

Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf Ertrag und Ertragsverhalten von Körnermais (*Zea mays* L.) im oberösterreichischen Zentralraum (Teil 7)

P. Liebhard

Influence of primary tillage on yield and yield characteristics of corn (*Zea mays* L.) in the centre of Upper Austria (part 7)

1. Einleitung und Problemstellung

Im Verlauf der Intensivierung der pflanzlichen Produktion stieg die Belastung des Bodens mit ihren vernetzten Auswirkungen auf das natürliche komplexe Regulationssystem und die Umwelt. Die zum Teil negative Entwicklung ist sowohl in der oft einseitig ökonomisch begründeten Fruchtfolge als auch in den nutzungsbedingten Eingriffen zu sehen, die häufig nicht ausreichend bewertet und in ihrer Langzeitwirkung abgeschätzt werden können. Die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit ist besonders in Maisanbaugebieten wichtig, da ein Teil der Standorte nur begrenzte Möglichkeiten einer Fruchtfolgegestaltung aufweist oder die effektiv durchwurzelbare Krume von nur geringer Mächtigkeit und daher besonders erosionsgefährdet ist.

Bei hohem Ertragsniveau erhält ein Boden ohne Strukturschäden sowohl für die Sauerstoff-, Wasser- und Nährstoffbereitstellung der Pflanze als auch für das gesamte Ökosystem immer mehr an Bedeutung (BAEUMER, 1992). Durch die ständig steigenden Gewichte von Bearbeitungs- und Erntemaschinen kann es im krumennahen Unterboden zu Schadverdichtungen kommen, die die Belastbarkeit der Böden übersteigt. Wesentlich verstärkt werden die Belastungen noch durch Befahren des Bodens im feuchten, nicht tragfähigen Zustand (PITTELKOW, 1991). Im Extremfall führen solche Belastungen zu irreversiblen Verformungen (HORN et al., 1992).

Die Anforderungen des Körnermaises und die der Befahrbarkeit an die Bodenstruktur sind einander nicht ausschließende Gefügeeigenschaften (EHLERS, 1983; BOHNE,

Summary

The effects of cultivation of the top soil at various depths with either plough, field cultivator and rotary tiller on the yield performance of corn within a four-field crop rotation were examined. The experiment was carried out from 1981 to 1992 in a semi-humid climate region in Upper Austria. The type of soil is a deep medium-heavy calcium-free loose sedimentary brown earth.

The results achieved during a 12-year period of experimentation with corn demonstrated that a distinction should be made between short and long term effects. Because of favourable location conditions and the existing high cultivation intensity no significant differential effect of the cultivation method on yield performance was detected in the first four years.

The shallow ploughless tillage method used over a longer period of years in combination with a spell of bad weather during sowing season led to flooding and to a reduction of sprouting of up to 13 %. A measurable increase in soil density, a reduction of the pore volume (especially of the fraction of large pores), and a decrease of aggregate stability led to a reduced vegetative biomass production. The grain yield on the ploughed plots was about 87 dt/ha. Yield was reduced up to 17 % on the plots with diminished cultivation intensity. Under the existing soil condition high corn grain yield can be attained only by turning the soil once or twice during the crop rotation. A deepening of the plough furrow from 17 to 30 cm caused no improvement in production conditions.

Key words: Primary tillage, corn, grain yield, soil physical parameters.

Zusammenfassung

Von 1981 bis 1992 wurde im semihumiden Klimagebiet auf einem mittelschweren schluff- und tonreichen Boden (Lockersediment-Braunerde) die Auswirkung einer verschiedenen tiefen Lockerung der Krume mit Scharpflug, Tiefgrubber und Fräse in einer vierfeldrigen Fruchtfolge auf die Ertragsleistung geprüft. Nach 12jähriger Versuchsdauer sind die Ergebnisse bei Körnermais in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung, da zwischen den kurzfristigen Folgen und der Langzeitwirkung unterschieden werden muß.

Die günstigen Standortbedingungen und hohe Bewirtschaftungsintensität ließen in den ersten vier Jahren noch keine Quantifizierung eines Zusammenhanges zwischen unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung und Ertragshöhe zu. Die Veränderungen in der Ertragsleistung reichen in dieser Periode nicht aus, um sie variantenbezogen bewerten zu können.

Die längerjährige flache, pfluglose Bearbeitung führte auf dem angeführten Standort bei Schlechtwetterperioden zur Saatzeit im Keimwurzelbereich zu stauender Nässe und dadurch zu einem verminderten Feldaufgang um bis zu 13 %. Eine meßbare Erhöhung der Lagerungsdichte, eine Verminderung des Porenvolumens, im besonderen des Grobporenanteiles, und eine Verringerung der Aggregatstabilität (LIEBHARD, 1994; LIEBHARD et al., 1994; 1995) führte zu einer verminderten vegetativen Biomasseproduktion. Der Kornertrag lag in der dritten Fruchtfolgerotation (1989–1992) auf den gepflügten Parzellen bei ca. 87 dt/ha, auf den Teilstücken mit verminderter Bearbeitungsintensität fiel die Erntemenge um bis zu 17 % ab. Unter den vorgegebenen Bodenbedingungen können bei Körnermais langfristig stabile, hohe Kornerträge nur durch ein ein- bis zweimaliges Wenden des Bodens in der Fruchtfolgerotation erreicht werden. Eine Vertiefung der Pflugfurche von 17 auf 30 cm bewirkte keine Verbesserung der Produktionsbedingungen.

Schlagworte: Primärbodenbearbeitung, Körnermais, Kornertrag, bodenphysikalische Parameter.

