

Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf Ertrag, Ertragsverhalten und ausgewählte Qualitätskriterien von Zuckerrübe (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *altissima* Doell) im oberösterreichischen Zentralraum (Teil 8)

P. Liebhard

Influence of primary tillage on yield, yield characteristics and selected quality criteria of sugar beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *altissima* Doell) in the centre of Upper Austria (part 8)

1. Einleitung und Problemstellung

Das stetige reale Absinken der Erzeugerpreise zwingt die Landwirte zunehmend, die Eignung von Standort sowie Bewirtschaftungsintensität für die jeweilige Pflanzenart kritisch zu überprüfen, damit Ertragshöhe und -sicherheit im notwendigen Ausmaß gewahrt bleiben. Ertrags- und Qualitätsschwankungen werden bei der Zuckerrübe überwiegend von der Witterung und vom Nährstoffangebot verursacht (MÄRLÄNDER, 1989). Diese komplexen Wechselwirkungen mit der Bodenbearbeitung haben im Wurzelraum

häufig eine hohe verstärkende Wirkung. Im Zuckerrübenbau ist auch in tieferen Schichten ein real durchwurzelbarer Boden eine der wichtigsten standörtlichen Kenngrößen. Daher kommt neben der Bodenart, der Porengrößenverteilung auch der sekundären Aggregatstabilität und der sich daraus ergebenden, verschieden starken, kleinräumigen Wasserbewegung große Bedeutung zu (FACEK, 1984; BECHER, 1991; KÖPPEN und ROSTOCK, 1991; GARZ et al., 1992).

Durch den Einsatz schwerer Maschinen und Geräte nehmen vor allem auf schluff- und tonreichen Böden Druck-

Summary

In a long-term experiment from 1980 to 1992, on a medium-heavy soil in a semihumid climate, the effects of several cultivation (tillage) methods at varying depths with a rotation of crops every four years were investigated. It could be proved that a distinction must be made between short and longterm effects on yield as well as on quality.

A flat, ploughless tillage resulted in a compression damage in the area of the topsoil basis. In the first and partly also in the second 4-year testing period the negative consequences were still concealed, mainly by yearly ploughing previous to the comparative experiment. Surplus yields of 5 % to 10 % on the ploughed plots were attributed in the first 8 years to a slightly higher number and a greater individual weight of the sugar beet. Among the variants there were differences of about 15 % in the number of plants from the third rotation onwards. Subsequently, with reduced cultivation intensity, the yield differentiation increased to about 20 % due to fewer plants and single beets of lower average weight. A deepening of the furrow from 24 to 30 cm on the medium-heavy clay soil led to not measurable increase in white sugar yield. Only from the third rotation the improved rooting in deeper soil layers, which resulted from ploughing, lead to a substantially favourable shape of the beet, i. e. decrease of root fanging and higher white sugar content.

The influence of primary tillage on qualitative parameters can be better judged by the trend from covariations of selected physical soil properties mentioned in previous papers, than by average values.

The results also show that at the cited location, the primary tillage method should be adapted to the specific requirements of the cultivated crop. Furthermore, over longer periods of time, within a well performed rotation of crops, a one or two time ploughing or hoeing of the soil at 20 to 25 cm depth is sufficient for growing sugar beet.

Key words: Primary tillage, sugar beet, beet yield, yield structure, quality.

Zusammenfassung

In einem Langzeitversuch von 1980 bis 1992 mit differenzierten Bodenbearbeitungsverfahren und bei verschiedenen Bearbeitungstiefen konnte auf einem mittelschweren Boden im semihumiden Klimagebiet in einer viergliedrigen Fruchtfolge der Nachweis erbracht werden, daß sowohl im Ertrag als auch in der Qualität zwischen der Kurz- und Langzeitwirkung unterschieden werden muß.

Bei flacher pflugloser Bodenbearbeitung kam es zu einer Schadverdichtung im Krumbasisbereich. Im ersten und teilweise auch im zweiten vierjährigen Untersuchungszeitraum wurden die negativen Folgen noch überwiegend vom früheren, dem Vergleichsversuch vorausgehenden, jährlichen Pflügen überdeckt. Mehrerträge von 5 bis 10 % auf den gepflügten Parzellen waren in den ersten acht Jahren auf eine geringfügig höhere Rübenzahl und ein größeres Einzelgewicht der Rüben zurückzuführen. Ab der dritten Rotation bestanden zwischen den Varianten Unterschiede in der Pflanzenzahl von ca. 15 %. In der Folge stieg bei reduzierter Bearbeitungsintensität die Ertragsdifferenzierung einerseits wegen der geringeren Pflanzenzahl und andererseits aufgrund des kleineren durchschnittlichen Rübengewichtes auf ca. 20 % an. Eine Vertiefung der Krume von 24 auf 30 cm führte bei Zuckerrübe auf dem mittelschweren Lehm-boden zu keinem meßbaren Mehrertrag. Die durch das Pflügen entstandene, verbesserte Wurzelwegsamkeit in tieferen Schichten führte erst in der dritten Rotation zu einer wesentlich günstigeren Ausformung der Rübe bzw. Verminderung der Beinigkeit und zu einem höheren bereinigten Zuckergehalt. Der Einfluß der Primärbodenbearbeitung auf qualitative Parameter läßt sich durch den Trend der Kovarianzen, bezogen auf ausgewählte physikalische Bodenkennzahlen aus früheren Arbeiten, besser beurteilen als durch mittlere Gehaltswerte.

Die Ergebnisse zeigen weiters, daß auf dem angeführten Standort die Primärbodenbearbeitung den kulturpflanzen-spezifischen Anforderungen angepaßt werden soll und daß über längere Zeiträume innerhalb einer geordneten Fruchtfolgerotation jeweils ein ein- oder zweimaliges Pflügen bzw. Lockern auf 20 bis 25 cm Tiefe vor der Zuckerrübe ausreicht („Integriert-reduziertes Bodenbearbeitungssystem“).

Schlagworte: Primärbodenbearbeitung, Zuckerrübe, Rübenertrag, Ertragsbildung, Qualität.

schäden im Krumbasis- und Unterbodenbereich zu. Die Schadverdichtungen summieren sich über die Jahre, und das Selbstregulationsvermögen der Bodenstruktur geht zurück (PITTELKOW et al., 1988). Somit besteht die zwingende Notwendigkeit, Maßnahmen einzuleiten, die einer weiteren Verschlechterung der Bodenstruktur entgegenwirken und zur Erhaltung der Ertragsfähigkeit beitragen (DANNOWSKI, 1992; EIGNER, 1993; MÜLLER, 1993). Durch eine gezielte Primärbodenbearbeitung können Schadverdichtungen im effektiven Durchwurzelungs-bereich aufgebrochen werden, wodurch die negativen Auswirkungen für eine Vegetationsperiode bzw. für einen beschränkten Zeitraum beseitigt bzw. vermindert werden.

