b, JOHANSSON 1988, PAGLIALI 1990, FREDE 1990, HORN et al. 1992, FREDE und GÄTH 1993) und geringerem Grobporenanteil bzw. niederer Aggregatstabilität (MEYER 1985, HÅKANSSON 1990, BAUMGARTL und HORN 1991, PERFECT et al. 1990, CANARACHE 1990, EHLERS 1991) anzuführen, da diese das Penetrationsvermögen (EHLERS et al. 1983, BOHNE 1988, PITTELKOW et al. 1988, BRESSON und ZAMBAUX 1990, LIPIEC et al. 1991, PABIN et al. 1991) und das Wurzellängenwachstum (SOMMER et al. 1989, IDE und HOFMAN 1990, TAYLOR und BRAR 1991, HELAL 1991) erschweren.

Winterweizen erfordert bei meist vorgegebener Fruchtfolge in der Bestellung innerhalb eines kurzen Zeitraumes einen hohen Bearbeitungsaufwand. Es werden Bodenbearbeitungsverfahren benötigt, die mit möglichst wenigen Arbeitsgängen die häufig erheblichen Strukturschäden in der Krume und im Unterboden – verursacht durch die schweren Erntemaschinen und -geräte bei den Vorfrüchten Zuckerrübe und Körnermais (HÅKANSSON et al. 1988, DANNOWSKI 1992) – mindern und die Einarbeitung der Pflanzenreste sowie die termin- und qualitätsgerechte Aussaat gewährleisten (BLANK und PETELKAU 1988). Durch jährliches tiefes Pflügen oder Lockern zur Beseitigung der bewirtschaftungsbedingten Strukturschäden ist der Boden in hohem Maße durch den Raddruck der nachfolgenden Arbeitsgänge verdichtungsempfindlich, was meist eine erneute tiefe Bearbeitung erfordert.

Hohe Erträge mit hoher Ertragssicherheit setzen eine stabile Bodenstruktur voraus, welche die im Boden befindlichen Wasser- und Nährstoffmengen ökologisch und ökonomisch effizient nutzen. Mit der Primärbodenbearbeitung (BAEUMER 1984, ALTEMÜLLER 1985) und fördernden Maßnahmen der Selbststrukturierung (SCHRÖDER 1986, BAUCHHENSZ 1991) wird versucht, zu einem Gefüge mit hoher Stabilität und guter Wurzelwegsamkeit bis tief in den Unterboden zu kommen.

Der Einfluß verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf die Ertragskomponenten und den Ertrag bei Winterweizen wurde vielfach untersucht (DIEZ et al. 1988, PITTELKOW et al. 1988, WERNER 1988, ENTZ und FOWLER 1988, KÖHN und CAESAR 1988, HRUBY und PROCHAZKOVA 1991, KREUZ und HAMANN 1991, HAUNZ et al. 1992, SPLETT et al. 1992, CLAUPEIN 1992). Die angeführten Ergebnisse sind im besonderen von Bodenart, Bearbeitungsverfahren und Versuchsanstellung abhängig. Einen entscheidenden Einfluß hat auch das Produktionsgebiet. Jährliche Niederschlagsmengen von über 700 mm mit günstiger Verteilung wirken ausgleichend. Mit der konventionellen Lockerbodenwirtschaft – bei Pflugbearbeitung – wurden von STEINECK (1984), SCHREIBERHUBER (1985), MAIDL et al. (1988) sowie WAGGER und DENTON (1989) die höchsten Erträge erreicht. Eine Ertragssteigerung bzw. gleichhohe Erträge wurden hingegen bei der Festbodenwirtschaft – nichtwendende Bodenbearbeitung – von KUNDLER und SMUKALSKI (1988), DAO und NGUYEN (1989) MAUERSBERGER und GRAUL (1990), UNGER und FULTON (1990) erzielt.

Wenige quantitative Informationen liegen hinsichtlich der Langzeitwirkung einer unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung in Abhängigkeit von den Umweltfaktoren auf das Pflanzenwachstum vor. Die Auswirkung wiederholter Belastungen und der zunehmenden Tiefenverlagerung des Verdichtungshorizontes durch ungünstige Bearbeitungsmaßnahmen erfordert eine kausalanalytische Betrachtung der sich ändernden chemischen und physikalischen Bodenparameter, da die Kulturarten innerhalb einer Fruchtfolge unterschiedlich reagieren.

Mit dem dargelegten Versuch soll geprüft werden, inwieweit eine langzeitige Reduktion der Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung des Standortes mit zum Teil strukturgeschädigten Ackerflächen bei Winterweizen möglich ist. Die Vergleichsuntersuchungen bezogen sich auf die Beurteilung des Pflanzenwachstums, auf die Ertragsfeststellung und die Ermittlung einiger Ertragsparameter.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Standort, Boden und Versuchsanlage

Das Versuchsfeld „Ansfelden“ (271 m über NN) befindet sich im zentralen Ackerbau-gebiet des östlichen Alpenvorlandes nahe der Linzer Stadtgrenze. Die Jahresmitteltemperatur liegt bei 9,1°C, und die langjährige durchschnittliche Niederschlagsmenge beträgt 848 mm.

Der Boden ist eine mittelschwere, kalkfreie, pseudovergleyte Lockersediment-Braunerde. Der A<sub>p</sub>-Horizont besteht aus schluffigem Lehm, der Unterboden überwiegend aus Lehm. Die Krume weist eine mäßige Durchlässigkeit, aber hohe Wasserspeicherfähigkeit auf.

Der Versuch wurde im Herbst 1980 auf einer Fläche von 3,20 ha in zwei Schlägen, je Schlag mit acht Bearbeitungsvarianten als Block und jeweils zwei Wiederholungen, angelegt (Parzellengröße 9×70 m bzw. 9×135 m). Bei der jeweiligen Datenerfassung wurden aus jeder Parzelle zusätzlich zwei Teilstücke (1×1 m bzw. 4×10 m) herausgenommen. Damit eine frühere und umfassendere Beurteilung der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung unter Berücksichtigung der jeweiligen Jahreswitterung möglich ist, erfolgte die Aufteilung in zwei Schlägen. Dadurch konnten pro Jahr jeweils zwei verschiedene Fruchtarten bewertet werden (Tab. 1).

Mit drei verschiedenen Geräten und bei unterschiedlichen Bearbeitungstiefen wurden standortspezifische, praxisrelevante Primär-Bodenbearbeitungsverfahren durchgeführt. Dem Pflug und Grubber als gezogene Geräte wurde die motorgetriebene Fräse gegenübergestellt. Weiters kam die Kombination Fräse und Pflug zum Einsatz: nach Hackfrüchten zu Getreide Fräse mit 10 cm Bearbeitungstiefe, nach Getreide zu Hackfrüchten Pflug mit 24 cm Bearbeitungstiefe (Tab. 2).

Tabelle 1

*Fruchtarten in den Jahren 1980 bis 1992, Bodenbearbeitungsversuch Ansfelden*  
*Crop species in the year 1980 to 1992, cultivation experiment Ansfelden*

Fruchtfolge	Erntejahr	Fruchtart und Sorte	
		Schlag I	Schlag II
1. Rotation	1981	Körnermais	Winterweizen ÖNUS
	1982	Winterweizen ÖNUS	Zuckerrübe
	1983	Zuckerrübe	Winterweizen TITUS
	1984	Winterweizen TITUS	Körnermais
2. Rotation	1985	Körnermais	Winterweizen IKARUS
	1986	Winterweizen IKARUS	Zuckerrübe
	1987	Zuckerrübe	Winterweizen IKARUS
	1988	Winterweizen IKARUS	Körnermais
3. Rotation	1989	Körnermais	Winterweizen IKARUS
	1990	Winterweizen IKARUS	Zuckerrübe
	1991	Zuckerrübe	Winterweizen IKARUS
	1992	Winterweizen IKARUS	Körnermais

Seit der 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 wesentliche Kenngrößen bezüglich Standort, Profil, Textur, Struktur und Wasservorrat wurden bereits in früheren Arbeiten ausführlich beschrieben (LIEBHARD 1993, LIEBHARD et al. 1994).

