

Aus dem
Institut für Zuckerrübenforschung
Göttingen

Christodulos Pringas

**Reduzierte Bodenbearbeitungsintensität in
einer Zuckerrüben - Winterweizen -
Winterweizen - Fruchtfolge**
– Konzept für eine nachhaltige Entwicklung der
landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion

19 / 2005



Cuvillier Verlag Göttingen

**Reduzierte Bodenbearbeitungsintensität
in einer Zuckerrüben - Winterweizen - Winterweizen -
Fruchtfolge
– Konzept für eine nachhaltige Entwicklung
der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Agrarwissenschaften
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

Christodulos Pringas
geboren in Stadthagen

Göttingen, im Juli 2004

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2005
Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2004
ISBN 3-86537-356-9

D 7

Referent:	Prof. Dr. B. Märländer
Korreferent:	Prof. Dr. W. Lücke
Tag der mündlichen Prüfung:	09. Juli 2004

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2005
Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen
Telefon: 0551-54724-0
Telefax: 0551-54724-21
www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2005
Gedruckt auf säurefreiem Papier

ISBN 3-86537-356-9

Inhaltsverzeichnis

Publikationen	i
Verzeichnis der Abkürzungen	ii
I Prolog	1
II Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf Ertrag und Qualität von Winterweizen nach unterschiedlichen Vorfrüchten – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen	8
III Einfluss konservierender Bodenbearbeitung auf Ertrag, Qualität, Rentabilität und Cercosporabefall von Zuckerrüben – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen	37
IV Einfluss konservierender Bodenbearbeitung in Abhängigkeit von Jahr, Vorfrucht, Sorte und Fungizideinsatz auf den Ährenbefall mit <i>Fusarium</i> spp. und den Deoxynivalenolgehalt im Korn von Winterweizen	63
V Epilog	100
VI Literaturverzeichnis	111
Anhang	118

Folgende Manuskripte der vorliegenden Dissertation wurden bereits publiziert oder sind für eine Publikation vorgesehen:

PRINGAS, C. & H.-J. KOCH, 2004: Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf Ertrag und Qualität von Winterweizen nach unterschiedlichen Vorfrüchten – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen. Pflanzenbauwissenschaften. 8 (1), 24-33.

PRINGAS, C. & B. MÄRLÄNDER, 2004: Einfluss konservierender Bodenbearbeitung auf Ertrag, Qualität, Rentabilität und Cercosporabefall von Zuckerrüben – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen. Pflanzenbauwissenschaften 8 (2), 82-90.

PRINGAS, C., H.-J. KOCH & B. MÄRLÄNDER, 2004: Einfluss konservierender Bodenbearbeitung in Abhängigkeit von Jahr, Vorfrucht, Sorte und Fungizideinsatz auf den Ährenbefall mit *Fusarium* spp. und den Deoxynivalenolgehalt im Korn von Winterweizen (Publikation vorgesehen).

Abkürzungsverzeichnis

AB	Arbeitsbreite
Äh.	Ähre
AHL	Ammonitrat-Harnstoff-Lösung
BBCH	Entwicklungsstadium von Kulturpflanzen
BBV	Bodenbearbeitungsverfahren
BZE	Bereinigter Zuckerertrag
CCC	Cycocel (Wachstumsregulator)
cm	Zentimeter
D	Bodenbearbeitungsverfahren Direktsaat
DON	Deoxynivalenol
Drillma.	Drillmaschine
DSM	Direktsaatmaschine
EK-Sägerät	Einzelkornsägerät
Fa.	Firma
g	Gramm
ha	Hektar
KAS	Kalkammonsalpeter
KE	Kreiselegge
kg	Kilogramm
Kö.	Körner
KW	Kilowatt
L	Bodenbearbeitungsverfahren Locker
l	Liter
M	Bodenbearbeitungsverfahren Mulch
m	Meter
mg	Milligramm
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mmol	Millimol
N	Stickstoff
nm	Nanometer
P	Bodenbearbeitungsverfahren Pflug
Pfl.	Pflanzen
r ²	Bestimmtheitsmaß
R.	Rübe
Sh	Schlepperstunde
SMV	Standardmelasseverlust
t	Tonne
TKM	Tausendkornmasse
U	Unit = Einheit
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
*	signifikant bei $p \leq 0,05$
**	signifikant bei $p \leq 0,01$
***	signifikant bei $p \leq 0,001$