In den vergangenen Jahrzehnten hat eine tiefe Bearbeitung des Bodens vor allem bei Zuckerrübe zur Ertragssteigerung beigetragen. Die häufigere und intensivere Bearbeitung führte gleichzeitig zu zunehmender Bodenverdichtung (HARRACH und VORDERBRÜGGE, 1991; BAEUMER, 1992). Daraus leitet sich die Notwendigkeit ab, ein standortspezifisches Bearbeitungsverfahren mit Krumbasislockerung zu entwickeln, das sich hinsichtlich der Langzeitwirkung günstig auf das Pflanzenwachstum und die

Ertragssicherheit auswirkt. Die Festboden-Mulchwirtschaft (BAEUMER, 1990) ist zwar ein wirkungsvoller Schutz des Bodens vor Wind- und Wassererosion, gleichzeitig wirkt sie sich aber bei bestimmten Kulturarten negativ auf den Aufgang und das Pflanzenwachstum aus (BRUNOTTE, 1991).

Über die Abhängigkeit der Zuckerrübenerträge bei Variation verschiedener Bodenfruchtbarkeits-Kennziffern liegen zahlreiche Einzelergebnisse vor (BAEUMER und PAPE, 1972; WINNER, 1981; BEISS, 1985; BRONNER, 1988; MÄRLÄNDER, 1990; EL-SHEREF, 1992; HEYLAND und KLOEPFER, 1993). Die Kombinationseffekte der Langzeitwirkung der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf Lagerungsdichte, Aggregatstabilität, Porenvolumen und Porengrößenverteilung, die das bodenphysikalische Gerüst der ackerbaulich genutzten Böden ergeben, und deren Auswirkung auf das Pflanzenwachstum innerhalb mehrerer Fruchtfolgen wurden hingegen noch wenig untersucht. Bei stetiger Verbesserung der Produktionstechnik sind die Anforderungen einer ökonomisch-ökologisch orientierten Bodenbearbeitung in der Ackerbewirtschaftung noch stärker zu berücksichtigen. Die ermittelten Ergebnisse des

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

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

Dauerversuches sollen daher eine standortbezogene Beurteilung der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf die Ertragsleistung der zu 25 % in der vierfeldrigen Fruchtfolge stehenden Zuckerrübe in der ersten, zweiten und dritten Rotation ermöglichen. Weiters werden die Auswirkungen auf ausgewählte Qualitätskriterien angeführt. Ausgangspunkt der Untersuchung war die Annahme, daß ein periodisches Pflügen zu Zuckerrübe und eine reduzierte Bearbeitung zu Getreide eventuelle negative Auswirkungen sowohl auf den Ertrag als auch auf die Qualität weitgehend beseitigt („Integriert-reduziertes Bodenbearbeitungssystem“).

2. Material und Methoden

2.1 Boden und Versuchsanlage

Der Standort „Ansfelden“ (271 m über NN) liegt im östlichen Alpenvorland, im zentralen Ackerbaugebiet Oberösterreichs und ist durch eine Jahresdurchschnittstemperatur von 9,1°C und ein Niederschlagsmittel von 848 mm gekennzeichnet.

Der Boden ist eine tiefgründige, mittelschwere, kalkfreie Lockersediment-Braunerde. Der gesamte Ap-Horizont weist eine mäßige Durchlässigkeit, aber hohe Wasserspeicherkapazität auf. Der Boden in ebener Lage und ohne Tag- oder Grundwassereinfluß bietet nahezu optimale Wasserregulationseigenschaften. Weiters sichern – der Bodenart entsprechend – mittlere Lagerungsdichten und hohe Grobporenanteile eine mäßige Durchlässigkeit sowie eine rasche

Auffällbarkeit des hohen Speicherporenvolumens. Weitere Standortkenndaten wurden bereits in früheren Publikationen ausführlich dargestellt (LIEBHARD, 1993, 1994) und werden überblicksmäßig wiederholt.

Der statische Langzeit-Primär-Bodenbearbeitungsversuch wurde 1980 mit der Fruchtfolge *Zuckerrübe – Winterweizen – Körnermais – Winterweizen* auf zwei Schlägen (3,2 ha) mit je acht Großteilstücken (Bearbeitungsvarianten – 9 x 70 m bzw. 9 x 135 m) in je zweifacher Wiederholung angelegt. Darüber hinaus erfolgte für die Datenerhebung eine Teilung jeder Parzelle in zwei Kleinteilstücke (Tab. 1). Mit drei verschiedenen Geräten wurden bei unterschiedlicher Bearbeitungstiefe standortspezifische, praxisrelevante Primär-Bodenbearbeitungsverfahren durchgeführt. Dem Pflug und Grubber als gezogene Geräte wurde eine 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) („Integriert-reduziertes Bodenbearbeitungssystem“).

2.2 Pflanzenbauliche Maßnahmen

2.2.1 Bodenbearbeitung und Saat

Unmittelbar nach der Weizenernte wurde in allen Varianten einheitlich die Stoppelbearbeitung mit einer langsam rotierenden Fräse durchgeführt. Die Primärbodenbearbeitung folgte zwischen dem 14. Oktober und 6. November.

Bei günstigen äußeren Bedingungen wurde mit einer

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 → „Integriert-reduziertes Bodenbearbeitungssystem“

Kreiselegge die Saatbettbereitung auf ca. 3 cm Tiefe vorgenommen. Die Saat erfolgte jeweils in der letzten Märzwoche mit einer mechanischen Einzelkornsämaschine. Der Reihenabstand betrug 45 cm, die Ablage des Samens in der Reihe 19 cm. Der unterschiedliche Feldaufgang wurde in den Parzellen nicht durch Vereinzeln korrigiert. Die Ertragseffekte können daher auch nicht in Ursache unterschiedlicher Bestandesdichte und andere Wirkgrößen getrennt werden.

2.2.2 Düngung und Pflanzenschutz

Über die gesamte Versuchsfläche wurde Phosphat und Kali – bezogen auf den Nettonährstoffentzug – über die Fruchtfolgerotation einheitlich jährlich in einer Menge von 50 kg P₂O₅ und 110 kg K₂O/ha ausgebracht. Die Stickstoffdüngung richtete sich nach dem geschätzten Bedarf der Zuckerrübe und der Bestandesentwicklung. Die Bedarfschätzung bezog sich auf den EUF-Stickstoffgehalt des Ober- und Unterbodens zur Erntezeit (Ende Juli) der Vorfrucht Winterweizen. Vor der Saat wurden jeweils 40 kg N/ha und vor Bestandesschluss nochmals 30 bis 60 kg N/ha in Form von Kalkammonsalpeter ausgebracht.

Die chemische Unkrautbekämpfung richtete sich nach der aufwachsenden Unkrautflora. Die Parzellen mit reduzierter Bearbeitungsintensität (Fräse und Grubber 17 cm Bearbeitungstiefe) wiesen mit zunehmender Versuchsdauer einen wesentlich stärkeren Unkrautbesatz von Ungräsern auf.