Tabelle 2

*Bearbeitungsvarianten – Feldversuch Ansfelden*  
*Methods of cultivation, field experiment Ansfelden*

Bearbeitungsvariante und eingesetztes Gerät	Bearbeitungstiefe in cm
Pflug	17
Pflug	24 (standortüblich)
Pflug	30
Grubber	17
Grubber	24
Grubber	30
Fräse	10
Fräse bzw. Pflug*)	10 bzw. 24

\*) Fräse vor Getreide  
 Pflug vor Hackfrüchten

## 2.2 Pflanzenbauliche Maßnahmen

### 2.2.1 Bodenbearbeitung und Saat

Die Primärbodenbearbeitung erfolgte je nach Räumung der Vorfrucht und des Witterungsverlaufes zwischen 14. Oktober und 6. November.

Die Saatbettbereitung und Saat (Drillsaat) konnte nur auf den Pflug- und Grubberparzellen einheitlich durchgeführt werden, da bei der Fräse bzw. Fräse- und Pflugvariante die Bodenbearbeitung und Saat in einem Arbeitsgang in Form der Frässaat erfolgte. In den Jahren von 1980 bis 1983 und von 1988 bis 1991 wurden 440, zwischen 1984 und 1987 460 Körner pro m<sup>2</sup> gesät (Keimfähigkeit 95 bis 97 %).

### 2.2.2 Düngung und Pflanzenschutz

Sämtliche Maßnahmen der Düngung und des Pflanzenschutzes kamen im Rahmen der Bewirtschaftung des Großschlages soweit als möglich einheitlich zur Anwendung. Die Düngung erfolgte nach ortsüblichen ertrags- und kulturpflanzenpezifischen Bedingungen. Phosphat und Kali wurden bei allen Kulturarten jährlich in einer Menge von 40 bis 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und 100 bis 120 kg K<sub>2</sub>O je ha ausgebracht. Diese Gaben lagen etwas über den Nettonährstoffentzügen in der Fruchtfolgerotation. Die Stickstoffdüngung zu Weizen war abhängig vom N<sub>min</sub>-Gehalt zu Vegetationsbeginn im Frühjahr (N<sub>min</sub>-Sollwert 120 kg) sowie der jeweiligen Bestandesentwicklung und wurde jeweils in drei Teilmengen zur Bestockung (DC 21 bis 25 Anfang bis Mitte März), zum Schossen (DC 30 bis 35 Mitte April) und zum Ährenschieben (DC 45 bis 50) in Form von Kalkammonsalpeter und in einer Höhe von jeweils 40 bis 60, 60 und 50 kg/ha N verabreicht.

Die Unkrautbekämpfung erfolgte je nach keimender und aufwachsender Unkrautflora Mitte April je nach Bearbeitungsvariante artspezifisch. Weiters waren bei Winterweizen in jedem Jahr eine Mehлтаubekämpfung und eine vorbeugende Behandlung gegen Ährenkrankheiten notwendig.

## 2.3 Auswertung der Untersuchungsergebnisse

Die statistische Auswertung der Untersuchungsergebnisse erfolgte mit dem Programmpaket SAS (Statistical Analysis System). Die Ergebnisse der „Bearbeitungsvarianten“ wurden als Split-Plotanlage ausgewertet. Bei der Darstellung der Ergebnisse der Mittelwertvergleiche (Bonferroni-Holm-Test) in den Abbildungen 1, 2, 4, 5 und 6 unterscheiden sich Mittelwerte mit gleichem Kleinbuchstaben (a, b, ...) nur durch Zufall.

Die Daten von beiden Schlägen – somit von vier Vegetationsperioden innerhalb einer Fruchtfolgerotation (WW – ZR – WW – KM bzw. KM – WW – ZR – WW) wurden zu einem Mittelwert zusammengefaßt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf das Pflanzenwachstum und ausgewählte ertragsbestimmende Faktoren

Die unterschiedliche Primärbodenbearbeitung, Saatbettbestellung bzw. Saat führte bei Winterweizen zu einer verschiedenen tiefen Ablage des Saatgutes und dadurch zu einem ungleichmäßigen Samen-Bodenkontakt. Die Parzellen mit Fräsebearbeitung und Sämovatorsaat hatten gegenüber der üblichen Drillsaat beim Aufgangszeitpunkt einen regelmäßigen Vorsprung von zwei bis drei Tagen.

Die *Aufgangsdichte* ging hingegen mit zunehmender Dauer der pfluglosen Bearbeitung zurück (Abb. 1). In der ersten Fruchtfolgerotation lagen die Unterschiede der Keimpflanzenzahl pro m<sup>2</sup> an der Signifikanzschwelle. Ab dem zweiten vierjährigen Untersuchungszeitraum – bei einer um 20 Körner/m<sup>2</sup> erhöhten Saatstärke – wurde das Ausmaß des Feldaufganges deutlich von den Auswirkungen der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung geprägt. Im gegrubberten Boden gingen ca. 97 % und im flach gefrästen Feld 94 % der im Vergleich auf den gepflügten Parzellen ermittelten Keimpflanzen auf. In der dritten Periode (1988–1991) verstärkte sich dieser Trend, und die Zahl der Keimpflanzen auf den Fräseparzellen betrug nur mehr ca. 89 % gegenüber den Pflugvarianten. In den einzelnen Jahren kam es innerhalb der Fruchtfolgerotation zu geringfügigen Abweichungen. Die gesicherte Interaktionsvarianz „Bodenbearbeitung×Rota-

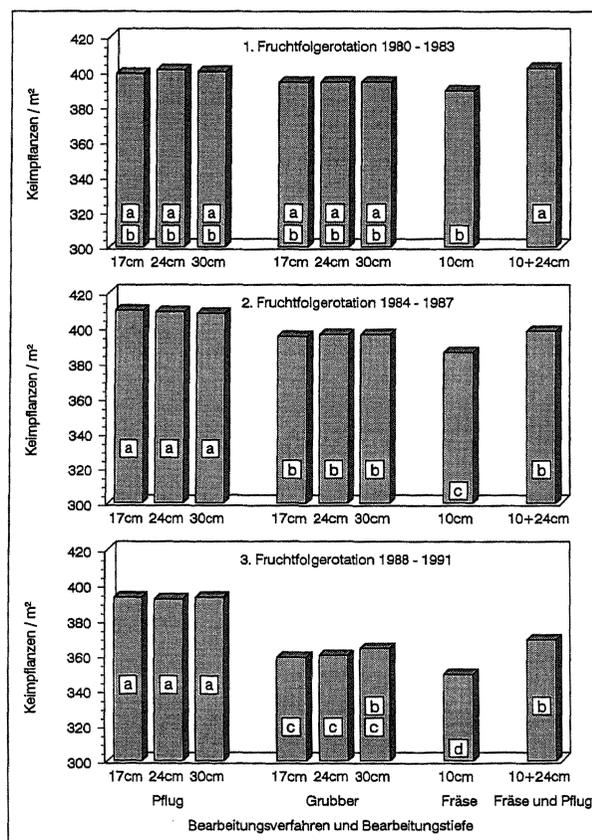


Abb. 1: Effekt der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf die Keimpflanzenzahl pro m<sup>2</sup> bei Winterweizen, Mittelwert einer Fruchtfolgerotation über vier Jahre von 1980 bis 1991 (Mittelwertvergleiche beziehen sich jeweils nur auf eine Fruchtfolgerotation)

Fig. 1: Effect of different primary tillage methods on the sprouting density/m<sup>2</sup> for winter wheat, average value taken from a crop rotation over a four-year period from 1980 to 1991 (average value comparisons refer respectively to only one crop rotation)

tion“ weist im Feldaufgang auf zunehmende Unterschiede zwischen den einzelnen Bearbeitungsvarianten hin. Während der Versuchsdauer kam es zu einer grundsätzlichen Änderung in der Ertragsstruktur. Sowohl die Pflanzanzahl/m<sup>2</sup> (nicht dargestellt) als auch die Anzahl ährentragender Halme/m<sup>2</sup> sind im Mittel aller Bearbeitungsvarianten über die Rotationen zurückgegangen.