I Prolog

Bodenabtrag durch Wind- und Wassererosion führt weltweit zu irreversibler Bodendegradierung (BOARDMAN et al. 1990). Besonders groß strukturierte, mit dem Pflug (konventionell) bearbeitete Flächen bei Anbau von Reihenfrüchten sind durch Bodenabtrag gefährdet. Neben der Bewirtschaftungsform ist die Erosionsneigung weiterhin von den jeweiligen Standortfaktoren (Bodenbeschaffenheit, Hangneigung, Witterung) abhängig. Die negativen Auswirkungen des Bodenabtrags für die Landwirtschaft wurden bereits früh erkannt und beschrieben (STADLER 1880 zitiert in EHRENBURG 1951, GROHSE 1950). In Deutschland wurden zum Schutz des Bodens im Rahmen der guten fachlichen Praxis vor wenigen Jahren erstmals in Europa erosionsmindernde Maßnahmen im Bundesbodenschutzgesetz (BBODSCHG 1998) und der Bundesbodenschutzverordnung (BBODSCHV 1999) aufgenommen.

Erosionsmindernd wirken sich Maßnahmen aus, die durch eine Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität eine Bodenbedeckung mit Ernteresten erlauben (SKIDMORE & SIDDOWAY 1978, FRIELINGHAUS et al. 2001). Die Mulchauflage senkt bei Niederschlagsereignissen die kinetische Energie der Regentropfen und die Schleppkraft des Wassers (GEBHARDT et al. 1985). Dadurch vermindert sich der Abtrag von Bodenpartikeln und Nährstoffen (PESANT et al. 1987). Des Weiteren wird durch Bodenruhe die Bodenstruktur stabilisiert, und Regenwurmröhren bleiben intakt und gewährleisten somit gegenüber konventionell bearbeiteten Böden eine höhere Wasserinfiltrabilität (EHLERS 1992).

Auf eine langjährige Erfahrung mit erosionsmindernden Bodenbearbeitungsverfahren blickt die Landwirtschaft in den Vereinigten Staaten zurück. Bereits seit den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts werden konservierende Bodenbearbeitungsverfahren angewendet, um den Boden vor Winderosion zu schützen (GEBHARDT et al. 1985). Als konservierend gelten Verfahren, die eine Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität beinhalten sowie eine Bodenbedeckung mit Pflanzenresten von mindestens 30 % zum Zwecke des vorbeugenden Bodenschutzes ermöglichen (ANONYMUS 1988). In einigen Staaten werden bereits 40 % (z. B. Ohio 610.000 ha) der Anbaufläche gänzlich ohne Bodenbearbeitung bewirtschaftet (HAMMOND 1996). In Mitteleuropa findet die praktische Anwendung von Bodenbearbeitungsverfahren, die

eine Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität zum Ziel haben, erst seit wenigen Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung. So werden mittlerweile Zuckerrüben in Deutschland auf über 20 % (ca. 100.000 ha) der Anbaufläche ohne Pflug angebaut (MERKES et al. 2003). Dabei ist neben umweltrelevanten Überlegungen (Erosionsschutz) die zunehmende Akzeptanz hauptsächlich vor dem Hintergrund der ökonomischen Notwendigkeit zur Kostenreduktion zu erklären.

Dennoch herrscht hauptsächlich in Europa breite Skepsis über die praktische Anwendbarkeit pflugloser Bodenbearbeitung. Insbesondere im Bereich des Pflanzenschutzes werden negative Auswirkungen des Pflugverzichts befürchtet. Bereits die ersten Ergebnisse mit reduzierter Bodenbearbeitung zeigten eine Förderung des Unkrautdruckes, der sich ertragsmindernd auswirkte (RUSSELL & KEEN 1941). Trotz des technischen Fortschritts und der Einführung von Herbiziden zur Unkrautkontrolle führt eine höhere Unkrautdichte durch Pflugverzicht nach wie vor zu Mindererträgen (CAMARA et al. 2003). Nach BAEUMER et al. (1971) hängt aber die Akzeptanz nicht wendender Bodenbearbeitung entscheidend von der Bewältigung der Unkrautproblematik ab. So nehmen Unkrautarten wie *Galium aparine*, *Stellaria media*, *Alopecurus myosuroides* und *Agropyron repens* (KAHNT 1969, BAEUMER et al. 1971, CANNELL 1985, DIEZ et al. 1988, VOß 1997) bei pflugloser Bodenbearbeitung zu. Da die Entwicklung der Unkräuter im Herbst nicht durch die Pflugbearbeitung gestört wird, sind sie im Frühjahr stärker entwickelt und erfordern somit höhere Herbizid-Aufwandmengen (DIEZ et al. 1988). Dagegen berichtet BRÄUTIGAM (1990) über eine Unkrautzunahme bei reduzierter Bodenbearbeitung, deren Bekämpfung jedoch nicht zwangsläufig mit einem Mehraufwand an Herbiziden im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung verbunden ist.