2.3 Qualitätsfeststellung

Die Analyse der Rüben erfolgte im Labor der Tullner Zuckerfabrik. Die angeführten Ergebnisse sind Mittelwerte einer Doppelbestimmung von jeweils zwei Mischproben je Variante (Doppelreihe 8 lfm, ca. 7,2 m²). Folgende Methoden wurden angewandt:

Zuckergehalt in °Z: polarimetrisch

Natriumgehalt in mmol/100°Z: flammenphotometrisch

Kaliumgehalt in mmol/100°Z: flammenphotometrisch

α-Aminosäure-N-Gehalt in mmol/100°Z: photometrisch nach KUBADINOW und WIENINGER (1972)

Zur einfacheren, vergleichenden Beurteilung der Rübenqualität wurde aus den vier angeführten Inhaltsstoffen Saccharose, Kalium, Natrium und α-Aminosäure-N-Gehalt der *bereinigte Zuckergehalt*, der eine Voraussage über den technologischen Wert der Zuckerrübe und die zu erwartende Weißzuckerausbeute erlaubt, nach der Formel von WIENINGER und KUBADINOW (1971, 1973) berechnet.

$$\text{Alkalitätskoeffizient: } AK = \frac{K + Na}{a - N}$$

$$a - N = \text{mmol}/100^\circ Z$$

% Melassezucker, bezogen auf Zucker (% MZ)

$$AK > 1,8: (K + Na) \times 0,3491 = \% MZ$$

$$AK < 1,8: (a - N) \times 0,6285 = \% MZ$$

% gewinnbarer Weißzucker = 100 – % MZ

% bereinigter Zuckergehalt: BZG = % gewinnbarer Weißzucker x Polarisation

2.4 Versuchsauswertung

Die Ergebnisse der „Bearbeitungsvarianten“ wurden als Split-Plotanlage ausgewertet. Zur Verrechnung 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.

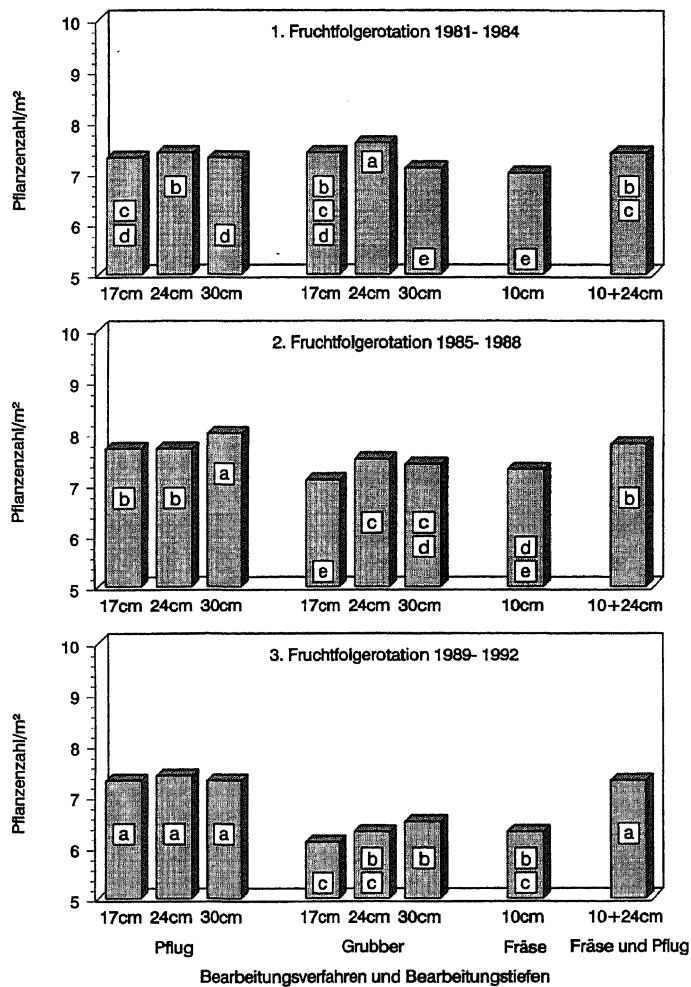


Abbildung 1: Effekt der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf den Feldaufgang bei Zuckerrübe innerhalb der Fruchtfolgerotation (Mittelwert über zwei Jahre) von 1981 bis 1992 (Mittelwertvergleiche beziehen sich jeweils nur auf eine Fruchtfolgerotation)

Figure 1: Effect of different primary tillage methods on the establishment in sugar beet (average value over two years) from 1981 to 1992 (average value comparisons refer in each case to only one rotation)

3. Ergebnisse

3.1 Wachstums- und Entwicklungsverlauf

Eine Bewertung der unterschiedlichen Primär-Bodenbearbeitungsverfahren bezüglich verschiedener pflanzenbaulicher Parameter konnte durch den Vergleich der Hauptfrüchte Zuckerrübe, Winterweizen und Körnermais, die in den drei durchlaufenen Fruchtfolgerotationen enthalten

waren, erfolgen. Die Ergebnisse von Winterweizen und Körnermais wurden in früheren Arbeiten angeführt.

Erwartungsgemäß war die Zahl der aufgelaufenen Zuckerrübenpflanzen vom Grad der Bodenverdichtung im Bearbeitungshorizont abhängig. Mit zunehmender Dauer der pfluglosen Primärbodenbearbeitung verstärkten sich die ungünstigen Bedingungen im Bereich der Keimwurzel (Abb. 1). In der ersten Rotation war eine Restwirkung des früheren jährlichen Pflügens noch deutlich merkbar. Zwischen den geprüften Geräten bestanden zu diesem Zeitpunkt zwar Unterschiede, die nach der Strukturdynamik noch keine eindeutige Differenzierung ermöglichten. In der darauffolgenden vierjährigen Periode wurde die Tendenz aufgrund der durchgehend höchsten Anzahl der aufgelaufenen Zuckerrüben in den Pflugparzellen offenbar. Die deutlich unterschiedlichen Aufgangszahlen in der dritten Rotation brachten die durch die bereits zehnjährige unterschiedliche Primärbodenbearbeitung verursachten Veränderungen im Boden deutlich zum Ausdruck. In der Bestandesdichte waren daher neben den witterungsbedingten Einflüssen auch Bodenbearbeitungs-Langzeiteffekte nachweisbar, die sich durch den hohen Wechselwirkungseffekt „Erntejahr x Bodenbearbeitung“ belegen lassen (Tab. 3).