Tabelle 3

Keimpflanzen pro m<sup>2</sup> bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung von 1980 bis 1991  
 Analysis of variance for the number of sprouting plants per m<sup>2</sup> after different primary tillage methods from 1980 to 1991

	FG	DQ	F-Wert
Wiederholung	3	67,926	
Bodenbearbeitung	7	4.849,250	76,87***
Fehler 1	21	63,070	
Erntejahr (Rotation)	9	4.374,017	37,32***
Rotation	2	28.580,086	243,86***
Fehler 2	33	117,201	
Erntejahr (Rotation)×Bodenbearbeitung	63	108,380	1,29ns
Rotation×Bodenbearbeitung	14	877,669	10,45***
Rest	231	83,998	

Die Anzahl ährentragender Halme pro m<sup>2</sup> wies eine ähnliche Abstufung auf wie die Aufgangsdichte (Abb. 2).

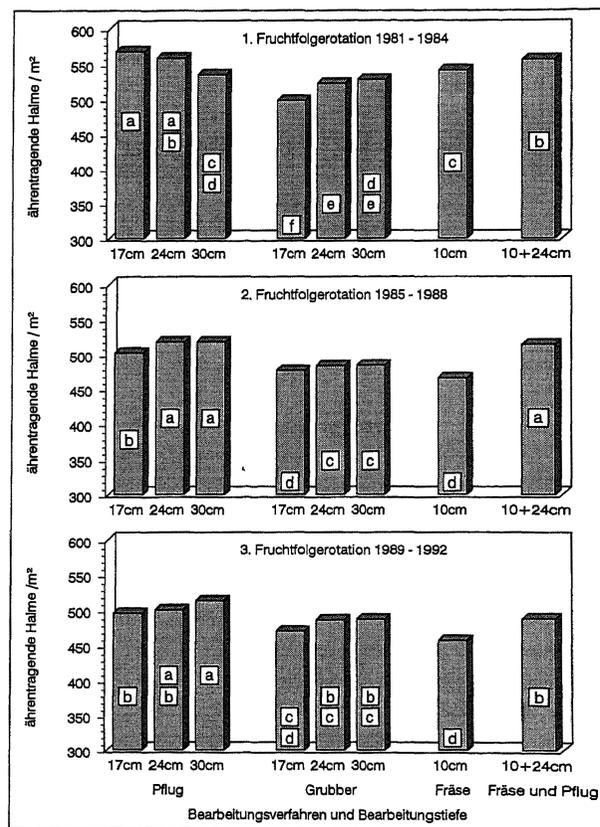


Abb. 2: Effekt der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf die Zahl der ährentragenden Halme/m<sup>2</sup> bei Winterweizen, Mittelwert einer Fruchtfolgerotation über vier Jahre von 1981 bis 1992 (Mittelwertvergleiche beziehen sich jeweils nur auf eine Fruchtfolgerotation)  
 Fig. 2: Effect of different primary tillage methods on the number of ears/m<sup>2</sup> for winter wheat, average value taken from a crop rotation over a four-year period from 1981 to 1992 (average value comparisons refer respectively to only one crop rotation)

Erst ab der dritten Periode ist eine deutlich bessere Übereinstimmung zwischen Feldaufgang und der Zahl der ährentragenden Halme erkennbar.

Der Einfluß der Aggregatstabilität auf die Anzahl der ährentragenden Halme, die sich durch die langjährige unterschiedliche Bodenbearbeitung differenzierte (LIEBHARD et al. 1995), steht in bezug zur Bestandesdichte. Mit zunehmender Aggregatstabilität steigt die Zahl der ährentragenden Halme an. Das Ergebnis ist gerade statistisch nicht absicherbar.

Zum Teil kam es durch die jeweilige Jahreswitterung zu Ausgleichseffekten, wie es die hohe Wechselwirkung „Erntejahr×Bodenbearbeitung (R)“ zeigt (Tab. 4). Der geringere Feldaufgang und die reduzierte Triebbildung sowie die verminderte Wüchsigkeit der Pflanzenbestände bei langjähriger flacher, pflugloser Bearbeitung führten zur Differenzierung im Ertragsverhalten.

Tabelle 4

*Ährentragende Halme pro m<sup>2</sup> bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung von 1981 bis 1992*  
*Analysis of variance for the number of ears per m<sup>2</sup> after different primary tillage methods from 1981 to 1992*

	FG	DQ	F-Wert
Wiederholung	3	59,253	
Bodenbearbeitung	7	14.407,975	169,64***
Fehler 1	21	84,932	
Erntejahr (Rotation)	9	92.219,198	616,97***
Rotation	2	98.006,073	655,68***
Fehler 2	33	149,471	
Erntejahr (Rotation)×Bodenbearbeitung	63	1.019,380	6,46***
Rotation×Bodenbearbeitung	14	2.696,091	17,07***
Rest	231	157,900	

### 3.2 Einfluß der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf den Korn- und Strohertrag

Die Erträge der Weizenbestände wurden durch die unterschiedliche Primärbodenbearbeitung und Bestellung signifikant beeinflusst (Tab. 5). Hohe bzw. höchste Kornerträge konnten auf den Fräse/Pflugparzellen erreicht werden. Während der drei Fruchtfolgerotationen kam es in der Ertragsleistung zu starken jahresabhängigen Schwankungen (Tab. 5). Die Wechselwirkung „Erntejahr×Bodenbearbeitung“ ist gekennzeichnet durch abnehmende Kornerträge bei Verringerung der Bearbeitungsintensität. Ausgehend von einem zu Versuchsbeginn niedrigeren Sortenleistungsniveau (1981 und 1982 ÖNUS, Ertragsergebnisse nicht einzeln angeführt) zeigten die gemittelten Jahreserträge ab 1983 nur eine leicht zunehmende Tendenz. Die 1987 und 1991 im Vergleich zu den übrigen Jahren niedrigen Kornerträge waren auf die ungünstige Jahreswitterung zurückzuführen.

Im Gegensatz zur Zahl der ährentragenden Halme/m<sup>2</sup> zeichnete sich der Effekt der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf den Kornertrag schon im ersten vierjährigen Untersuchungszeitraum ab (Abb. 3). In der ersten Rotation waren Mindererträge der Grubbervarianten von ca. 2,3 %, der Fräsevariante von ca. 7 % im Vergleich zu den Pflug- und Pflug/Fräsevarianten feststellbar. In der zweiten Fruchtfolgerotation verstärkte sich diese Abstufung, die höchsten Kornerträge entwickelten sich auf den Fräse/Pflugparzellen.