1991; WEIGELT, 1992). Die im gesamten Wurzelraum wirkenden pflanzenphysiologischen Widerstände bei der Leitfähigkeit von Wasser und Luft beeinflussen in ähnlich hohem Maße auch die Befahrbarkeit des Bodens.

Für Mais besteht die zwingende Notwendigkeit, den Boden durch die Bearbeitungsmaßnahme in einen Zustand zu bringen, der nach der Saat optimale Voraussetzungen für eine rasche Bodenerwärmung und eine gleichmäßige Wasserzufuhr für das keimende Korn gewährleistet. Darüber hinaus soll auf humusarmen und schweren Böden nach der mechanischen Auflockerung die Wiederverdichtung im Unterboden nur sehr langsam erfolgen (BOBER, 1986; BÖTTCHER et al., 1988; SCHMIDTLEIN, 1991).

Die durch die Bodenbearbeitung verursachten Veränderungen sind quantitativ schwierig abzuschätzen, da im vernetzten Biosystem eine hohe Komplexität zwischen Boden, Witterung und Pflanzenwachstum vorliegt. Mit zunehmenden Kenntnissen von ausgewählten Bodenparametern können die Systemprozesse aber besser zugeordnet werden, auch wenn durch die Witterung oder eine sehr hohe mineralische oder organische Stickstoffdüngung ein Teil der Auswirkungen überdeckt wird. Mit der Nutzungsstrategie der integrierten Pflanzenproduktion soll unter Berücksichtigung der Grenzlage des Körnermaisbaues im östlichen Alpenvorland auf strukturinstabilen Böden – aber bei günstigen Ackerbaubedingungen – die Langzeitwirkung unter-

schiedlicher Verfahren der Primärbodenbearbeitung mit verschiedener Bearbeitungstiefe auf das Ertragsniveau und die Ertragsstabilität beurteilt werden.

2. Material und Methoden

2.1 Bodenbeschreibung und Versuchsanlage

Grundlage der Untersuchungen ist ein im Herbst 1980 in semihumider Klimlage (860 mm Jahresniederschlag) auf einer tiefgründigen, kalkfreien, pseudovergleyten Lockersediment-Braunerde angelegter Langzeitversuch bei einem vorgegebenen viergliedrigen Fruchtwechsel *Zuckerrübe – Winterweizen – Körnermais – Winterweizen* (Tab. 1). Der Oberboden ist ein mittelhumer, schwerer, schluffiger Lehm, der Unterboden besteht überwiegend aus Lehm. Der gesamte A_p -Horizont weist eine mäßige Durchlässigkeit, aber hohe Wasserspeicherfähigkeit auf. Der Pflanzenbestand wird großteils gut mit Wasser versorgt. Standort, Profil und Versuchsanlage wurden bereits in früheren Arbeiten (LIEBHARD, 1993; 1994) ausführlich beschrieben. Die Versuchsfläche (3,2 ha) besteht aus zwei Schlägen mit je acht Bearbeitungsvarianten als Block in je zweifacher Wiederholung. Die Parzellengröße (9 x 70 bzw. 9 x 135 m) ergab sich aus dem vorgegebenen Feld. Bei der jeweiligen

Datenerfassung wurden aus jeder Bearbeitungsparzelle zwei Teilstücke (3,5 x 10 m) herausgenommen.

2.2 Bodenbearbeitung und Saat

Mit drei verschiedenen Geräten und bei unterschiedlichen Bearbeitungstiefen wurden standortspezifische, praxisrelevante Primärboden-Bearbeitungsverfahren durchgeführt (Tab. 2). Dem Pflug und Grubber als gezogene Geräte wurde die zapfwellengetriebene Fräse gegenübergestellt. Neben diesen Varianten kam noch eine Kombination – vor Getreide Fräse und vor Hackfrüchten Pflug – zum Einsatz. Die Ernterückstände wurden unmittelbar nach der Ernte zur Erhaltung des bestehenden Humusgehaltes vollständig eingearbeitet.

Tabelle 2: Bearbeitungsvarianten – Feldversuch Ansfelden
Table 2: 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

Tabelle 1: Fruchtarten in den Jahren 1981 bis 1992, Bodenbearbeitungsversuch Ansfelden
Table 1: Crop species in the year 1981 to 1992, cultivation experiment Ansfelden

Fruchtfolge	Ernte-jahr	Fruchtart und Sorte	
		Schlag I (Mitterfeld Ost)	Schlag II (Mitterfeld West)
1. Rotation	1981	Körnermais LG 11	Winterweizen
	1982	Winterweizen	Zuckerrübe
	1983	Zuckerrübe	Winterweizen
	1984	Winterweizen	Körnermais LG 5
2. Rotation	1985	Körnermais LG 5	Winterweizen
	1986	Winterweizen	Zuckerrübe
	1987	Zuckerrübe	Winterweizen
	1988	Winterweizen	Körnermais LG 5
3. Rotation	1989	Körnermais LG 5	Winterweizen
	1990	Winterweizen	Zuckerrübe
	1991	Zuckerrübe	Winterweizen
	1992	Winterweizen	Körnermais DEA

Unmittelbar nach der Räumung der Vorfrucht Weizen wurde über alle Varianten einheitlich die Stoppelbearbeitung mit einer langsam rotierenden Fräse durchgeführt. Die Primärbodenbearbeitung erfolgte zwischen dem 14. Oktober und 6. November.

Im Frühjahr wurde bei günstigen äußeren Bedingungen die Saatbettbereitung mit einer Kreiselegge vorgenommen. Die Maissaat erfolgte in der Zeit vom 15. bis 24. April mit einer pneumatischen Einzelkornsämaschine bei einem Reihenabstand von 70 cm und einer Ablage in der Reihe auf 16 cm. Das entspricht einer Saatstärke von knapp 9 Körnern/m².