Reduzierte Bodenbearbeitung muss aber nicht immer zu einer Förderung von Unkräutern führen. Insbesondere für dikotyle Unkrautarten wurde nach pflugloser Bodenbearbeitung auch eine Abnahme des Auftretens beobachtet (KNAB & HURLE 1986, PALLUTT 2002). In Abhängigkeit vom Mulchbedeckungsgrad ist sogar eine unkrauthemmende Wirkung (SOUKUP & HORÁK 1998) beziehungsweise eine deutlich niedrigere Verunkrautung als mit Pflugeinsatz möglich (PRINGAS et al. 2001).

Neben der Unkrautproblematik zeigen Untersuchungen eine Beeinflussung von Krankheiten und Schädlingen durch Pflugverzicht. Vor allem im Getreideanbau verbleiben durch die Verringerung der Bodenbearbeitungsintensität große Mengen an Ernteresten beziehungsweise Strohresten auf der Bodenoberfläche, die Pathogenen ein Überdauern ermöglichen können. Insbesondere für Getreidepathogene wie *Fusarium* spp. und *Drechslera tritici* spp. beschreiben verschiedene Autoren eine Befallszunahme in getreidebetonten Fruchtfolgen (GARBE 1994, EL TITI 1997, KREYE et al. 2000). Andererseits kann langfristig reduzierte Bodenbearbeitung durch Förderung von Antagonisten (ARNOLD-REIMER 1994) zu einer Verringerung des Auftretens von Halmerregern des Getreides führen, wie es für *Pseudocercospora herpotrichoides* und *Gaeumannomyces graminis* länger bekannt ist (BRÄUTIGAM 1994). Im Zuckerrübenanbau wurde für pilzliche Erreger bisher wenig zu deren Beeinflussung durch die Bodenbearbeitung beschrieben (GARBE et al. 1989).

Durch den Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung und das zunehmende Angebot an Pflanzenresten auf der Bodenoberfläche werden unter den tierischen Schädlingen vor allem Ackerschnecken gefördert (HAMMOND & STINNER 1987). In England und anderen europäischen Ländern sowie in mehrjährigen Praxisversuchen in den USA wurde bei reduzierter Bodenbearbeitung ein Massenaufreten von Ackerschnecken beobachtet. Untersuchungen von VOß (1997) zeigten jedoch, dass höhere Populationsdichten von Ackerschnecken in Raps, wie sie bei Pflugverzicht häufig anzutreffen sind, sich nicht zwangsläufig ertragsmindernd auswirken müssen.

Trotz der Defizite im Bereich des Pflanzenschutzes können pfluglose Bodenbearbeitungsverfahren durchaus im Ertrag mit der konventionellen Bodenbearbeitung konkurrieren, wie verschiedene Untersuchungen der letzten Jahre gezeigt haben. Während erste Ergebnisse zu pfluglosen Bodenbearbeitungsverfahren noch eine Ertragsunterlegenheit gegenüber der konventionellen Bodenbearbeitung aufzeigten (RUSSELL & KEEN 1941), änderten sich in den nachfolgenden Jahren die Beobachtungen durch den zunehmenden Wissensstand und technischen Fortschritt. So führte auf unkrautfreien Standorten verbesserte Saattechnik selbst in Direktsaat bei Getreide zu ähnlichem Ertrag wie bei konventioneller Bodenbearbeitung (KAHNT 1969). Für Getreide und teilweise für Zuckerrüben wurden diese Ergebnisse durch BAEUMER et al. (1971), BAEUMER & PAPE (1972) und MÄRLÄNDER (1978) bestätigt.

Auch jüngere Untersuchungen zeigen überwiegend eine Eignung des Zuckerrübenanbaues für pfluglose Bodenbearbeitungsverfahren (TEBRÜGGE & EICHHORN 1992, SOMMER & ZACH 1993 und ECCLESTONE 2001).