Die bereits im Keimpflanzenstadium sichtbaren Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten verstärkten sich in der Jugendentwicklung der Rübenpflanzen. Deutlich optisch unterscheidbar wurden sie zum Zeitpunkt des Blattchlusses (DC 40-49). Zuerst erfolgte die Bodenbedeckung bei den Pflug- und Grubbervarianten mit 30 cm Bearbeitungstiefe, mit einer Verzögerung von etwa zwei Tagen bei den Pflug- und Grubbervarianten 24 cm Bearbeitungstiefe. Dann folgten die Varianten mit 17 cm Bearbeitungstiefe und nach einer weiteren zeitlichen Verzögerung von drei bis fünf Tagen fand der Blattschluß auf der Fräsevariante statt. Die Blattmasse blieb bis Vegetationsende auf der Fräsevariante deutlich geringer als bei den Pflanzen auf den Pflug- und Grubbervarianten (Werte nicht angeführt).

3.2 Einfluß der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf den Rübenertrag

Das Ertragsniveau der Zuckerrüben lag bei jeder Ernte um ca. 10 % über dem Regionsdurchschnitt und in der ersten Rotation geringfügig höher als in der zweiten und dritten (Abb. 2).

Tabelle 3: Varianzanalyse über Bearbeitungs-, Rotations- und Jahreseffekte auf Feldaufgang pro m² bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung von 1982 bis 1991Table 3: Analysis of variance for the establishment per m² with different primary tillage methods from 1982 to 1991

	FG	DQ	F-Wert
Wiederholung	3	0,018	
Bodenbearbeitung	7	2,220	63,79***
Fehler 1 (Wh x Bobe)	21	0,035	
Erntejahr (R)	3	0,487	10,13***
Rotation	2	9,004	187,19***
Fehler 2 (Ej x Wh)	15	0,048	
Erntejahr (R) x Bodenbearbeitung	21	0,293	7,39***
Rotation x Bodenbearbeitung	14	0,692	17,47***
Rest	105	0,040	
	191		

Zwischen den drei Fruchtfolgerotationen wurden innerhalb der Bearbeitungsvarianten die Ertragsunterschiede deutlich meßbar. In der ersten Rotation gab es Mehrerträge von ca. 5,0 % auf den gepflügten, den tief- bzw. standortüblich tief gegrubberten Teilstücken (30 bzw. 24 cm) gegenüber den flachgegrubberten Parzellen. Um weitere 4,5 % fiel der Rüben-ertrag auf den Fräseparzellen ab.

Analog zur ersten Rotation setzte sich im sechsten und siebten Vegetationsjahr nach Versuchsbeginn (zweite Rotation) der Trend fort. Zwischen den gepflügten und den flachbearbeiteten, gelockerten Parzellen erhöhte sich die Ertragsdifferenz auf ca. 11 %. Die extensive Primärbodenbearbeitung wirkte sich vermindernd auf den Rüben-ertrag aus. In der dritten Rotation fiel der Ertrag auf den flachbearbeiteten Grubber- und den Fräseparzellen gegenüber den gepflügten Varianten bereits auf ca. 81 % ab. Die Wechselwirkung differenzierter Bearbeitung und stetige

Ertragsabnahme auf den flach bearbeiteten Parzellen demonstrieren die Werte der Tabelle 4 („Erntejahr x Bodenbearbeitung“).

Aufgrund der Komplexwirkung der Bodenbearbeitung ergab die Kovarianzanalyse mit den Daten Gesamtporenvolumen oder Aggregatstabilität aus dem Jahr 1990 keinen eindeutigen Aufschluß über Ertragshöhe bzw. bereinigten Zuckergehalt. Durch die multiple Regressionsanalyse wurden jedoch diesbezügliche deutliche Trends als Ursache für die Ertrags- und Qualitätsvariation angezeigt.

3.3 Effekte der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf den bereinigten Zuckergehalt

Unabhängig von den jährlichen Schwankungen der Rüben-erträge traten Differenzierungen im bereinigten Zuckergehalt auf. Die starken Jahresschwankungen der Inhaltsstoffe

Tabelle 4: Varianzanalyse über Bearbeitungs-, Rotations- und Jahreseffekte auf den Rüben-ertrag in dt/ha bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung von 1982 bis 1991

Table 4: Analysis of variance for the number of root yield in dt/ha with different primary tillage methods from 1982 to 1991

	FG	DQ	F-Wert
Wiederholung	3	2.290,912	
Bodenbearbeitung	7	32.285,570	26,85***
Fehler 1 (Wh x Bobe)	21	1.202,521	
Erntejahr (R)	3	34.094,787	40,16***
Rotation	2	98.624,303	116,16***
Fehler 2 (Ej x Wh)	15	849,045	
Erntejahr (R) x Bodenbearbeitung	21	3.401,918	3,41***
Rotation x Bodenbearbeitung	14	3.861,880	3,88***
Rest	105	996,542	
	191		

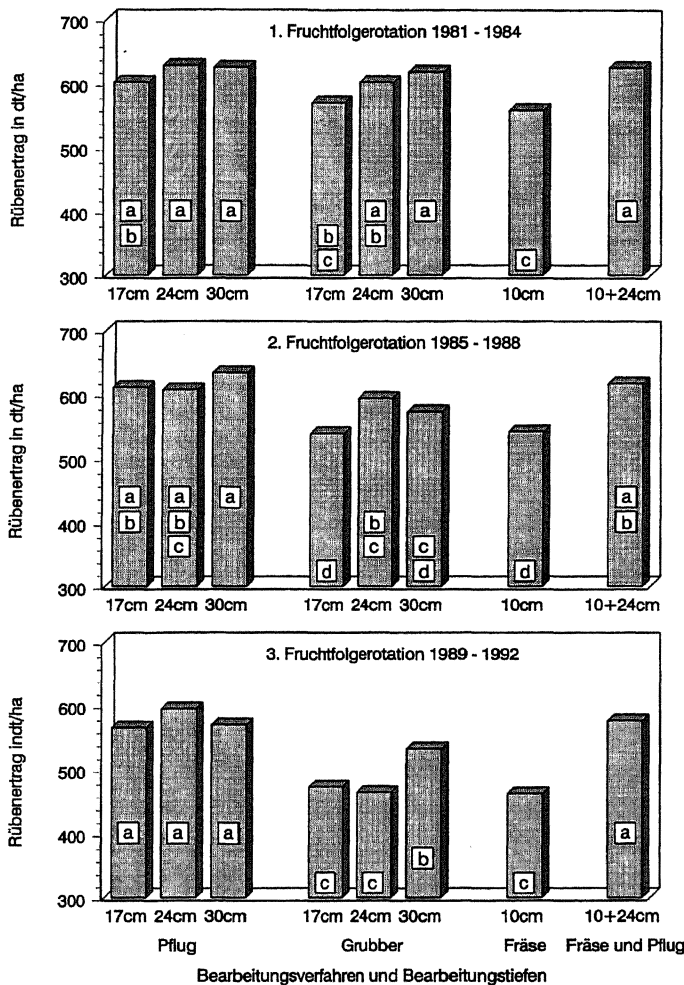


Abbildung 2: Effekt der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf den Rübenenertrag in dt/ha bei Zuckerrübe innerhalb der Fruchtfolge (Mittelwert über zwei Jahre) von 1981 bis 1992 (Mittelwertvergleiche beziehen sich jeweils nur auf eine Fruchtfolge)