2.3 Düngung und Pflanzenschutz

Bezogen auf die Nettonährstoffentzüge über die Fruchtfolgerotation wurden jährlich ca. 50 kg P₂O₅ und 110 kg K₂O/ha einheitlich über den Großschlag ausgebracht. Die Stickstoffdüngung zu Mais wurde in zwei Gaben, 50 kg N/ha vor der Saat und je nach Bestandesentwicklung Anfang Juni (EC 32–36) ca. 80 kg N/ha, ausgebracht.

Die chemische Unkrautbekämpfung orientierte sich an der aufwachsenden Unkrautflora. Die Parzellen mit reduzierter Bearbeitungsintensität (Fräse und Grubber 17 cm Bearbeitungstiefe) wiesen ab der dritten Fruchtfolgerotation einen wesentlich stärkeren Unkrautbesatz, insbesondere mit Ungräsern, auf. Je nach Leitunkräutern mußten die Parzellen mit unterschiedlichen Mitteln (Wirkstoff) behandelt werden. Alle Dünger- und Herbizidmengen sowie deren Anwendungszeitpunkte richteten sich nach der gängigen Praxis.

2.4 Versuchsauswertung

Die Ergebnisse der „Bearbeitungsvarianten“ wurden als Split-Plotanlage ausgewertet. Zur Auswertung des Datenmaterials kamen die Varianz-, Kovarianz-, Regressionsanalyse und der Bonferroni-Holm-Test für multiple Mittelwertvergleiche zur Anwendung. Bei der Darstellung der Ergebnisse der Mittelwertvergleiche unterscheiden sich Mittelwerte mit gleichem Buchstaben nur durch Zufall. Die mathematisch-statistische Verrechnung der Untersuchungsergebnisse erfolgte mit dem Programmpaket SAS (Statistical Analysis System) und mit speziellen Programmen des Institutes für Mathematik und Angewandte Statistik der Universität für Bodenkultur Wien.

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

3. Ergebnisse

3.1 Einfluß der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf die Bestandesdichte und das Pflanzenwachstum

Die Primärbodenbearbeitung führte auf den Grubber- und im besonderen auf den flach bearbeiteten Grubber- bzw. Fräseparzellen im Keimwurzelbereich zu ungünstigen Bedingungen und in der Folge zu einer geringeren Aufgangsdichte. Ein Teil der gekeimten Samen starb aufgrund wesentlich höherer Bodennässe ab. Eine ungünstige Nachfruchtwirkung kann ausgeschlossen werden, da jeweils vor Mais Winterweizen als Vorfrucht stand. Die Anzahl der normal entwickelten Keimpflanzen entsprach etwa der Pflanzenzahl/m² bei der Ernte. Die hohen Wechselwirkungen Bodenbearbeitung x Jahr waren einerseits auf die besonderen Witterungsverhältnisse und andererseits mit zunehmender Versuchsdauer auf die steigenden Unterschiede im Feldaufgang zwischen den Bearbeitungsvarianten zurückzuführen (Tab. 3).

In der ersten Fruchtfolgerotation war die Zahl der aufgelaufenen Pflanzen in allen Parzellen hoch, zwischen 8,5 und 8,8 pro m² (Abb. 1). Innerhalb der Varianten war eine signifikante Verminderung auf den Fräse-Pflugparzellen bzw. den flach gegrubberten und Fräseparzellen gegenüber den gepflügten Parzellen und standortüblich und tief gegrubberten Teilstücken feststellbar. Bereits in der zweiten Pe-

Tabelle 3: Varianzanalyse über Bearbeitungs-, Rotations- und Jahreseffekte auf die Zahl der Pflanzen pro m² bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung von Körnermais von 1981 bis 1992

Table 3: Analysis of variance for the number of plants per m² with different primary tillage methods from 1981 to 1992