Während sich die ersten Untersuchungen mit pfluglosen Bodenbearbeitungsverfahren hauptsächlich pflanzenbaulichen Aspekten widmeten, richteten sich spätere Untersuchungen auch verstärkt auf wirtschaftliche Fragestellungen aus und zeigen deren überwiegend positive ökonomische Eignung. BRUNOTTE et al. (2001), ECCLESTONE (2001), MERKES et al. (2001) und NEUBAUER (2003) berichten über eine hohe Rentabilität pflugloser Verfahren gegenüber konventioneller Bodenbearbeitung. Vor allem der durch Pflugverzicht verringerte Arbeitszeitbedarf für die Bodenbearbeitung bewirkt Einsparungen im Bereich der Lohn- und Energiekosten (EICHHORN & GRUBER 1991, TEBRÜGGE & BÖHRNSEN 1995, ECCLESTONE 2001) und ist ein wesentlicher Grund dafür, dass in den USA mittlerweile nur noch 8 % der Ackerfläche gepflügt wird (LINKE 1995). Andererseits zeigt ein Vergleich von Anbauverfahren mit und ohne Pflug anhand von Schlagkarteien und Anbaustatistiken, dass Einsparungen in den Maschinenkosten möglich sind, diese aber durch höhere Pflanzenschutz aufwendungen zum Teil kompensiert werden können (GROTHAUS et al. 1996).

Die vorliegende Literaturübersicht zeigt, dass die Thematik zur reduzierten Bodenbearbeitung häufig Gegenstand von Untersuchungen war. Versuche von KAHNT (1969), BAEUMER et al. (1971), BAEUMER & PAPE (1972), MÄRLÄNDER (1978), CANNELL (1985), TEBRÜGGE (1988), CARTER (1994), EHLERS (1992), SOMMER (1999) und FRIELINGHAUS et al. (1997) haben der praktischen Landwirtschaft Möglichkeiten und Grenzen einer Bodenbearbeitung ohne Pflug aufgezeigt. Im Hinblick auf sich ständig ändernde Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft wird zukünftig der Informationsbedarf zu den Möglichkeiten und Grenzen aber noch ansteigen, insbesondere zu den langfristigen Auswirkungen dauerhaft reduzierter Bodenbearbeitung auf pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Kenngrößen. Dazu sind Untersuchungen mit hoher Aussagekraft in Dauerversuchen unter differenzierten Standort- und Witterungsbedingungen notwendig.

Bisherige Untersuchungen fanden nahezu ausschließlich in Parzellenversuchen mit geringem Flächenumfang je Einzelparzelle statt. Dies erlaubt nur den Einsatz spe-

zieller Versuchstechnik und schränkt dadurch eine umfassende pflanzenbauliche und letztlich ökonomische Bewertung stark ein. Vor diesem Hintergrund wurde um 1990 von der Südzucker AG ein Versuchskonzept entwickelt, in dem auf Großflächen unter praxisüblichen Produktionsbedingungen, insbesondere hinsichtlich der eingesetzten Technik, vier unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren dauerhaft auf verschiedenen Standorten in Süd- und Ostdeutschland getestet wurden. Im Einzelnen handelt es sich dabei um ein Verfahren konventioneller Bodenbearbeitung mit Pflug, zwei Verfahren konservierender Bodenbearbeitung mit flacher (10 cm, Verfahren „Mulch“) und tiefer (20 cm, Verfahren „Locker“) Bodenlockerung und einem Verfahren mit Verzicht auf jede Bodenbearbeitung (Direktsaat).

Zu Beginn der Versuchsserie (1994-1997) wurden Auswirkungen der Bodenbearbeitung auf pflanzenbauliche und ökonomische Kriterien untersucht (BECKER 1997). Die dabei gewonnenen Ergebnisse zeigten im Mittel über alle Standorte, dass konservierende Bodenbearbeitungsverfahren schon zu einem frühen Zeitpunkt nach ihrer Einführung eine ähnliche Ertragshöhe aufweisen können wie konventionelle Verfahren mit dem Pflug. Durch Einsparungen im Bereich der variablen Kosten übertrafen die konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren bei Betrachtung der gesamten Rotation geringfügig das Verfahren Pflug. Die Direktsaat erwies sich aus ökonomischer Sicht als unrentabel.