Tabelle 5

Kornertrag in dt/ha bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung von 1981 bis 1992  
 Analysis of variance for the grain yield in dt/ha after different primary tillage methods from 1981 to 1992

	FG	DQ	F-Wert
Wiederholung	3	36,601	
Bodenbearbeitung	7	274,383	88,48***
Fehler 1	21	3,101	
Erntejahr (Rotation)	9	3.920,390	546,18***
Rotation	2	1.674,340	233,77***
Fehler 2	33	7,178	
Erntejahr (Rotation)×Bodenbearbeitung	63	54,369	13,51***
Rotation×Bodenbearbeitung	14	42,635	10,59***
Rest	231	4,025	

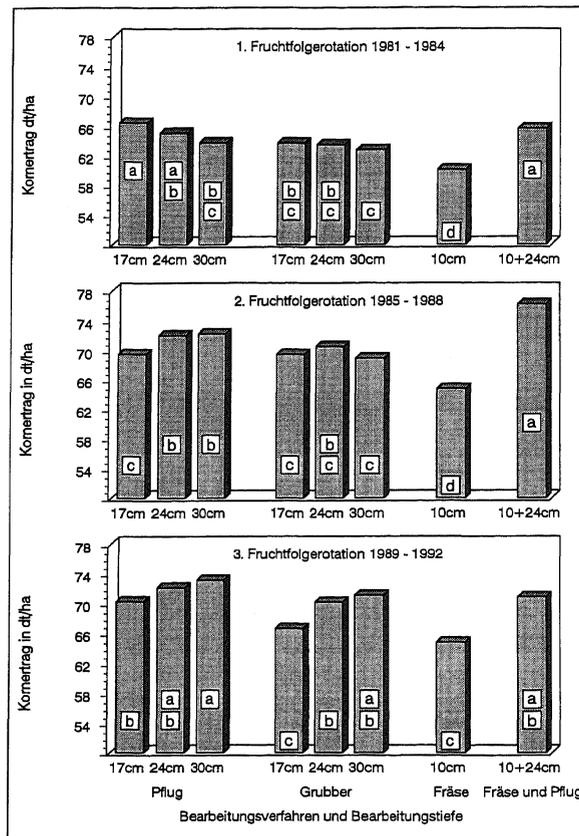


Abb. 3: Effekt der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf den Kornertrag in dt/ha, Mittelwert einer Fruchtfolgerotation über vier Jahre von 1981 bis 1992 (Mittelwertvergleiche beziehen sich jeweils nur auf eine Fruchtfolgerotation)

Fig. 3: Effect of different primary tillage methods on the grain yield in dt/ha, average value taken from a crop rotation over a four-year period from 1981 to 1992 (average value comparisons refer in each case to only one crop rotation)

Gegenüber der zweiten Rotation veränderten sich die Kornerträge in der dritten Rotation nur geringfügig. Die höchsten Erträge wurden bei standortüblichem und tiefem Pflügen bzw. mit dem Grubber bei 30 cm Bearbeitungstiefe erreicht. Gerade noch statistisch absicherbar (2 bis 2,5 %) reduzierte sich der Ertrag bei flachem Pflügen auf 17 cm, bei der Kombination Fräse

und Pflügen sowie bei der standortüblichen tiefen Grubberbearbeitung auf 24 cm. Bei langandauernder, flachgründiger Lockerung mit dem Grubber auf 17 cm Bearbeitungstiefe sank der Ertrag um 7,6 % bzw. um 9 % in den Dauerfräseparzellen.

Das Tausendkorngewicht war in der absoluten Höhe von der Sorte (1981 und 1982 ÖNUS, 1983 und 1984 TITUS, 1985 bis 1992 IKARUS), im weiteren von der Jahreswitterung und der Primärbodenbearbeitung abhängig (Tab. 6 und Abb. 4). Bei fehlender wendender Bearbeitung kam es bereits in den ersten Jahren zu einer meßbaren Verminderung des TKG. Das standortübliche (auf 24 cm) und tiefe Grubbern auf 30 cm (40,08 und 40,16) war in der zweiten Fruchtfolgerotation dem flachgründigen Pflügen (40,21) und der Kombination Fräse und Pflug (40,18) gleichwertig. Im Tausendkorngewicht war das standortübliche (40,41) und das tiefe Pflügen (40,43) ab der zweiten Rotation allen übrigen Varianten überlegen. Bei langjährigem flachgründigem Grubbern auf 17 bzw. 24 cm Tiefe (dritte Rotation) sanken die Werte auch auf diesen Teilstücken auf das niedrige Niveau der Dauerfräseparzellen. Diese signifikante Veränderung konnte auch durch den zum Teil stark unterschiedlichen Witterungsverlauf nicht verändert werden.

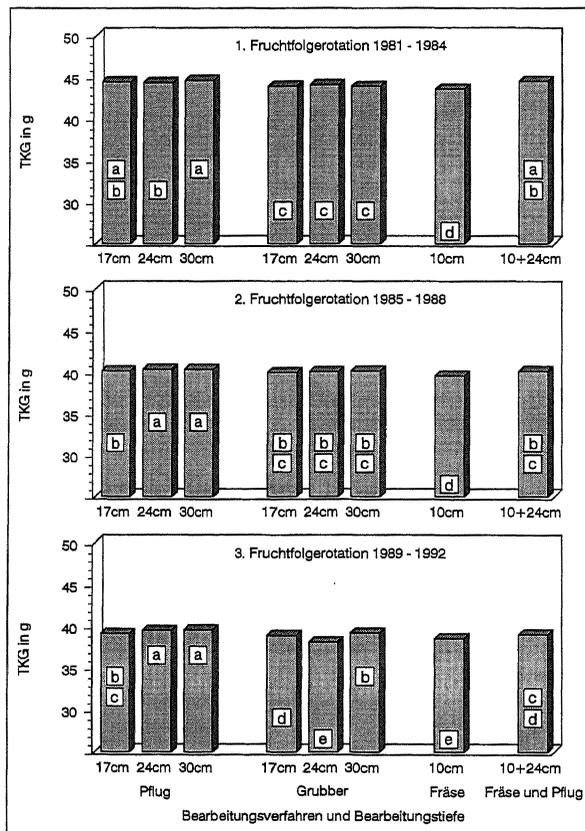


Abb. 4: Effekt der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf das Tausendkorngewicht in g, Mittelwert einer Fruchtfolgerotation über vier Jahre von 1981 bis 1992 (Mittelwertvergleiche beziehen sich jeweils nur auf eine Fruchtfolgerotation)

Fig. 4: Effect of several primary tillage methods on the weight in g, average value of a crop rotation over a four-year period from 1981 to 1992 (average value comparisons refer in each case to only one crop rotation)

Tabelle 6

Tausendkorngewicht in Gramm bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung von 1981 bis 1992  
 Analysis of variance for the thousand corn weight in g after different primary tillage methods from 1981 to 1992

	FG	DQ	F-Wert
Wiederholung	3	0,065	
Bodenbearbeitung	7	4,153	192,88***
Fehler 1	21	0,022	
Erntejahr (Rotation)	9	353,732	7221,90***
Rotation	2	892,106	18213,52***
Fehler 2	33	0,049	
Erntejahr (Rotation)×Bodenbearbeitung	63	0,553	13,92***
Rotation×Bodenbearbeitung	14	0,324	8,16***
Rest	231	0,040	

Im Strohertrag gab es die höchsten Jahresschwankungen und deutliche Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten (Tab. 7). Bereits in den ersten Versuchsjahren kam es zwischen den einzelnen Bearbeitungsvarianten zu beachtlichen Unterschieden im Strohertrag (Abb. 5). Das jährliche Pflügen oder die Kombination Fräsen und Pflügen führte zu jeweils gleich hohen Strohen-