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

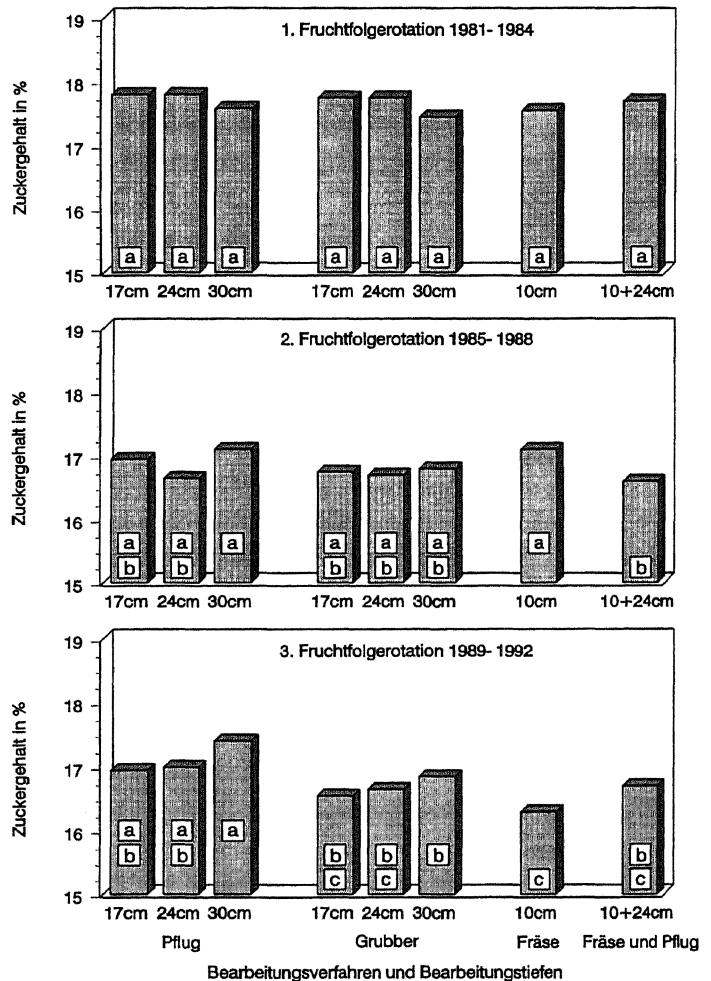


Abbildung 3: Effekt der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung auf den bereinigten Zuckergehalt in % auf Rübe innerhalb der Fruchtfolge (Mittelwert über zwei Jahre) von 1981 bis 1992 (Mittelwertvergleiche beziehen sich jeweils nur auf eine Fruchtfolge)

Figure 3: Effect of different primary tillage methods on the white sugar content in % on beet (average value over two years) from 1981 to 1992 (average value comparisons refer in each case to only one rotation)

bedingten die hohe Wechselwirkung „Erntejahr x Bodenbearbeitung“ (Tab. 5).

Eine nach den drei Rotationen getrennte Beurteilung des bereinigten Zuckergehaltes zeigt, daß es erst nach der zweiten Periode zu einem Trend und im dritten vierjährigen Untersuchungszeitraum zu gesicherten Unterschieden zwischen den Bearbeitungsvarianten kam (Abb. 3). Höhere Gehalte beschränkten sich hier vorwiegend auf die gepflügten Parzellen, wobei mit Zunahme der Bearbeitungstiefe die Werte anstiegen. Hervorzuheben sind die um 0,3 %

niedrigeren Gehaltswerte bei der Kombination Fräse und Pflug gegenüber der Pflugvariante mit gleicher Bearbeitungstiefe. Die Verminderung des bereinigten Zuckergehaltes in dieser Variante bei ähnlich hohen Erträgen wie auf den flach gepflügten Parzellen dürfte auf den zunehmend negativen nachhaltigen Einfluß der Fräsarbeit zurückzuführen sein. Die niedrigsten Werte mit 16,1 bis 16,8 % in den Jahren 1990 und 1991 wurden bei den wesentlich stärker beinigten Rüben auf den flachbearbeiteten Grubber- und Fräseparzellen erreicht.

Tabelle 5: Varianzanalyse über Bearbeitungs-, Rotations- und Jahreseffekte auf den bereinigten Zuckergehalt in % auf Rübe bei unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung von 1982 bis 1991

Table 5: Analysis of variance for the white sugar content in % on beet with different primary tillage methods from 1982 to 1991

	FG	DQ	F-Wert
Wiederholung	3	0,180	
Bodenbearbeitung	7	0,434	6,55***
Fehler 1 (Wh x Bobe)	21	0,066	
Erntejahr (R)	3	8,506	93,29***
Rotation	2	15,656	171,71***
Fehler 2 (Ej x Wh)	15	0,091	
Erntejahr (R) x Bodenbearbeitung	21	0,357	5,43***
Rotation x Bodenbearbeitung	14	0,446	6,77***
Rest	105	0,066	
	191		

4. Diskussion

4.1 Einfluß des Standortes und der Bodenbearbeitung auf das Pflanzenwachstum

Die erzielten Ergebnisse zeigen, daß im Zuckerrübenbau trotz des hohen Leistungsniveaus nur durch eine langzeitige, dem Standort und der Kulturpflanze angepaßte Primärbodenbearbeitung sowohl die Ertragssicherheit als auch die notwendig hohe Qualität gewährleistet werden kann. Der Anteil der Bodenbearbeitung an der Ertragsvariation, der in den angefuhrten Untersuchungen bis 20 % (auf anderen Standorten bis 60 %) durch die Bodenbearbeitung beeinflusst wird, ist wiederum von Bodentyp und/oder Bodenart, von der Witterung und von weiteren, nicht in die Untersuchung einbezogenen bodenchemischen, -physikalischen und -biologischen Parametern abhängig, die teilweise in Arbeiten von FACEK (1984), KÖPPEN und ROSTOCK (1991) sowie MÄRLÄNDER (1991) beschrieben werden. Aufgrund der hohen Wechselbeziehungen zwischen den angefuhrten Bodenkennzahlen wird die Zuordnung von Ursache und Wirkung der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung zum Pflanzenwachstum wesentlich erschwert.