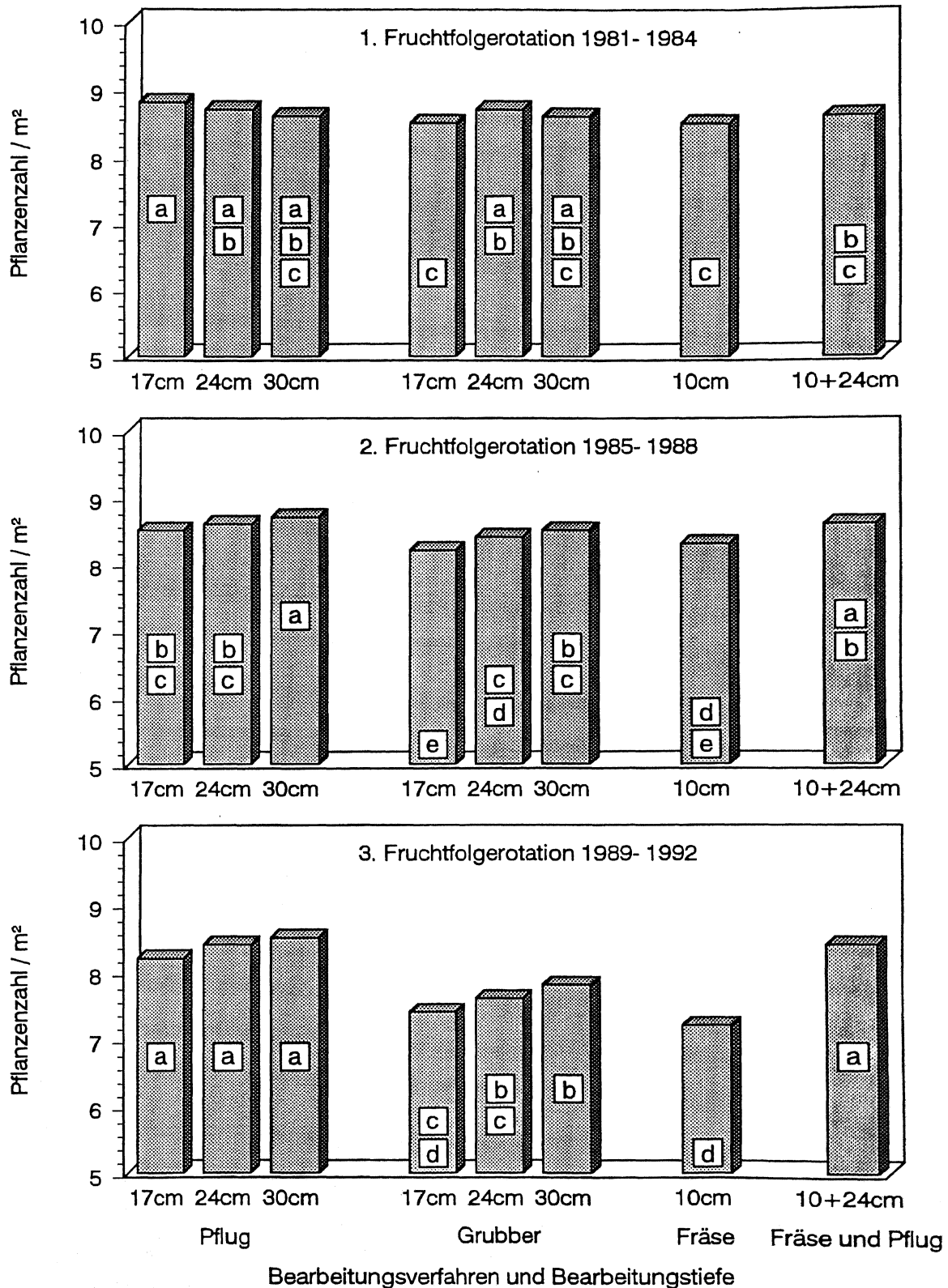
	FG	DQ	F-Wert
Wiederholung	3	0,024	
Bodenbearbeitung	7	1,416	75,17***
Fehler 1 (Wh x Bobe)	21	0,019	
Erntejahr (R)	3	0,629	23,16***
Rotation	2	8,269	304,58***
Fehler 2 (Ej x Wh)	15	0,027	
Erntejahr (R) x Bodenbearbeitung	21	0,055	2,61**
Rotation x Bodenbearbeitung	14	0,506	24,14***
Rest	105	0,021	
	191		

riode war die Differenzierung stärker, der Feldaufgang lag zwischen 8,2 und 8,7 Pflanzen/m². Noch wesentlich höher wurden die Unterschiede in der dritten Fruchtfolgerotation (zwischen 1989 und 1992). Die Aufgangsdichte reduzierte sich von den gepflügten Parzellen gegenüber den Dauerfräseparzellen um bis zu 1,3 Pflanzen pro m². Eine Verminderung der Bearbeitungstiefe führte in den Grubberparzellen zur Reduktion der Jungpflanzenzahl. Die niedrigste Pflanzenzahl mit ca. 7,15 pro m² gab es auf den Dauerfräseparzellen. Die Variante Fräsebearbeitung vor Getreide und Pflügen vor Mais war den dauergepflügten Parzellen gleichwertig.

Die Maispflanzen reagierten auf den flach bearbeiteten Grubber- und Fräseparzellen mit einem verminderten vegetativen Wachstum (Werte nicht angeführt). Auch der Übergang in die generative Phase unterlag einer optisch auffälligen Entwicklungsverzögerung. Bei den verwendeten frühen und mittelfrühen Sorten (Reifezahlen 200 bis 230) erstreckte sich der Beginn des Rispenstehens auf einen Zeitraum von vier Tagen: einerseits begann das Rispenstehen in der Reihenfolge Pflug – Grubber – Fräse, andererseits trat eine Verzögerung mit abnehmender Bearbeitungstiefe ein. Die Maispflanzen auf der 30 cm tief gepflügten Variante waren die ersten und jene auf den Dauerfräseparzellen die letzten, bei denen das Rispenstehen einsetzte.

Der in all den Prüffahren ähnlich hohe Wassergehalt des Kornes zur Erntezeit ist auf die günstige Witterung während der Kornfüllungs- und Abreifephase zurückzuführen. Die Ernte erfolgte bereits Ende September bis spätestens 18. Oktober bei einem Kornfeuchtegehalt von 33 bis 36 %, wobei zwischen den einzelnen Varianten kein nennenswerter Unterschied festgestellt werden konnte.

Abbildung 1: Effekt der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf die Pflanzenzahl/m² bei Körnermais innerhalb der Fruchtfolgerotation (Mittelwert über zwei Jahre) von 1981 bis 1992 (Mittelwertvergleiche beziehen sich jeweils nur auf eine Fruchtfolgerotation)
 Figure 1: Effect of different primary tillage methods on the sprouting density/m² for corn (average value over two years) from 1981 to 1992 (average value comparisons refer in each case to only one crop rotation)



3.2 Einfluß der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf den Kornertrag

Die Ertragsergebnisse von 1981 bis 1992 zeigen, daß bei 25 % Maisanteil in der vierfeldrigen Fruchtfolge der Korn-ertrag unter den angeführten Standortbedingungen von der Primärbodenbearbeitung eindeutig beeinflusst wurde (Abb. 2). Die relativ geringen Abweichungen der mittleren Kornerträge in den einzelnen Jahren mit Unterschieden von höchstens 11,7 dt/ha trotz äußerst unterschiedlichen Witterungsverlaufes dürften auf die gleichmäßig tiefgründigen Böden und die hohe Bewirtschaftungsintensität zurückzuführen sein. Während der 12 Versuchsjahre kam es bei Verringerung der Bearbeitungsintensität zu einer zunehmend stärkeren Differenzierung und steigenden Kornertragsabnahmen, wodurch auch die hohe Wechselwirkung Erntejahr x Bodenbearbeitung begründet ist (Tab. 4).