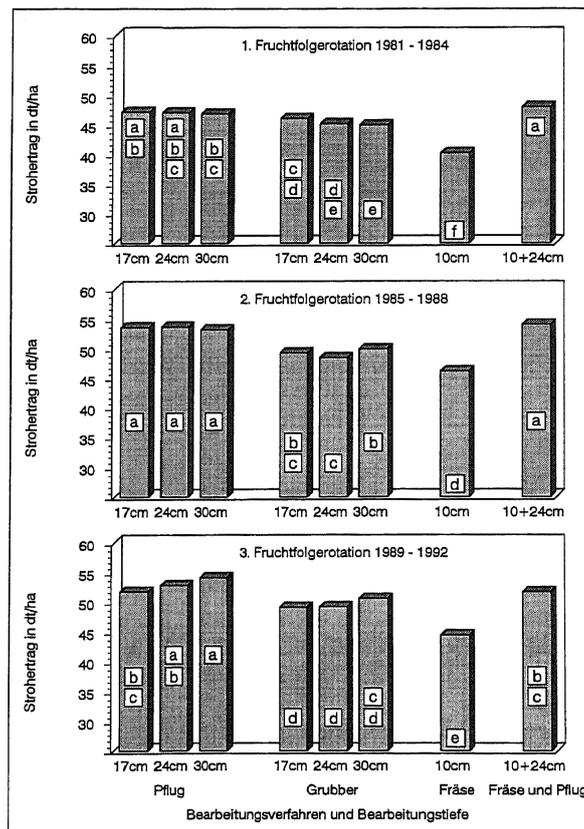


Abb. 5: Effekt der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf den Strohertrag in dt/ha, Mittelwert einer Fruchtfolgerotation über vier Jahre, (Mittelwertvergleiche beziehen sich jeweils nur auf eine Fruchtfolgerotation)  
 Fig. 5: Effect of different primary tillage methods on the straw yield in dt/ha, average value taken from a crop rotation over a four-year period from 1981 to 1992 (average value comparisons refer in each case to only one crop rotation)

gen. Ein ständiges Lockern mit dem Grubber (bei den verschiedenen Arbeitstiefen) verminderte den Strohertrag um drei bis vier Prozent. Bei ausschließlicher Fräsebearbeitung fiel die anfallende Strohmenge parallel zum Kornertrag beinahe um 10 % ab. In der zweiten Rotation deckten sich die Bodenbearbeitungseinflüsse überwiegend – aber auf höherem Ertragsniveau – mit den Werten aus den ersten Prüffahren. Mit zunehmender Versuchsdauer (1989 bis 1992) kam es bei reduzierter Bearbeitung zu einer bereits meßbaren Veränderung des Gesamtporenvolumens im Hauptwurzelbereich (LIEBHARD 1994). Dies führte bei Verminderung zu einer trendmäßigen Senkung der Strohproduktion. Die höchsten Stroherträge wurden auf den Pflugparzellen mit 24 und 30 cm Bearbeitungstiefe erreicht. Geringfügig weniger konnte auf den flach gepflügten Parzellen (17 cm Bearbeitungstiefe) und bei der Kombination Fräse und Pflug geerntet werden. Die Tiefenlockerung mit dem Grubber führte mit abnehmender Bearbeitungstiefe zu einer Verminderung von 7,0 bis 8,2 %. Bei ausschließlicher Fräsebearbeitung reduzierte sich der Strohertrag sogar um 16,0 bis 17,0 %.

Tabelle 7

*Strohertrag in dt/ha bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung von 1981 bis 1992*  
*Analysis of variance for the straw yield in dt/ha after different primary tillage methods*  
*from 1981 to 1992*

	FG	DQ	F-Wert
Wiederholung	3	0,143	
Bodenbearbeitung	7	351,174	228,99***
Fehler 1	21	1,154	
Erntejahr (Rotation)	9	412,789	316,55***
Rotation	2	1.069,417	820,09***
Fehler 2	33	1,304	
Erntejahr (Rotation)×Bodenbearbeitung	63	16,756	14,78***
Rotation×Bodenbearbeitung	14	15,973	14,09***
Rest	231	1,114	

#### 4. Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß die unterschiedliche Primärbodenbearbeitung und Saat bereits die Embryonalwurzelbildung (Werte nicht angeführt) und damit die Keimpflanzenzahl beeinflusst, die sich während des gesamten Jugendwachstums und bis zum Abschluß der Kornfüllung auswirkt. In den Fräseparzellen kam es im Vergleich zu den übrigen Bearbeitungsvarianten zu einem stärkeren kapillaren Hub aus dem unteren unbearbeiteten Horizont und dadurch zu einer früheren und gleichmäßigeren Wasserversorgung der quellenden und keimenden Samen. Die Versorgungsleistung der bereits im Jugendstadium angelegten Wurzeln ist von größerer Bedeutung, und sie sind meist auch langlebiger als vielfach angenommen, wie es Arbeiten auf anderen Standorten von ERDMANN (1988), BOHNE (1991 b) und DANNOWSKI (1992) zeigen.

Die signifikanten Unterschiede in der Keimpflanzenzahl pro m<sup>2</sup> weisen nach langjähriger flacher pflugloser Bodenbearbeitung auf dem mittelschweren Boden mit hohem Schluffanteil auf ungünstige Boden- und Keimwachstumsbedingungen hin. Eine Verringerung der Aufgangsdichte in Prüfgliedern ohne Pflugbearbeitung wurde auch von BLANK und PETELKAU (1988) festgestellt. Die Verminderung der Pflanzenzahl war bei der hohen Saatstärke aber nicht so

groß, daß für einen standortüblichen Ertrag die notwendige Anzahl von ährentragenden Halmen/m<sup>2</sup> (erster oder zweiter Ordnung) unterschritten wurde.

Der meist günstige Witterungsverlauf im Frühjahr führte zu einer ausreichenden Bestockung und zu einer kräftigen Jungpflanzenentwicklung. Das Ährenschieben erfolgte mit zunehmender Bearbeitungstiefe mit einer Verspätung von zwei bis zu sieben Tagen. Die Pflanzen auf den Fräseparzellen erreichten jeweils als erste das zweite Halmknotenstadium, es folgte der Bestand auf den Pflugparzellen mit 17 cm tiefer Bearbeitung und den Grubberparzellen mit 17 und 24 cm Bearbeitungstiefe. Den Abschluß bildeten die Pflanzen auf den Pflugparzellen mit 24 und 30 cm sowie den Grubberparzellen mit 30 cm Bearbeitungstiefe.

Das bei langjähriger reduzierter und flacher Primärbodenbearbeitung entstandene verminderte Grobporenvolumen und die geringere Aggregatstabilität behinderten ein starkes Wurzelwachstum und die vollständige Erschließung des Bodens in einer Tiefe von 20 bis 40 cm. Die vorliegenden Ergebnisse lassen trendmäßig erkennen, daß je nach Dauer des Bearbeitungsverfahrens bzw. der Bearbeitungstiefe eine Abnahme bei der *Anzahl der ährentragenden Halme* erfolgt. Mit der Reduzierung des für den Kornertrag entscheidenden Parameterwertes bei andauernder Festbodenbewirtschaftung werden frühere Erkenntnisse bestätigt, wonach der Weizen auf verdichtetem Boden trotz ausreichendem Standraum-, Wasser- und Nährstoffangebot mit Einschränkungen der Ährenzahl reagiert (ROGASIK 1988, GEISLER 1988, KREUZ und HAMANN 1991).