Ein geschlossener Bestand stellt bei der Zuckerrübe die Basis für eine ausreichende Ertrags- und Qualit tsleistung dar. Je nach Bearbeitungsvariante und Witterungsverlauf im März lag der Feldaufgang zwischen 65 und 80 %. Diese Unterschiede führten auf den flachbearbeiteten Grubber- und den Dauerfr separzellen bei Samenablage auf 19 cm zu einer ertragsvermindernden Bestandesdichte. Die geringere Pflanzenzahl auf diesen Teilstücken könnte nach Ergebnissen von BOHNE (1988, 1991) auf eine  berlockerte

Oberkrume und aufgrund des fehlenden Rückhaltes der Wurzeln beim Eindringen in den verdichteten Boden unter der Bearbeitungsgrenze zurückzuführen sein. Direkt bestellte Böden sind im Keimwurzelbereich dichter gelagert als gepfl gte (LIEBHARD, 1994, 1995). Die bei reduzierter Primärbodenbearbeitung insgesamt höhere Dichte im Krumbereich führt zu einer schlechteren Erwärmung im Frühjahr (FREDE und G TH, 1993) und dadurch zu einem verminderten Feldaufgang. Je nach Bearbeitungsvariante sind Inhomogenitäten im Eindringwiderstand und im Porenvolumen die Regel, wie sie in den Ergebnissen der untersuchten Schläge (LIEBHARD, 1993; LIEBHARD et al., 1994, 1995) und in Übereinstimmung mit den Befunden auf anderen tiefgründigen Standorten von TAYLOR und BRAR (1991) sowie VAN OUWERKERK (1993) zum Ausdruck kamen.

Die Zuckerrübe reagiert in ihrem Wurzelwachstum und in der Folge in der Photosyntheseleistung gegenüber Veränderungen des Wasserangebotes und Bodenverdichtungen besonders empfindlich. Dies deckt sich mit Ergebnissen von HEGER (1990) sowie HARRACH und VORDERBRÜGGE (1991). Bereits im frühen Jugendstadium kommt es am angefuhrten Standort bei Penetrometer-Eindringwiderst nden von über der normalen Festigkeit in Ackerböden (>18 bar, LIEBHARD et al., 1995) zu starken Wurzelverkr mmungen, die sich bei der Ernte in einer starken Beinigkeit und in wesentlich niedrigeren durchschnittlichen R beneinzelgewichten zeigen. Auf den gepflügten Teilstücken ist hingegen im Hauptwurzelhorizont der Rübe von 5 bis 30 cm Bodentiefe (bei einem Eindringwiderstand des genormten Penetrometerkegels von 4 bis 18 bar) die wesentlich stärkere Haarwurzelbildung deutlich sichtbar.

Im gesamten Zeitraum der Jugendentwicklung und des Massenzuwachses von Anfang Mai bis Ende September war ersichtlich, daß mit dem kontinuierlichen Vordringen der Wurzeln in den Bereich der jeweiligen Bearbeitungsgrenze das geringere Porenvolumen der flachbearbeiteten pfluglosen Varianten zur Wirkung kam, wie es früher angeführte Ergebnisse zeigen (LIEBHARD, 1994). Ähnliche Reaktionen der Pflanze erhielt EHLERS (1983). Der Einfluß der „kritischen“ Lagerungsdichte auf das Wurzelwachstum wurde durch die jeweilige Zahl der kontinuierlichen Poren überdeckt.

4.2 Standort- und Bodenbearbeitungseinfluß auf den Rüben ertrag und die Verarbeitungsqualität

Die unter Praxisbedingungen durchgeführten Versuche zeigen, daß es nach langzeitiger, flacher, pflugloser Bodenbearbeitung zu vermindertem Feldaufgang kommt. Die zunehmend abnehmende Pflanzenzahl und die Verringerung des durchschnittlichen Einzelpflanzengewichtes führte zu einer Ertragsverminderung von ca. 10 % in den ersten beiden und von ca. 20 % in der dritten Rotation. Die im ersten achtjährigen Untersuchungszeitraum gemessenen Ertragsveränderungen sind zwar als relativ niedrig einzuschätzen, sie werden aber in Arbeiten von EHLERS (1984), ROSTOCK et al. (1988), HARRACH und VORDERBRÜGGE (1991) und von PABIN et al. (1991) unter ähnlichen Standortbedingungen bestätigt. Bei extremen Witterungsbedingungen kommt es bei Vorliegen von Krumenbasisverdichtungen zu Mindererträgen (SOMMER et al., 1981; SOMMER, 1985). In einer späteren Arbeit konnte SOMMER (1990) hingegen auf einem lehmigen Sandboden bei über kurze Zeit geführter pflugloser Bearbeitung keinen Ertragsunterschied feststellen.

Die großen Unterschiede im durchschnittlichen Einzelrübengewicht zwischen den Bearbeitungsvarianten zeigen den Einfluß der verminderten Wurzelwegsamkeit. Die Ertragswirkung ist auf die tendenzielle Veränderung des Porenvolumens, der Porengrößenverteilung, der Krümelstabilität und des Eindringwiderstandes im Hauptwurzelbereich der Rübe zurückzuführen. Diese treten unter Praxisbedingungen immer in Kombination auf, wie sie in zahlreichen Arbeiten u. a. von BRONNER (1962, 1985), DEBRUCK et al. (1981), HARTMUT (1986), WERNER et al. (1986), STEINERT (1990), HARRACH und VORDERBRÜGGE (1991), HALUSCHAN (1991) und MÜLLER (1991) beschrieben werden. Eine der Hauptwirkungen der ver-

änderten Bodenstruktur führt bei verminderter Wurzelwegsamkeit zu reduziertem Wurzellängenwachstum im Unterboden.

Wie bedeutsam eine standort- und kulturartenangepaßte Primärbodenbearbeitung und gute Durchwurzelung des Bodens in einer Tiefe von 15 bis 40 cm für die Zuckerrübe ist, zeigt nicht nur die Einschränkung der Biomassebildung, sondern auch die Verschlechterung der Qualitätsparameter. Die Ergebnisse der angeführten Untersuchungen weisen einerseits auf den Einfluß der verminderten Bestandesdichte auf den geringeren Weißzuckerertrag hin, wie er auch von BEISS (1985), KRAKSTEV (1986) und MÜLLER (1993) mehrfach nachgewiesen wurde. Andererseits liegen die niedrigen Werte des „bereinigten Zuckergehaltes“ in den wesentlich stärker beinigten Rüben begründet. Die Ausformung der Rüben auf den Parzellen mit langzeitiger, flacher, pflugloser Bearbeitung deuten auf ein vermindertes Porenvolumen und eine begrenzte Erschließung des Unterbodens hin. Das zwar geringere, aber länger andauernde Krautwachstum in der Zeitspanne des Massenzuwachses des Rübenkörpers ist überwiegend auf die verminderte Wasser- und Nährstoffnachlieferung aus den tieferen Horizonten zurückzuführen. Die Ergebnisse des jeweiligen Bodenwasservorrates unter Zuckerrübe zeigen die Ursache auf (HOFMANN, 1992; LIEBHARD et al., 1994). Bei durchschnittlich hohem C-Gehalt in der Ackerkrume und einem hohen vertikalen Bioporenanteil kann in trockenen Jahren aber eine flachwendende Grundbodenbearbeitung für den Weißzuckerertrag vorteilhaft sein (BAEUMER und PAPE, 1972; LEITHOLD, 1993). Unter den vorgegebenen Versuchsbedingungen und bei dem „Integriert-reduzierten Bodenbearbeitungssystem“ führte eine zeitgemäße Ausschöpfung des pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrates zu einer termingerechten Verminderung der Sinkkapazität des Blattapparates und zu ausreichender, früher Umlagerung der Assimilate in den Rübenkörper und damit zu einer Hebung der Qualität und des Weißzuckerertrages.