Tabelle 4: Varianzanalyse über Bearbeitungs-, Rotations- und Jahreseffekte auf den Kornertrag in dt/ha bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung von 1981 bis 1992

Table 4: 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	16,130	
Bodenbearbeitung	7	215,867	34,26***
Fehler 1 (Wh x Bobe)	21	6,300	
Erntejahr (R)	3	480,333	85,50***
Rotation	2	644,631	114,75***
Fehler 2 (Ej x Wh)	15	5,618	
Erntejahr (R) Bodenbearbeitung	21	59,013	10,64***
Rotation x Bodenbearbeitung	14	68,457	12,34***
Rest	105	5,546	

In der ersten Fruchtfolgerotation lagen die Unterschiede knapp über der Signifikationsschwelle (Abb. 2). Die höchsten Erträge wurden auf den 17 und 24 cm tief gepflügten Parzellen, auf den 24 cm tief gegrubbten und auf den Fräse-Pflugparzellen erreicht. Ein nur um etwa 2,8 % geringerer Ertrag wurde auf den Pflugparzellen mit 30 cm Bearbeitungstiefe, auf den 30 cm tief gegrubbten Parzellen und den Dauerfräseparzellen geerntet. Ca. 3,6 % niedriger war der mittlere Kornertrag auf den flach gegrubbten Parzellen.

Auch in der zweiten Rotation wurden die höchsten Kornerträge auf den gepflügten, den tiefbearbeiteten Grubberparzellen und auf den Fräse-Pflugteilstücken geerntet. Die Erträge auf den Fräseparzellen lagen nur geringfügig niedriger. Auf den 17 cm tief gegrubbten Flächen fiel die geerntete Körnermenge um ca. 4,4 % ab.

Die deutlichsten Ertragsunterschiede ergaben sich in der dritten Rotation. Die Auswirkung einiger, im Verlauf der Versuchszeit negativ veränderter, bodenphysikalischer Eigenschaften (Gesamtporenvolumen, Porengrößenverteilung, Aggregatstabilität u. a. – LIEBHARD et al., 1994, 1995, Teil 4 und Teil 5) wurde offensichtlich bestimmend. Die höchsten Kornerträge wurden erneut auf den Pflug- und den Fräse-Pflugparzellen geerntet. Bereits um 8,0 % verminderte sich der Ertrag auf den 24 und 30 cm tief gegrubbten Parzellen. Um weitere 2,2 % sank die Erntemenge bei ständig flacher Grubberbearbeitung. Zu einem Ertragsabfall von insgesamt ca. 16,9 % kam es auf den Dauerfräseparzellen.

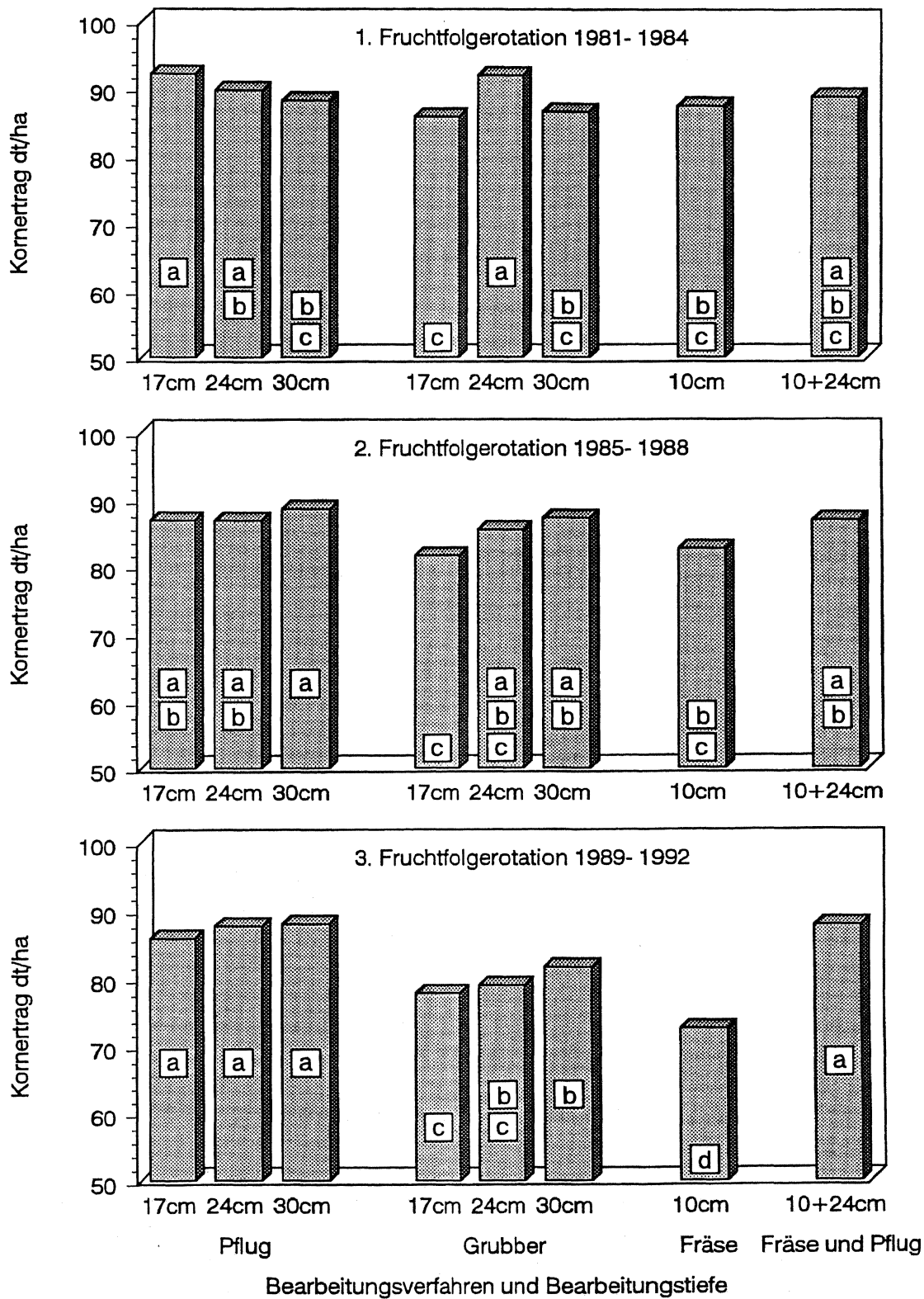
Bei der Beurteilung der Ertragsergebnisse ist zu berücksichtigen, daß mit zunehmender Versuchsdauer die Bestandesdichte auf den Parzellen mit geringerer Bearbeitungsintensität um 10,5 % zurückging. Die negativen Veränderungen der Bodenstruktur in der oberflächennahen Zone konnten durch die Bestellsaat nicht mehr beseitigt werden.