Die Ergebnisse bestätigen den komplexen Charakter der möglichen Reaktionen der Weizenpflanze auf Veränderungen im Boden durch die unterschiedliche Primärbodenbearbeitung. Sowohl die Zahl der ährentragenden Halme als auch das Tausendkorngewicht wird von den wesentlichen Strukturparametern beeinflusst. Nach MÜLLER (1993) sind für die Ausbildung der Einzelkornmasse bzw. den Ertrag wenigstens zwei Faktorenkomplexe verantwortlich. Je mehr sich die Ertragsstrukturelemente im Optimalbereich befinden, umso weniger wird das natürliche Kompensationsvermögen der Pflanzen beansprucht und die Ertragshöhe beeinträchtigt (AUFHAMMER 1986, MÜLLER et al. 1991). Wenn langfristig die Ertragsstabilität gesichert werden soll, dann müssen die Strukturbedingungen des Bodens sowohl im Bearbeitungshorizont als auch unter der Bearbeitungsgrenze einen hohen Feldaufgang und gute Wurzelwegsamkeit aufweisen. Dadurch ergibt sich auch der unmittelbare Zusammenhang zwischen der multiplen Funktion der einzelnen Bodenkennzahlen, die in früheren Arbeiten angeführt sind (LIEBHARD 1993, 1994, LIEBHARD et al. 1994). Die Kombination Fräse und Pflug, das standortübliche Pflügen und Grubbern erzeugen im Vergleich zu flachgründigem Grubbern und ausschließlichem Fräsen am untersuchten Standort eine ausreichende Heterogenität von dichten und lockeren Strukturen, sodaß sich die Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens nicht negativ auswirkt. Eine durch die Bodenbearbeitung erreichte „sekundäre Aggregatstabilität“ ist zwar nicht der inneren Auflockerung wie bei der Lebendverbauung gleichzusetzen (MEYER 1985), aber für die nachfolgende Kultur Winterweizen meistens ausreichend, wie es die angeführten Ergebnisse zum Ausdruck bringen und es mehrfach beschrieben wurde (ENTZ und FOWLER 1988, CLAUPEIN 1992, SOMMER 1992).

Die in der Zeit von 1981 bis 1992 in drei Rotationen geernteten *Kornerträge* zeigen ähnlich große Jahresschwankungen, wie sie auch bei Dauerversuchen auf anderen Standorten gegeben sind (GEISLER 1988, KÖHN und CAESAR 1988, WILDENHAYN und BAEUMER 1988, DAO und NGUYEN 1989, UNGER und FULTON

1990, KÄMPF und MOHN 1990, CLAUPEIN 1992). Vergleicht man die Erträge über die zwölf Jahre, so ergibt sich im Mittel der Jahre zwischen dem günstigen Bearbeitungsverfahren in der Kombination Fräse und Pflug gegenüber den Dauerfräseparzellen – bei gleicher Saatbestellung – ein Mehrertrag von ca. 7,7 dt/ha. Bei standortüblich tiefer Bearbeitung auf 24 cm werden mit Pflug und Grubber annähernd gleich hohe Erträge geerntet. Diese Tendenz wurde mehrfach bestätigt (GOLISCH 1984, SCHREIBERHUBER 1987).

Regressionsanalytische Untersuchungen zur Ertragsbildung des Winterweizens zeigten, daß die Krümelstabilität und der Anteil der Gesamtporen in der Krume in der Tendenz für die Höhe und die Stabilität des Kornertrages entscheidend sein könnten. Die am Versuchsstandort ab der dritten Fruchtfolgerotation höheren Erträge auf den Pflug/Fräse- und den Pflugparzellen sind wahrscheinlich auf die höhere Aggregatstabilität und auf das höhere Porenvolumen zurückzuführen, obwohl bei der statistischen Untersuchung keine Signifikanzen festgestellt werden konnten. Mit dem höheren Gesamtporenvolumen und dem höheren Grobporenanteil war eine günstigere Bodenwasserführung gewährleistet. Die Jahre mit weniger als 900 mm Niederschlag wiesen am angeführten Standort einen höheren Kornertrag auf.

Mit zunehmenden Werten bei den Ertragskomponenten (Zahl der ährentragenden Halme/m<sup>2</sup> und Tausendkorngewicht in g) stieg in allen drei Fruchtfolgerotationen der Kornertrag an.

Das gegen die Erwartung frühe Reagieren im Ertragsrückgang auf eine zunehmende Schadverdichtung läßt bei Weizenpflanzen auf ein geringeres als meist angenommenes Kompensationsvermögen schließen. Für die Ertragseinbußen auf verdichteten Böden in diesem Ausmaß werden vorwiegend eine verminderte N-Mineralisation, höhere Denitrifikationsverluste und die ungenügende Stickstoffversorgung verantwortlich gemacht, was sich auch mit Ergebnissen von HAUNZ et al. (1992) und FISCHBECK et al. (1992) deckt. Ein teilweiser Ausgleich könnte durch höhere Düngergaben, im besonderen durch Stickstoff, erfolgen (GEISLER 1988, ROGASIK 1988). Als weitere wesentliche Ursache für die Ertragsverminderung ist nach BOHNE (1991 b) die Konkurrenz um Sauerstoff und Wasser sowie die verminderte Nitrifikation (BRODER et al. 1984) im effektiven Durchwurzelungsbereich anzuführen. In den trockeneren Jahren war die Ertragsdifferenzierung jeweils höher. Die bessere Aggregatstabilität und der höhere Mittel- und Grobporenanteil im Bearbeitungshorizont bewirkten in den Pflug- und tiefgegrubberten Parzellen eine höhere Wasserentnahme bis auf eine Bodentiefe von 50 cm (LIEBHARD et al. 1994). Auf den Dauerfräse- und den flachgründig mit dem Grubber bearbeiteten Parzellen konnten die Pflanzen den verdichteten Horizont unter der Bearbeitungsgrenze nicht mehr erschließen. Die geringere Wasserausnutzung im mächtigen Dichtlagerungshorizont ab einer Bodentiefe von 15 bis 20 cm wurde durch den wesentlich höheren Bodenwasservorrat nach Vegetationsende mehrfach nachgewiesen (WERNER 1988). Ergebnisse aus Gefäßversuchen mit einem tonreichen Boden zeigen in Übereinstimmung, daß dazwischenliegende, schwer durchwurzelbare Bereiche zu einer ungleichmäßigen Erschließung und geringeren Wasserausnutzung aus der Tiefe führen (BOHNE und HARTGE 1990).

Wegen der Komplexität der angeführten bodenphysikalischen Kennzahlen kann derzeit die negative Auswirkung nicht vorausberechnet werden, da bei anderen Bodenverhältnissen das Durchwurzelungsvermögen der Weizenpflanzen ausreichend sein kann. Zusätzlich wird die Schätzung durch sich kurzfristig ändernde pflanzenverfügbare Bodenwasservorräte erschwert. Erst weitere

umfassende Untersuchungen und die Erstellung von Wachstums- und Ertragsmodellen mit dem Einbau spezieller bodenphysikalischer Kennzahlen werden eine ausreichende Bewertung ermöglichen.

## 5. Schlußfolgerung

Der Langzeitversuch auf mittelschweren Böden im semihumiden Ackerbau-gebiet ermöglicht die Beurteilung der Auswirkungen von unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren bei verschiedenen Arbeitstiefen auf Pflanzenwachstum, Ertragsleistung und deren Stabilität.