Die Untersuchungen des zweiten Projektabschnitts in den Jahren 1997-1999 (WEGENER 2001) widmeten sich auch der Wirkung der Bodenbearbeitung auf ökologische Aspekte (Bodenerosion, Energiebilanz). Anhand einer modellgestützten Erosionssimulation wurden Ergebnisse beim Anbau von Zuckerrüben gewonnen, die für das Verfahren Pflug einen Nettoaustrag von Feststoffmaterial in Höhe von $10,3 \text{ t ha}^{-1}$ ergaben. Bei Anwendung der konservierenden Verfahren reduzierte sich der Bodenaustrag um 99,9 % und bei Direktsaat trat keinerlei Feststoffverlagerung auf. Der Energieertrag der gesamten Rotation aus Senf-Zuckerrüben/Winterweizen /Winterweizen war im Verfahren Pflug am höchsten und sank mit abnehmender Intensität der Bodenbearbeitung. Die energieeffizienteste Produktion wurde jedoch unter Berücksichtigung der gesamten Rotation im konservierenden Verfahren mit flacher Bodenbearbeitung erreicht.

Aufbauend auf die pflanzenbaulich-ökonomische Analyse der Jahre 1994-1999 für die Fruchtarten Zuckerrübe und Winterweizen wurde die Untersuchung um drei weitere Versuchsjahre bis 2002 erweitert. Die Ergebnisse werden nachfolgend in drei Artikeln vorgestellt. Im ersten Artikel werden durch „Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf Ertrag und Qualität von Winterweizen nach unterschiedlichen Vorfrüchten – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen“ die Auswirkungen der Bodenbearbeitung auf Ertrag, Qualitäts- und Ertragskomponenten von Winterweizen nach Vorfrucht Winterweizen und Vorfrucht Zuckerrübe behandelt.

Die Auswirkungen der Bodenbearbeitung auf Ertrag, Qualitäts- und Bestandesparameter der Zuckerrübe und ihre ökonomischen Folgen auf Marktleistung, Produktionskosten und Vergleichsdeckungsbeitrag sind Gegenstand des zweiten Artikels mit dem Titel „Einfluss konservierender Bodenbearbeitung auf Ertrag, Qualität, Rentabilität und Cercosporabefall von Zuckerrüben – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen“. Zusätzlich wird aufgezeigt, wie die Bodenbearbeitung sich auf das Auftreten der im Zuckerrübenanbau immer größere Bedeutung erlangenden Krankheit *Cercospora beticola* Sacc. auswirkt.

Im dritten und abschließenden Artikel „Einfluss konservierender Bodenbearbeitung in Abhängigkeit von Jahr, Vorfrucht, Sorte und Fungizideinsatz auf den Ährenbefall mit *Fusarium* spp. und den Deoxynivalenolgehalt im Korn von Winterweizen“ wird das Auftreten des Weizenpathogens *Fusarium* spp. und das vom Erreger gebildete Mykotoxin Deoxynivalenol (DON) im Korn von Winterweizen behandelt. Neben der Beeinflussung durch die Bodenbearbeitung werden zusätzlich die Auswirkungen weiterer pflanzenbaulicher Maßnahmen und abiotischer Faktoren (Witterung) sowie der Wechselwirkungen auf den Erreger und die Deoxynivalenolkonzentration im Korn von Winterweizen vorgestellt.

Den Artikeln folgt abschließend für die Jahre 1994-2002 eine ökonomische Bewertung für die gesamte Rotation sowie eine Gesamtbetrachtung pflugloser Bodenbearbeitungsverfahren im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung.

Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf das Auftreten des beim Anbau von Weizen nach Vorfrucht Weizen häufig auftretenden Erregers *Drechslera tritici-repentis* (Died.)

Shoem. sowie die Beeinflussung der Ackerschnecken in Winterweizen und Zuckerrüben waren nur von untergeordneter Bedeutung. Die Ergebnisse wurden bereits an anderer Stelle veröffentlicht (PRINGAS et al. 2003a, PRINGAS et al. 2003b) und werden daher nachfolgend nicht weiter berücksichtigt.

Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf Ertrag und Qualität von Winterweizen nach unterschiedlichen Vorfrüchten – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen

Effects of Long Term Minimum Tillage on Yield and Quality of Winter Wheat as Affected by Previous Crop – Results from 9 Years of On-Farm Research

C. Pringas & H.-J. Koch
Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen

Zusammenfassung

Verfahren konservierender Bodenbearbeitung finden in Deutschland zunehmend Eingang in die Praxis, so dass ein steigender Bedarf an produktionstechnischen Informationen hierzu besteht. Vor diesem Hintergrund werden auf Großflächen an zehn Standorten in Süd- und Ostdeutschland seit 1994 vier Bodenbearbeitungssysteme (konventionell mit Pflug, konservierend mit und ohne Lockerung und Direktsaat) dauerhaft in einer Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergetreide-Fruchtfolge geprüft. Im vorliegenden Beitrag wird der Einfluss der Bodenbearbeitung auf Ertrag und Qualität von Winterweizen dargestellt.