4. Diskussion

Erst im langjährigen Vergleich war die Beurteilung der Auswirkung unterschiedlicher Primär-Bodenbearbeitungsverfahren bei Körnermais möglich, da sich die flachgründige, pfluglose Bearbeitung erst nach einer achtjährigen Versuchsdauer in ihrer ertragswirksamen, negativen Auswirkung zeigte. Die Höhe des Feldaufganges als wesentliche Optimierungsgröße steht in direktem Zusammenhang mit der Primärbodenbearbeitung und dem Kornertrag, da fehlende Pflanzen nur begrenzt durch eine höhere Kornzahl, ein höheres TKG oder einen zweiten Kolben je Einzelpflanze ausgeglichen werden. Langjährige Standraumversuche von HINTERHOLZER (1988) haben im österreichischen Alpenvorland bei Sorten der Reifeklasse 200 ergeben, daß mit acht bis neun Pflanzen/m² der höchste Korn- und Stärkeertrag erzielt wird. Die am angeführten Standort im Versuchsmittel erreichte Pflanzenzahl von 8,3 Pflanzen/m² entspricht den Anforderungen, was auch der regelmäßig um ca. 10 % über dem regionalen Durchschnitt erzielte Kornertrag zeigt (WIMMER, 1992). Die nur geringen Unterschiede im Feldaufgang in der ersten Fruchtfolgerotation nach Umstellung auf eine unterschiedliche Primärbodenbearbeitung stehen in Übereinstimmung mit den Arbeiten von SCHREIBERHUBER (1985) und DIEZ et al. (1988). Durch die unterschiedliche Primärbodenbearbeitung kommt es erst nach einer längeren Versuchsdauer zu

Abbildung 2: Effekt der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf den Kornertrag in dt/ha bei Körnermais innerhalb der Fruchtfolgerotation (Mittelwert über zwei Jahre) von 1981 bis 1992 (Mittelwertvergleiche beziehen sich jeweils nur auf eine Fruchtfolgerotation)

Figure 2: Effect of different primary tillage methods on the grain yield in dt/ha for corn (average value over two years) from 1981 to 1992 (average value comparisons refer in each case to only one crop rotation)



einer deutlich ertragswirksamen Verminderung der Pflanzenzahl, da geringe Unterschiede bestimmter Bodeneigenschaften meistens durch den direkten Einfluß der aktuellen agrotechnischen Maßnahmen überdeckt werden (CROVETTO, 1990). Der Boden ist bei reduzierter Bearbeitung im Keimwurzelbereich (bis 20 cm Tiefe) dichter gelagert (LIEBHARD, 1994), und dies führt nach einer Modellberechnung von FREDE und GÄTH (1993) auch zu einer langsameren Erwärmung im Frühjahr und in der Folge zu einem verminderten Feldaufgang. Auch der höhere Pilzbefall des keimenden Samens aufgrund der höheren Menge an Ernterückständen in der Krume führt zur Verringerung der Vitalität des Keimlings (HINTERHOLZER, 1984; ZWATZ, 1990; 1994).

Ein weiterer wesentlicher Nachteil der flachgründigen pfluglosen Bearbeitung auf den mittelschweren bis schweren Ackerböden ist die verminderte Wasserableitung im Saatbett, die besonders bei Mais zu einer geringeren Aufgangsdichte führt. Eine verminderte Dränung bei pflugloser Bestellung im Ablagebereich der Samen und im Hauptwurzelraum wurde auch von KÖLLER (1985), DIEZ et al. (1988) sowie WAGGER und DENTON (1989) festgestellt. Mais reagiert auf dem angeführten Standort auf eine flache Grubber- oder Fräsebearbeitung erst nach zwei durchlaufenen Fruchtfolgerotationen mit einem verminderten vegetativen Wachstum, was sich sowohl in der Wuchshöhe wie auch im Stengeldurchmesser zeigt (Ergebnisse nicht angeführt). Die geringere Biomassebildung bleibt im Gegensatz zu den Nachwirkungen der kurzzeitig verzögerten Spitzen der Rispen (DC 53–55) bis zum Vegetationsende bestehen, wie es unter ähnlichen Bedingungen auch von DIEZ et al. (1988) nachgewiesen wurde.