Unter Einbezug ausgewählter bodenphysikalischer Kennwerte konnte die Langzeitwirkung der unterschiedlichen Primärbodenbearbeitung teilweise präzisiert werden. Eine funktionale Erfassung der zahlreichen, bedingt oder vollständig steuerbaren Parameter in Abhängigkeit von Standort und Witterung sind nur in dynamischen Wachstumsmodellen möglich, da die komplexen Wechselwirkungen auf das Pflanzenwachstum und den Ertrag im Agrar-Ökosystem in einem statischen Feldversuch nicht ausreichend berücksichtigt werden können.

5. Schlußfolgerung

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß auf dem Standort mit mittelschweren Ackerböden und hoher Bewirtschaftungsintensität eine Ertragssteigerung durch Intensivierung der Bodenbearbeitung nicht möglich ist. Bei langzeitiger flacher, pflugloser Bearbeitung kommt es aber zu einer ausgeprägten Krumbasisverdichtung, die eine komplexe Wirkung auf das Pflanzenwachstum, den Ertrag und die Verarbeitungsqualität aufweist. Bei Gegenüberstellung der untersuchten Bearbeitungsvarianten zeigt sich, daß bei Zuckerrübe eine Lockerung des Bodens auf 20 bis 24 cm erforderlich ist.

Krumbasisverdichtungen vermindern den Felddaufgang, hemmen das Wurzelwachstum und führen mit zunehmender Dauer zu steigenden Mindererträgen und negativen Auswirkungen auf die Qualität. Bei Einbezug der jeweiligen Witterung ist die Schadwirkung in Jahren mit hohen Niederschlägen stärker ausgeprägt.

Durch den periodischen Einsatz des Pfluges auf standortübliche Bearbeitungstiefe von ca. 24 cm zu Zuckerrübe wird eine dem jährlichen Pflügen ähnliche positive Wirkung erzielt. Eine Vertiefung der Krume von ca. 24 cm auf 30 bis 32 cm hat auf dem schluff- und tonreichen Boden weder zu einer Ertragssteigerung noch zu einer Qualitätsveränderung oder zu einer weiteren Mobilisierung der Leistungsreserven geführt.

Danksagung

Herrn Dr. A. SCHREIBERHUBER danke ich für die langjährige exakte und kostenlose Versuchsdurchführung. Weiters danke ich der Zucker Gesellschaft m. b. H. AGRANA, Wien, für die Bereitstellung der Analyseergebnisse. Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. H. SCHWARZ, Institut für Mathematik und Angewandte Statistik, für die freundliche Unterstützung bei der Auswertung der Versuche.

Literatur

- BAEUMER, K. und G. PAPE (1972): Ergebnisse und Ausichten des Anbaus von Zuckerrüben im Ackerbausystem ohne Bodenbearbeitung. *Zucker* 25, 711–718.
- BAEUMER, K. (1990): Probleme bei der Gestaltung der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. In: R. DIERCKS und R. HEITFUSS (Hrsg.): *Integrierter Landbau*. Verlagsunion Agrar, München,
- BAEUMER, K. (1992): *Allgemeiner Pflanzenbau*. 3. überarb. und erw. Aufl., Ulmer, Stuttgart.
- BECHER, H. H. (1991): Über die Aggregatdichte und deren mögliche Auswirkung auf den Bodenlösungstransport. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154, 3–8.
- BEISS, U. (1985): Inhaltsstoffe der Zuckerrübe und Nährstoffvorräte im Boden. *Die Zuckerrübe* 34, 40–44.
- 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) Hannover* 19, 325–334.
- BOHNE, H. (1991): 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.
- BRONNER, H. (1962): *Bodenfeuchtebeobachtungen unter Zuckerrübe und anderen Feldfrüchten auf Lößlehm im Raum von Linz/OÖ*. Dissertation, Univ. für Bodenkultur, Wien.
- BRONNER, H. (1985): Serienmäßige Bodenuntersuchung bei Zuckerrüben – Anwendung und Interpretation verschiedener Verfahren im Hinblick auf N, P und K. *VDLUFASchriftenreihe* 16, Kongreßband 265–273.
- BRONNER, U. (1988): *Einfluß langjährig differenzierter Bewirtschaftung (viehhaltend und viehlos) auf Bodenparameter unterschiedlicher Bodentypen auf die Produktionsleistung von Zuckerrübe*. Diplomarbeit, Univ. für Bodenkultur, Wien.
- BRUNOTTE, J. (1991): *Maßnahmen zum Bodenschutz im Zuckerrübenbau*. KTBL-Arbeitspapier 159, Darmstadt.
- DANNOWSKI, M. (1992): Das Penetrationsvermögen von Wurzeln unterschiedlicher Roggen- und Triticalegenotypen in Abhängigkeit von der Bodenlagerungsdichte. *J. Agronomy & Crop Science* 168, 169–180.
- DEBRUCK, J., G. FISCHBECK und W. KAMPE (1981): *Getreidebau aktuell*. DLG-Verlag, Frankfurt.
- 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. (1984): *Bodenbearbeitung – ein Problem im modernen Ackerbau?* Wintertagung 1984. Gesellschaft für Land- und Forstwirtschaftspolitik, Wien, 31–48.
- EIGNER, H. (1993): Mehr Ertrag und bessere Qualität mit Gründdecken. *Agro Zucker H.* 3, 14–15.
- EL-SHEREF, E. M. (1992): *Einfluß unterschiedlicher Stickstoffformen und verschieden hohes N-Angebot auf*