Der Kornertrag wies sowohl im Mittel über alle Umwelten als auch differenziert nach den Vorfrüchten Zuckerrübe und Winterweizen keine Unterschiede zwischen dem Verfahren Pflug und den Verfahren mit konservierender Bodenbearbeitung auf. Ein zum Teil signifikant geringerer Kornertrag lag im Verfahren Direktsaat vor. Verursacht wurde dieser Ertragsabfall durch einen niedrigeren Feldaufgang, der eine signifikant verringerte Ährendichte nach sich zog. Generell ging die Ährendichte mit sinkender Intensität der Bodenbearbeitung zurück. Eine Kompensation der niedrigeren Ährendichte erfolgte im Mittel über alle Umwelten sowie nach Vorfrucht Winterweizen durch eine Zunahme der Kornzahl pro Ähre. Die Tausendkornmasse blieb von der Bodenbearbeitung weitgehend unbeeinflusst.

Die Qualitätsparameter Fallzahl, Hektolitergewicht und Sortierung des Winterweizenkorns wurden nur unwesentlich von der Bodenbearbeitung beeinflusst. Rohprotein-gehalt und Sedimentationswert wiesen in den Verfahren mit pflugloser Bodenbearbeitung geringere Werte auf.

Schlüsselworte: Winterweizen, Vorfrucht, konservierende Bodenbearbeitung, Ertrag, Ertragskomponenten, Kornqualität

Summary

In recent years minimum tillage systems became more and more widespread in Germany, raising the need for specific informations on crop husbandry. With respect to this, four tillage systems (conventional tillage with mouldboard ploughing (ploughing), conservation tillage with (loosening) and without loosening (mulching), direct drilling) were studied in a continuous on-farm trial for their suitability for growing sugar beet and winter wheat at 10 sites in southern and eastern Germany. The present article deals with the influence of soil tillage on grain yield and quality of winter wheat.

The grain yield of wheat following both, sugar beet and wheat, was similar after ploughing, loosening and mulching. When direct drilling was applied, winter wheat exhibited a decrease in grain yield. This decrease was caused by a lower plant establishment resulting in a significantly lower ear density. Generally, ear density was diminished with decreasing tillage intensity. The lower ear densities were compensated by larger numbers of grains per ear. This effect was significant on average for all years and sites and for wheat following wheat. Thousand kernel weight was not affected by tillage.

Except crude protein content and sedimentation value, quality parameters of winter wheat grains were similar between tillage systems. Compared to ploughing crude protein content and sedimentation value decreased slightly with ploughless tillage.

Keywords: winter wheat, preceding crop, conservation tillage, yield, yield components, grain quality

Einleitung

Steigende ökologische und ökonomische Anforderungen an die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion haben in den letzten Jahren wesentlich zur Ausweitung der konservierenden Bodenbearbeitung beigetragen. Mit konservierender Bodenbearbeitung

und der damit verbundenen Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität wird unter anderem der Schutz des Bodens vor Erosion und die Vermeidung von Bodenschadverdichtungen angestrebt (SOMMER & BRAMM 1981, EHLERS 1991). Ökonomische und produktionstechnische Vorteile beinhalten Einsparmöglichkeiten von Arbeitszeit, Energie und Aufwendungen für Maschinen (EHLERS 1992, BRUNOTTE et al. 2001).

Trotz zahlreicher Versuche, welche die genannten Vorteile des Pflugverzichts belegen (DIEZ et al. 1988, TEBRÜGGE 1994, BECKER 1997, WEGENER et al. 2000, NITZSCHE et al. 2000), stoßen pfluglose Bodenbearbeitungsverfahren in der Praxis häufig auf Ablehnung. Ein Grund hierfür sind die auf der Bodenoberfläche verbleibenden Erntereste, welche wesentlich zum Erosionsschutz beitragen (BRUNOTTE & SOMMER 1994), jedoch aus phytopathologischer Sicht eine mögliche Ausbreitungsquelle von pilzlichen Erregern und tierischen Schädlingen darstellen (BACON & CHRISTIAN 1991, VOß 1998, KREYE et al. 2000). Ein Anstieg des Infektionsdruckes ist dennoch nicht zwingend mit konservierender Bodenbearbeitung verbunden (BRÄUTIGAM & TEBRÜGGE 1997, HEITEFUß et al. 1997, SIEVERT 2000).