Die wesentlich geänderte Ertragsentwicklung zwischen den Bearbeitungsvarianten von der ersten zur zweiten und im besonderen zur dritten Rotation weist auf die akkumulative Verschlechterung des Bodengefüges und der Wasserverfügbarkeit bei langzeitiger flacher pflugloser Bearbeitung hin. Die strukturschonenden Effekte in der Primärbodenbearbeitung bei der Kombination von „Fräsen zu Getreide und Pflügen auf mittlere Tiefe zu den Hackfrüchten“ führten auf den verdichtungsempfindlichen Böden zu gleichbleibend hohen Kornerträgen bei Mais.

Die Ertragswirksamkeit der geprüften Bearbeitungsvarianten ist eindeutig, wie sie auch unter anderen Standortbedingungen bestätigt werden (LAFITTE, 1989). Für die Ergebnisse der ersten und zweiten Fruchtfolgerotation liegt mit den von STEINECK (1984), SCHREIBERHUBER (1985), VIOLIC et al. (1989) und HILL (1990) erzielten Kornerträgen eine hohe Übereinstimmung vor. Dies gilt im wesent-

lichen auch für die Abstufung zwischen den Bearbeitungsvarianten. Auf den Pflug- und Fräse-Pflugparzellen ergaben sich um ca. 2,0 bis 4,5 dt/ha höhere Kornerträge im Vergleich zur reduzierten Bearbeitungsintensität. Diese Mehrerträge waren gerade noch signifikant. Die Ergebnisse aus den ersten acht Versuchsjahren ergaben unter anderem, daß für die Durchwurzelungsfähigkeit, dem Gesamtporenvolumen und der Porengrößenverteilung bei Mais eine im Vergleich zu Zuckerrübe wesentlich geringere Bedeutung zukommt. Auf mittleren, gut dränierten Lehm- und Lößböden kann bei einer hohen biologischen Aktivität und Auflösung der Krumenbasisverdichtung auch bei Mulchwirtschaft das Wurzeltiefenwachstum gefördert werden (EHLERS, 1992; UNGER und KASPAR, 1994).

Die am angeführten Standort ab der dritten Rotation stark unterschiedlichen Erträge weisen darauf hin, daß bei Körnermais hohe Wechselwirkungen zwischen den kurzfristigen Folgen einer reduzierten Bodenbearbeitung und einer sich verstärkenden Langzeitwirkung bestehen. Die Ertragsdifferenzen zwischen den standortüblichen (24 cm Bearbeitungstiefe) und tiefbearbeiteten Grubberparzellen (30 cm Bearbeitungstiefe) zu den gepflügten und den Fräse-Pflug-Teilstücken lagen bei 7 dt/ha, bei flacher Grubberbearbeitung erhöhten sie sich auf ca. 9 dt/ha und bei ständiger Fräsebearbeitung sogar auf fast 15 dt/ha. Eine wesentliche Ursache dieser Ergebnisse ist die Verminderung des Wurzeltiefenganges und damit verbunden die Verringerung des Wasserentzuges im Unterboden. Die Ergebnisse der verminderten Ausschöpfungsrate des Bodenwasservorrates in der Hauptvegetationszeit des Mais weisen darauf hin (LIEBHARD et al., 1994). Eine Verzögerung und Verminderung der Ausschöpfung des Wasservorrates aus dem Unterboden bei dichter Bodenstruktur wurde mehrfach nachgewiesen (WERNER, 1988). Bei hohem Transpirationswasserbedarf wird schwer nutzbares Wasser im Oberboden vor leicht nutzbarem Wasser im Unterboden verbraucht (SANDSBORG und ROTSKJER, 1988), womit die erst nach acht Jahren eingetretene, deutliche Ertragsdifferenzierung teilweise erklärbar ist.

5. Schlußfolgerung

Unter den klimatisch günstigen Produktionsbedingungen des österreichischen Alpenvorlandes hat sich für den angeführten Standort folgende ergebnisgestützte, ökologisch und ökonomisch vertretbare Form der Primärbodenbearbeitung als vorteilhaft ergeben:

Bei Mais wirkt sich auf mittleren bis schweren Böden eine durch die reduzierte Bodenbearbeitung bedingte andauernde geringfügige negative Veränderung im Gesamtporenvolumen, in der Porengrößenverteilung und in der Gefügestabilität erst nach mehreren Jahren aus. Die Verstärkung ungünstiger bodenphysikalischer Kriterien führt vorerst zu einem verminderten Feldaufgang. Spätestens nach acht bis zehn Jahren kommt es bei einer ausschließlich flachen, pfluglosen Bearbeitung zu deutlichen Mindererträgen. Die verminderte Keimpflanzenzahl kann auf verdichteten Böden nicht durch eine höhere Saatstärke behoben werden, da der Feldaufgangsprozentsatz sehr stark von der jeweiligen Witterung abhängig ist. Außerdem kommt es in der Hauptwachstumszeit zu geringerer Biomassebildung. Ein gezielter bzw. teilweiser Verzicht auf den Pflug in der Bodenbearbeitung innerhalb einer Fruchtfolgerotation ist bei Getreide gegenüber Körnermais oder im besonderen bei Zuckerrübe wesentlich leichter möglich.