Obwohl in einem Großteil der Jahre innerhalb der drei Fruchtfolgerotationen bei flacher pflugloser Bearbeitung im verdichteten Boden ein verminderter Feldaufgang und eingeschränktes Wurzelwachstum feststellbar war, leitet sich aus den Ertragsergebnissen die Folgerung ab, daß auf dem günstigen Ackerstandort Winterweizen im Gegensatz zu anderen Kulturen (Körnermais und Zuckerrübe in Bearbeitung) doch eine beschränkte Toleranz gegenüber schadverdichteter Bodenstruktur im unteren Krumbereich aufweist. In den Versuchen zeigt sich, daß die Lockerungstiefe dem kulturpflanzenspezifischen unterschiedlichen Bedarf angepaßt werden soll und daß bei den flachwurzelnden Getreidearten mit einer flacheren Bearbeitung als bisher standortüblich das Auslangen gefunden werden kann. Die Ergebnisse zeigen weiters, daß sowohl für einen optimalen Kornertrag als auch für die Erhaltung einer günstigen Struktur innerhalb der geprüften vierfeldrigen Fruchtfolge (zu den tieferwurzelnden Kulturarten) ein ein- bis zweimaliges Lockern bzw. Wenden des Bodens auf ca. 24 cm Tiefe mit systemkonformen Geräten notwendig ist. Hohe Weizenerträge sind nur auf der Basis hoher Sortenleistungen und bedarfsgerechter Kulturmaßnahmen erreichbar. Sie können im Vergleich zu anderen Produktionsmaßnahmen auch durch eine unterschiedliche Primärbodenbearbeitung deutlich beeinflußt werden.

## Danksagung

Herrn Ökonomierat Albert SCHREIBERHUBER und Herrn Dr. Alfred SCHREIBERHUBER danke ich für die langjährige Bereitstellung des Feldes und für die technische Durchführung des Versuches. Weiters danke ich Herrn o. Prof. Dr. H. STÜTZEL für die Beratung bei der statistischen Auswertung des Versuches.

## Literatur

- ALTEMÜLLER, H. J., 1985: Der Gefügezustand als Kriterium für Funktion und Güte des Bodens in der BRD. Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen, Stuttgart.
- AUFHAMMER, W., 1986: Zur Bedeutung der Kompensationsfähigkeit eines Weizenbestandes. Kali-Briefe (Büntehof) 18 (5), 357-370.
- BAEUMER, K., 1984: Auswirkungen langjähriger Minimalbodenbearbeitung. Arb. DLG 179, 98-113.
- BAUCHHENSZ, J., 1991: Regenwurmtaxozönosen auf Ackerflächen unterschiedlicher Düngungs- und Pflanzenschutzintensitäten. Landwirtschaftliches Jahrbuch 68, 335-354.
- BAUMGARTL, T. and R. HORN, 1991: Effect of aggregate stability on soil compaction. Soil and Tillage Research 19, 203-213.
- BLANK, B. und H. PETELKAU, 1988: Einfluß differenzierter Bodenbearbeitung zu Winterroggen und Ölrettich-Zwischenfruchtbau in einer Getreidefruchtfolge auf die Lagerungsdichte eines anlehmigen Sandbodens sowie deren Wirkung auf pflanzenbauliche Parameter und den Ertrag. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 32, 601-609.
- BOHNE, H., 1988: Neue Aspekte der Bedeutung des Bodengefüges für die Durchwurzelung des Bodens und die Ausnutzung von Wasser und Nährstoffen durch die Wurzel. Kali-Briefe (Büntehof) 19, 325-334.

- BOHNE, H., 1991 a: Der Einfluß künstlicher vertikaler Grobporen in einer verdichteten Bodenmatrix auf das Wachstum von Winterweizen. I. Wachstum von Winterweizen auf einer Parabraunerde aus Löß. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154, 27–31.
- BOHNE, H., 1991 b: Der Einfluß künstlicher vertikaler Grobporen in einer verdichteten Bodenmatrix auf das Wachstum von Winterweizen. II. Wachstum von Winterweizen auf einem primären Pseudogley. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154, 63–67.
- BOHNE, H. und K. H. HARTGE, 1990: Die Bedeutung vertikaler Grobporen für die Ausnutzung von Wasser und Ca sowie K in horizontaler Richtung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 153, 11–14.
- BRESSON, L. M. and C. ZAMBAUX, 1990: Micromorphological study of compaction induced by mechanical stress for a dystrochreptic Fragiudalf. *Soil Micromorphology. A basic and applied science. Proceedings of the VIIIth International Working Meeting of Soil Micromorphology*, San Antonio, Texas, Elsevier, Amsterdam.
- BRODER, M. W., J. W. DORAN, A. G. PETERSON and C. R. FENSTER, 1984: Fallow tillage influence on spring populations of soil nitrifiers, denitrifiers and available nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 1060–1067.
- CANARACHE, A., 1990: Factors and indices regarding excessive compactness of agricultural soils. *Soil and Tillage Research* 19, 145–164.
- CLAUPEIN, W., 1992: Einfluß langjährig reduzierter Bodenbearbeitung auf die Ertragsbildung verschiedener Feldfrüchte. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 5, 87–91.
- DANNOWSKI, M., 1992: Das Penetrationsvermögen von Wurzeln unterschiedlicher Roggen- und Triticalegenotypen in Abhängigkeit von der Bodenlagerungsdichte. *J. Agronomy & Crop Science* 168, 169–180.
- DAO, T. H. and H. T. NGUYEN, 1989: Growth response of cultivars to conservation tillage in a continuous wheat cropping system. *Agron. J.* 81, 923–929.
- DIEZ, T., J. KREITMAYR und H. WEIGELT unter Mitarbeit von J. BAUCHHENSZ, T. BECK und H. BORCHERT, 1988: Einfluß langjähriger pflugloser Ackerbewirtschaftung (System HORSCH) auf Pflanzenwachstum, Wirtschaftlichkeit und Boden. *Bayer. Landwirtschaftl. Jahrb.* 65, 789–812.
- EHLERS, W., 1991: Wirkung von Bearbeitungssystemen auf gefügeabhängige Eigenschaften verschiedener Böden. *Berichte über Landwirtschaft*, SH 204, 118–137.
- EHLERS, W., U. KÖPKE, F. HESSE and W. BÖHM, 1983: Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Tillage Research* 3, 261–275.
- ENTZ, M. H. and D. B. FOWLER, 1988: Critical stress periods affecting productivity of no-till winter wheat in western Canada. *Agronomy Journal* 80, 987–992.
- ERDMANN, B., 1988: Anpassungen von Weizenkeimpflanzen an Sauerstoffmangel im Wurzelbereich. *Colloquia Pflanzenphysiologie HU Berlin* 12, 21–26.
- FISCHBECK, G., J. DENNERT und R. MÜLLER, 1992: Untersuchungen zur Verwertung des Stickstoffes in der oberirdischen Biomasse von Winterweizen-Feldbeständen bei unterschiedlicher Höhe und Verteilung der mineralischen N-Düngung. *Landwirtschaftliches Jahrbuch* 69, 131–148.
- FREDE, H.-G., 1990: Gestaltung und Funktion von Porensystemen unter dem Einfluß der Landbewirtschaftung. *Mitt. d. Österr. Bodenkdl. Ges.* 42, 57–70.
- FREDE, H. G. und S. GÄTH, 1993: Bewertungskriterien für Bodenbearbeitungssysteme. *BL Journal* 3, 119–122.
- GEISLER, 1988: Einfluß der N-Düngung auf die Ertragsbildung von Winterweizen in Fruchtfolgen mit unterschiedlichem Halmfruchtanteil (Dauerversuch 1971–1987). *Ber. Ges. Pflanzenbauwiss.* 1, 183–203.
- GOLISCH, G., 1984: Bodenbearbeitung heute und morgen. *Praktische Landtechnik* 37, 45–47.
- HÅKANSSON, I., 1990: Soil compaction control-objectives, possibilities and prospects. *Soil technology* 3, 231–239.
- HÅKANSSON, I., W. VOORHEES and H. RILEY, 1988: Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. *Soil and Tillage Research* 11, 239–282.
- HAUNZ, F. X., F. X. MAIDL und G. FISCHBECK, 1992: Auswirkungen von Bodenverdichtungen auf die Dynamik von Boden- und Düngerstickstoff unter Winterweizen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 155, 129–134.
- HELAL, H. M., 1991: Bodengefüge, Wurzelentwicklung und Wurzelfunktionen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154, 403–407.
- HORN, R., C. JOHNSON, H. SEMMEL, R. SCHAFFER und M. LEBERT, 1992: Räumliche Spannungsmessungen mit dem Stress State Transducer (SST) in ungesättigten aggregierten Böden – theoretische Betrachtungen und erste Ergebnisse. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 155, 269–274.