Erntereste auf der Bodenoberfläche können neben dem möglichen Einfluss auf Krankheiten und Schädlinge eine Wirkung auf die Aussaat und den Feldaufgang der Kulturen haben. Insbesondere Getreidestrohreste stellen ein Risiko für die auflaufende Saat dar. Hohe Strohaufgaben, wie sie unter mitteleuropäischen Bedingungen vorliegen können, behindern häufig die Aussaattechnik und verursachen Funktionsstörungen bei der Saatgutablage (BÖHRNSEN 1994, RUMP 2002).

Trotz der beschriebenen Problematik finden umweltverträgliche Bodenbearbeitungsverfahren Akzeptanz, wenn sich mit ihnen neben Umweltverträglichkeit zugleich Kosteneinsparungen und erhöhte Wettbewerbsfähigkeit realisieren lassen (TEBRÜGGE 1994). Versuche von TEBRÜGGE & BÖHRNSEN (1995), JUISTER & WILDE (2000), BRUNOTTE et al. (2001) und WAGNER (2001) zeigen, dass mit Systemen konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat ähnliche Deckungsbeiträge realisiert werden können wie mit konventionellen Verfahren.

Um Bodenbearbeitungsverfahren mit hoher Aussagekraft für die praktische Landwirtschaft bewerten zu können, bedarf es neben Parzellenversuchen auch Unter-

suchungen unter Praxisbedingungen (EICHHORN et al. 1991), in denen betriebsübliche Maschinenteknik eingesetzt wird. Vor diesem Hintergrund werden seit 1994 auf zehn Standorten in typischen Ackerbauregionen Süd- und Ostdeutschlands vier unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren dauerhaft geprüft. Die Versuche liegen auf Großflächen von Praxisbetrieben. Ziel ist es, den Einfluss der Bodenbearbeitung auf pflanzenbauliche, ökonomische, ökologische und phytopathologische Aspekte zu quantifizieren. Bisherige Ergebnisse wurden von BECKER & KOCH (1997), BECKER & MÄRLÄNDER (1998) und WEGENER (2001) veröffentlicht. Weiterführende Untersuchungen erfolgen zur Zeit zum Einfluss der Bodenbearbeitung auf Kenngrößen der Bodenstruktur mit Relevanz für Pflanzenwachstum und Bodenschutz. Der vorliegende Beitrag umfasst ausschließlich pflanzenbauliche Ergebnisse des Anbaus von Winterweizen. Neben der Gesamtbetrachtung ist es nun nach 9-jähriger Versuchsdurchführung möglich, auch den Einfluss der Bodenbearbeitung auf Bestandesetablierung und Ertragsbildung von Winterweizen differenziert nach den Vorfrüchten Zuckerrübe und Winterweizen darzustellen.

Material und Methoden

Mit der Durchführung der vorliegenden Versuchsserie wurde 1994 auf zehn Standorten in Süd- und Ostdeutschland begonnen (Tab. 1). Je Standort werden die Versuche auf Großflächen (10-40 ha) ohne Wiederholungen durchgeführt. Zwischen den Standorten bestehen bezüglich der Bodenverhältnisse (Bodentyp, Bodenart und Ackerzahl) und ihrer Bearbeitbarkeit deutliche Unterschiede (ANONYMUS 1997, TEIWES 1997). Der Bodentyp variiert je nach Standort von Schwarzerde bzw. Auen-schwarzerde und Parabraunerde mit Ackerzahlen über 70 bis zu Parabraunerde-Pseudogley und -Braunerde mit Ackerzahlen unter 60.

Leicht zu bearbeitende Böden mit hohen Schluffanteilen liegen an den Standorten Grombach, Einsiedel, Tüchelhausen, Friemar, Lüttewitz und Salzmünde vor. Der Standort Zschortau, dessen Boden durch einen höheren Sandanteil geprägt ist, zeichnet sich ebenfalls durch leichte Bearbeitbarkeit des Bodens aus. Schwer zu bearbeitende Böden aufgrund tonig-lehmiger Verhältnisse charakterisieren die Standorte Gieshügel und Sailtheim. Am Standort Insultheim erschwert ein hoher Tonanteil bei mittlerem Schluffanteil die Bearbeitung des Bodens.