Danksagung

Ein besonderer Dank gilt Herrn Dr. A. Schreiberhuber für die großzügige Bereitstellung des Feldes und die langjährige kostenlose Versuchsdurchführung. Weiters danke ich Herrn Dr. H. Schwarz, Institut für Mathematik und Angewandte Statistik, für die Versuchsauswertung.

Literatur

- BAEUMER, K. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau. 3. überarb. und erw. Aufl., Ulmer, Stuttgart.
- BOBER, M. (1986): Mikromorphologische und bodenphysikalische Charakterisierung von Verdichtungszone in der Krumenbasis auf Moränenstandorten. Dissertation, Akad. Landwirtsch. Wiss., Berlin.
- BOHNE, H. (1991): 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.
- BÖTTCHER, B., A. BAUR, R. HERZOG und J. LEHFELDT (1988): Untersuchungen zum Arbeitseffekt von Werkzeugen zur partiellen Vertiefung der Ackerkrume. Arch. Acker- und Pflanzenbau Bodenk. 32, 279–291.
- CROVETTO, L. C. (1990): Twelve years of zero-tillage: maize rotational cropping and analysis of some chemical physical and biological parameters in soils (alfisols) of the coastal range of central zone of Chile. Seminar: Corn silage production and utilization in the Los Lagos Region. Osorno (Chile) 33–50.
- 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. Landwirtsch. Jahrb. 65, 789–812.
- EHLERS, W. (1983): Auswirkungen der Bodenbelastung mit schwerem Gerät und der Bodenbearbeitung auf das Bodengefüge und das Pflanzenwachstum. Kali-Briefe (Büntehof) Hannover, 15, 499–516.
- EHLERS, W. (1992): Reduzierte Bodenbearbeitung – Ökologische Folgen und ackerbauliche Grenzen. VDLUFA – Schriftenreihe 35, Kongreßband Göttingen, 35–58.
- FREDE, H. G. und S. GÄTH (1993): Bewertungskriterien für Bodenbearbeitungssysteme. BL Journal 3, 119–122.
- HILL, R. L. (1990): Long-term conventional and no-tillage. Effects on selected soil physical properties. Soil Sci. Amer. J. 54, 161–166.
- HINTERHOLZER, J. (1984): Untersuchungen über den Feldaufgang bei Mais. Jahrbuch der Bundesanstalt für Pflanzenbau, Wien, Eigenverlag, 201–207.
- HINTERHOLZER, J. (1988): Zusammenfassende Berichterstattung über die Ergebnisse mehrjähriger Versuche bezüglich des Stärkeertrages von Körnermais, Weizen, Triticale und Gerste in den Anbaugebieten Niederösterreichs unter Berücksichtigung der pflanzenbaulichen Produktionstechnik. Österr. Vereinigung für Agrarwissenschaftliche Forschung, Wien.
- 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.
- KÖLLER, K. (1985): Bodenbearbeitung mit und ohne Pflug. KTBL-Schrift 301, Münster-Hiltrup.
- LAFITTE, H. (1989): Efectos de la labranza minima en el crecimiento y rendimiento del maíz. Seminario: Labranza de conservacion en maíz, Quito, 32 ref., 71–90.
- 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 Porengrößen-

- verteilung 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.
- PITTELKOW, 1991.
- SANDBORG, J. and N. ROTSKJER (1983): Changes of soil water content under winter wheat, barley and bare soil during the growing season. A field study. *Swed. J. agric. Res.* 13, 17–29.
- SCHMIDTLEIN, E. M. (1991): Der Einfluß ausgewählter Mulchsaatverfahren auf die Erosionsschutzwirkung und den Ertrag bei Mais. *Landwirtschaftliches Jahrbuch* 68, 989–1021.
- 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.
- STEINECK, O. (1984): Ergebnisse von Bodenbearbeitungsversuchen in Österreich. Wintertagung 1984. Gesellschaft für Land- und Forstwirtschaftspolitik, Wien, 49–63.
- UNGER, P. W. and T. C. KASPAR (1994): Soil Compaction and Root Growth: A Review. *Agron. J.* 86, 759–766.
- VIOLIC, A., F. KOCHER, A. PALMER and T. NIBE (1989): Experiments on zero-tillage in maize in the coastal region of north Veracruz. *Seminario: Labranza de conservacion en maiz*. 34 ref., 155–173.
- WAGGER, M. and H. DENTON (1989): Influence of cover crop and wheel traffic on soil physical properties in continuous no-till corn. *Soil Sci. Amer. J.* 53, 1206–1210.
- WEIGELT, H. (1992): Zweischichtpflügen und Unterbodenlockern. Erfahrungen aus 40 Jahren Berufspraxis. *Landwirtschaftliches Jahrbuch* 69, 677–684.
- WERNER, D. (1988): Einfluß des physikalischen Bodenzustandes auf den Wasserentzug landwirtschaftlicher Fruchtarten. *Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd.* 32, 303–310.
- WIMMER, J. (1992): Ergebnisse aus Feldversuchen. Bericht 57, Bundesanstalt für Agrarbiologie Linz. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- ZWATZ, B. (1990): Keimlings- und Auflaufkrankheiten des Maies. Krankheiten, Schädlinge und Nützlinge im Maisbau. *Jugend und Volk*.
- ZWATZ, B. (1994): Saatgutbeizung mit Krankheitsbekämpfung und Krankheitsschutz mit höchstem Multiplikatoreffekt. *Der Pflanzenarzt* 47, H 7–8, 3–5.

Anschrift des Verfassers

Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Peter Liebhard, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität für Bodenkultur Wien, Gregor Mendel-Straße 33, A-1180 Wien.

Eingelangt am 22. 7. 1996

Angenommen am 8. 8. 1996