- HRUBY, J. and B. PROCHAZKOVA, 1991: Winter wheat yield and quality in relation to different cultural practices. *Rostlinna-Vyroba* 37, 481-490.
- IDE, G. and G. HOFMAN, 1990: The influence of subsoiling a plough-sole on the yield of agricultural crops. *Soil Technology* 3, 259-268.
- JOHANSSON, W., 1988: Physical soil properties, plant production and environment. Swedish Univ. Agric. Sci., Uppsala, Research Information Centre, Report 136, 11-27.
- KÄMPF, R. und R. MOHN, 1990: Integrierter Pflanzenbau – Voraussetzungen und Wirtschaftlichkeit, dargestellt an 8jährigen Winterweizenversuchen. *Landwirtschaftliches Jahrbuch* 67, 807-822.
- KÖHN, W. und K. CAESAR, 1988: Langzeituntersuchungen zur Pflugtiefe, Kalkung, Stallmistdüngung sowie Fruchtfolge in Berlin-Dahlem. *Ber. Ges. Pflanzenbauwiss.* 1, 105-125.
- KREUZ, E. und H. J. HAMANN, 1991: Bewirtschaftungsmaßnahmen im Silomaisanbau. *Die Bodenkultur* 42, 147-155.
- KUNDLER, P. und M. SMUKALSKI, 1988: Ertragswirkung von Beregnung, Bodenbearbeitung, N-Düngung und organischer Düngung auf lehmigem Sandboden in einem achtjährigen Feldversuch. *Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd.* 32, 161-169.
- 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 Lagerungsdichte, Porenvolumen und Porengrößenverteilung von Ackerböden im oberösterreichischen Zentralraum (Teil 3). *Die Bodenkultur* 45, 125-138.
- LIEBHARD, P., J. EITZINGER und E. KLAGHOFER, 1994: Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf Infiltration und Bodenwasservorrat im oberösterreichischen Zentralraum (Teil 4). *Die Bodenkultur* 45, 297-311.
- LIEBHARD, P., J. EITZINGER und E. KLAGHOFER, 1995: Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf Aggregatstabilität und Eindringwiderstand im oberösterreichischen Zentralraum (Teil 5). *Die Bodenkultur* 46, 1-18.
- LIPIEC, J., I. HÅKANSSON, S. TARKIEWICZ and J. KOSSOWSKI, 1991: Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. *Soil and Tillage Research* 19, 307-317.
- MAIDL, F. X., R. MÜLLER, J. DENNERT, W. HUTTERER und G. FISCHBECK, 1988: Wirkung differenzierter Bodenbearbeitung auf die Ertragsbildung von Getreide – dargestellt in einem langjährigen Dauerversuch. *Ber. Ges. Pflanzenbauwiss.* 1, 167-182.
- MAUERSBERGER, V. und W. GRAUL, 1990: Ergebnisse reduzierter strukturschonender Bodenbearbeitung zu Sommergerste. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd.* 34, 625-634.
- 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.
- MÜLLER, J., 1993: Stoffbildung, CO<sub>2</sub>-Gaswechsel, Kohlenhydrat- und Stickstoffgehalt von Winterweizen bei erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration und Trockenstreß. *J. Agronomy & Crop Science* 191, 217-235.
- MÜLLER, S., H. ANSORGE und I. WEIGERT, 1991: Einfluß der Stickstoffdüngung auf Ertrag, Ertragsstruktur und N-Verwertung von Winterweizen-Möglichkeiten und Grenzen der Bestandesführung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 154, 115-119.
- PABIN, J., J. STENKIEWICZ and S. WLODEK, 1991: Effect of loosening and compaction on soil physical properties and sugar beet yield. *Soil and Tillage Research* 19, 345-350.
- PAGLIALI, M., 1990: Micromorphometric and micromorphological investigations on the effect of compaction by pressures and deformations resulting from tillage and wheel traffic. *Soil and Tillage Research* 16, 31-38.
- PERFECT, E., B. D. KAY, W. K. P. VAN LOON, R. W. SHEARD and T. POJASOK, 1990: Factors Influencing Soil Structural Stability within a Growing Season. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 173-179.
- 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., J. REICH, D. WERNER und C. MÄUSEZAHN, 1988: Ergebnisse zur Krumbasislockerung auf Löß- und Berglehmsubstraten. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd.* 32, 23-30.
- PITTELKOW, U., K. JOHN und P. KÖRBS, 1988: Über die Auswirkungen von Brücken zonen in Krumbasisverdichtungen auf Durchwurzelung und Wasserentzug bei differenzierter Bodenfeuchte und -dichte. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd.* 32, 387-395.

- ROGASIK, J., 1988: Die Ertragshöhe von Winterweizen in Abhängigkeit von Bodenfruchtbarkeitszustand, Vorfruchtstellung und organischer Düngung. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 32, 731-739.
- SCHREIBERHUBER, A., 1985: Einfluß verschiedener Tiefen der Primärbearbeitung des Bodens bei einer 4gliedrigen Fruchtfolge im semihumiden Klimagebiet auf Ertrag und Kosten. Dissertation Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- SCHREIBERHUBER, A., 1987: Minimalbestelltechnik und Bodenschonung. Praktische Landtechnik 40, 282-285.
- SCHRÖDER, D., 1986: Zweck und Ökonomik von Tieflockerungsmaßnahmen. Kali-Briefe (Büntehof) 18, 127-142, Hannover.
- SOMMER, C., 1992: Vorteile von Mulchsaat und schonende Bodenlockerung. Wintertagung 1992, Österreichische Gesellschaft für Land- und Forstwirtschaftspolitik, Wien, 64-71.
- SOMMER, C., M. SCHWARZ und K. H. HARTGE, 1989: Zum Einfluß von Bodendichte und Bodenwasserpotential auf die Wasseraufnahme von Kleepflanzen. Z. für Kulturtechnik und Landentwicklung 30, 241-249.
- SPLETE, G., W. ZECH, V. RUTUNGA and K. STEINER, 1992: Relationships between soil parameters and the growth of wheat plants on an acid soil in Rwanda. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 155, 313-318.
- STEINECK, O., 1984: Ergebnisse von Bodenbearbeitungsversuchen in Österreich. Wintertagung 1984, Gesellschaft für Land- und Forstwirtschaftspolitik, Wien, 49-63.
- TAYLOR, H. M and G. S. BRAR, 1991: Effect of soil compaction on root development. Soil and Tillage Research 19, 111-119.
- UNGER, P. W. and L. J. FULTON, 1990: Conventional- und No-Tillage Effects on Upper Root Zone Soil Conditions. Soil and Tillage Research 15, 337-344.
- WAGGER, M. G. and H. P. DENTON, 1989: Tillage effects on grain yields in a wheat, double-crop soybean and corn rotation. Agronomy Journal 81, 493-498.
- WERNER, D., 1988: Einfluß des physikalischen Bodenzustandes auf den Wasserentzug landwirtschaftlicher Fruchtarten. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 32, 303-310.
- WILDENHAYN, M. und K. BAEUMER, 1988: Erste Ergebnisse eines Dauerversuches zur Frage alternativer Landbausysteme. Ber. Ges. Pflanzenbauwiss. 1, 37-53.

(Manuskript eingelangt am 24. Februar 1995, angenommen am 29. Mai 1995)

Anschrift des Verfassers:

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