- Ertrag und Qualität der Zuckerrübe (*Beta vulgaris* spp. *vulgaris* var. *altissima* [Doell]). Dissertation, Univ. für Bodenkultur, Wien.
- FACEK, Z. (1984): Relation zwischen Zuckerrüben-ertrag und produktionswirksamen Bodeneigenschaften. Rostlinna výroba Praha 30, 1295–1301.
- FREDE, H. G. und S. GÄTH (1993): Bewertungskriterien für Bodenbearbeitungssysteme. BL Journal 3, 119–122.
- GARZ, J., M. ABDALLAH und W. SCHLIEPHAKE (1992): Die Wurzelentwicklung von Zuckerrübenpflanzen auf einem Sandlöß-Standort und ihre Bedeutung für die Stickstoffernährung. J. Agronomy & Crop Science 169, 260–269.
- HALUSCHAN, M. (1991): Qualitätsverbesserung bei Zuckerrüben. Wintertagung 1991, Österreichische Gesellschaft für Land- und Forstwirtschaftspolitik, Wien, 40–49.
- HARRACH, T. und T. VORDERBRÜGGE (1991): Die Wurzelentwicklung von Kulturpflanzen in Beziehung zum Bodentyp und Bodengefüge. Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Bd. 2 Bodengefüge. Berichte über Landwirtschaft. 204. Sonderheft, Parey, Hamburg und Berlin, 69–82.
- HARTMUT, W. (1986): Einfluß verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf den Pflanzenbestand und einige Bodeneigenschaften. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- HEGER, K. (1990): Modellierung des Massenzuwachses bei Zuckerrüben. Landwirtschaftliches Jahrbuch 67, Sonderheft, 201–212.
- HEYLAND, K. U. und F. KLOEPFER (1993): Zur Frage der Anpassung der Stickstoffdüngung an den Bedarf der Zuckerrüben, insbesondere unter Berücksichtigung von Gülle. Die Bodenkultur 44, 317–333.
- HOFMANN, B. (1992): Gefügeschonende Herbstbearbeitung. Süd-Deutsche Zuckerrübenzeitung (DZZ), 6, 7.
- KÖPPEN, D. und E. ROSTOCK (1991): Beziehungen zwischen Bodenfruchtbarkeitskennziffern, Ertrag und Inhaltsstoffen von Zuckerrüben auf Löß-Schwarzerde. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 154, 137–142.
- KRAKSTEV, S. (1986): Untersuchung einiger Faktoren, die den Zuckergehalt und die chemische Zusammensetzung von Zuckerrüben beeinflussen. Rast. Nauki. Sofia 23, 30–34.
- KUBADINOW, N. und L. WIENINGER (1972): Bestimmung des α -Aminostickstoffs in Zuckerrüben und Betriebs-säften der Zuckerproduktion. Zucker 25, 43–47.
- LEITHOLD, G. (1993): Einfluß langfristig unterschiedlicher Landbewirtschaftung in Dauerfeldversuchen auf die Ertragsfähigkeit des Bodens und ausgewählte Qualitätsparameter angebauter Fruchtarten. 104. VDLUFA Kongreß Göttingen, 14. bis 19. Sept. 1992, 229.
- 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. (1995): Effekte langjähriger unterschiedlicher Primärbodenbearbeitung auf ausgewählte Bodenkennzahlen und das Ertragsverhalten von Winterweizen (*Triticum aestivum* L.), Körnermais (*Zea mays* L.) und Zuckerrübe (*Beta vulgaris* L. ssp. var. *vulgaris altissima* Doell) im semihumiden Ackerbaugesbiet Oberösterreichs. Habilitationsschrift, Univ. für Bodenkultur, Wien.
- 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.
- MÄRLÄNDER, B. (1989): Optimale Bestandesdichte bei Zuckerrüben – Ein Beitrag zur Definition der Produktionsfunktion. Z. Zuckerind. 114, 486–494.
- MÄRLÄNDER, B. (1990): Einfluß der Bestandesdichte auf Ertrags- und Qualitätskriterien sowie mögliche Ursachen der Konkurrenz in Zuckerrübenbeständen. J. Agronomy & Crop Science 164, 120–130.
- MÄRLÄNDER, B. (1991): Zuckerrüben. Produktionssteigerung bei Zuckerrüben als Ergebnis der Optimierung von Anbauverfahren und Sortenwahl sowie durch Züchtungsfortschritt. Habilitationsschrift. Ute Bernhard-Pätzold, Stadthagen.
- MÜLLER, H. J. (1991): Bodenbearbeitung im Sommer. Agro Zucker H. 3, 21–22.
- MÜLLER, H. J. (1993): Übergewicht drückt auf Boden und Ertrag. Agro Zucker H. 4, 18–23.
- OUWERKERK VAN, C. (1993): Soil structure and mechanical resistance directly below the seedbed in a field experiment on a sandy clay loam in the Netherlands. Soil-Technology 6, 89–106.
- PABIN, J., J. SIENKIEWICZ and S. WLODEK (1991): Effect of loosening and compaction on soil physical pro-

- perties and sugar beet yield. *Soil and Tillage Res.* 19, 345–350.
- PITTELKOW, U., J. REICH, D. WERNER und C. MÄUSEZAHN (1988): Ergebnisse zur Krumbasislockerung auf Löß- und Berglehmsubstraten. *Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd.* 32, 23–30.
- ROSTOCK, E., D. KÖPPEN und W. REIHER (1988): Beziehungen zwischen klassifizierten Zuckerrübenenerträgen, ausgewählten Bodenfruchtbarkeitskennziffern und der Rübenverteilung in Versuchen ohne Eingriff auf Produktionsschlägen mit Löß-Schwarzerde. *Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd.* 32, 71–76.
- SOMMER, C. (1985): Ursachen und Folgen von Bodenverdichtungen sowie Möglichkeiten zu ihrer Vermeidung. *Landtechnik* 9, 378–384.
- SOMMER, C. (1990): Konservierende Bodenbearbeitung – ein Baustein integrierter Landbewirtschaftung. *Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges., Wien*, H. 42, 71–83.
- SOMMER, C., R. RUHM und H. J. ALTEMÜLLER (1981): Direkt- und Nachwirkungen starker Verdichtungen auf das Bodengefüge und den Pflanzenertrag. *Kali-Briefe (Büntehof)* Hannover, 15, 429–448.
- STEINERT, P. (1990): Nachweis der Wirkung des Schachtpflügens auf die Rübenkörperausformung. *Arch. Acker-Pflanzenbau u. Bodenkd.* 34, 241–248.
- TAYLOR, H. M. and G. S. BRAR (1991): Effect of soil compaction on root development. *Soil and Tillage Res.* 19, 111–119.
- WERNER, D., U. PITTELKOW, W. XYLANDER und H. UNGER (1986): Einfluß raddruckbedingter Verdichtungen auf Bodenstruktur und Ertrag sowie Hinweise zur Erkennung von Verdichtungswirkungen auf bindigen Ackerböden. *Feldwirtschaft* 27, 220–223.
- WIENINGER, L. und N. KUBADINOW (1971): Beziehungen zwischen Rübenanalysen und technischer Bewertung von Zuckerrüben. *Zucker* 24, 599–604.
- WIENINGER, L. und N. KUBADINOW (1973): Die Stickstoffdüngung und ihre Auswirkungen auf technologische Qualitätsmerkmale der Zuckerrübe. *Zucker* 26, 65–70.
- WINNER, C. (1981): *Zuckerrübenbau*. DLG-Verlag, Frankfurt/M.

Anschrift des Verfassers

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

Eingelangt am 20. August 1996

Angenommen am 6. November 1996