Tab. 1: Standortbeschreibung und Bodenverhältnisse der Versuchsstandorte
Characterisation and soil parameters of sites

Ort	Region	Höhe über NN [m]	Bo-den-art*	Bodentyp	Ackerzahl
Gieshügel	Unterfranken	325	Ut4	Parabraunerde/Braunerde	47
Grombach	Kraichgau	270	Ut3	Parabraunerde/Pararendzina	68
Einsiedel	Schwäbische Alb	480	Ut3	Parabraunerde/Pseudogley	58
Insultheim	Rheinebene	95	Ut4	Auenswarzerde	72
Sailtheim	Tauber-Bauland	360	Ut4	Parabraunerde/Braunerde	54
Tüchelshn.	Ochsenfurter Gau	270	Ut4	Parabraunerde	75
Friemar	Thüringer Becken	310	Ut4	Braunerde-Schwarzerde	80
Lüttewitz	Lommatzscher Pflege	290	Ut3	Parabraunerde	75
Salzmünde	Hallesches Ackerland	140	Ut2	Schwarzerde	85
Zschortau	Leipziger Land	110	Slu	Parabraunerde-Pseudogley	66

*nach Bodenkundlicher Kartieranleitung

Die Witterungsdaten eines Erntejahres beziehen sich auf die Monate von Oktober des Vorjahres bis September des Erntejahres und werden von nahegelegenen Wetterstationen zur Verfügung gestellt (ANONYMUS 1993-2002). Die Standorte unterscheiden sich sowohl im langjährigen Mittel (1961-1990) der Temperatur als auch des Niederschlags voneinander (Tab. 2). Die Temperaturdifferenz vom kältesten (Friemar) zum wärmsten Standort (Insultheim) beträgt 2,6 °C. Die jährliche Niederschlagssumme bewegt sich zwischen 487 mm am Trockenstandort Salzmünde und 837 mm am Standort Einsiedel mit der höchsten Niederschlagsmenge. Im Vergleich zum langjährigen Mittel (1961-1990) wurde im Versuchszeitraum (1994-2002) an allen Standorten eine Veränderung der Witterung beobachtet. Die Jahresdurchschnittstemperatur lag um 0,4 bis 1,2 °C, die Jahresniederschlagssumme um 15 bis 102 mm über dem langjährigen Mittel. Nur am Standort Einsiedel nahm die Jahresniederschlagssumme in den Jahren 1994 bis 2002 gegenüber dem langjährigen Mittel um 29 mm ab.

Tab. 2: Witterungsdaten der Versuchsstandorte (ANONYMUS, 1993-2002)
Weather characteristics of sites

Ort	Temperatur, Mittel Okt. - Sep.			Niederschlag, Mittel Okt. – Sep.		
	1961-'90 [°C]	1994-'02 [°C]	Differenz [°C]	1961-'90 [l m ⁻²]	1994-'99 [l m ⁻²]	Differenz [l m ⁻²]
Gieshügel	9,1	9,9	+ 0,8	602	617	+ 15
Grombach	9,3	10,5	+ 1,2	776	854	+ 78
Einsiedel	8,3	9,3	+ 0,1	837	808	- 29
Insultheim	10,4	11,2	+ 0,8	588	650	+ 62
Sailtheim	8,6	9,5	+ 0,9	709	811	+ 102
Tückelhsn.	9,1	9,5**	+ 0,4	630	655**	+ 25
Friemar	7,8	8,5	+ 0,7	517	552	+ 35
Lüttewitz	8,6	9,5	+ 0,9	572	615	- 43
Salzmünde	8,8	9,8	+ 1,1	487	537	+ 50
Zschortau	8,8	9,9*	+ 1,1	512	554*	+ 42

* Mittel 1996-2002; ** Mittel 1994-1999

Die Versuche wurden an jedem Standort auf Großparzellen mit homogenen Bodenverhältnissen durchgeführt. Die Großparzellen waren in vier etwa gleich große und nebeneinander liegende Teilflächen unterteilt, auf denen die vier Bodenbearbeitungsverfahren in langjährig ortsfesten Parzellen geprüft wurden. Im Verfahren Pflug erfolgte nach Beerntung der Hauptfrucht eine krumentiefe (30 cm tief) wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug. Das Verfahren Locker war charakterisiert durch eine nicht wendende Lockerung des Bodens auf einer Tiefe von 20 bis 30 cm. Eine deutlich flachere Bodenbearbeitung (10-15 cm) wurde im Verfahren Mulch angewandt und im Verfahren Direktsaat auf jegliche Bodenbearbeitung mit Ausnahme einer Saatbettbereitung vor der Aussaat von Zuckerrüben verzichtet. In einer dreifeldrigen Fruchtfolge wurde nach Zuckerrüben stets Winterweizen angebaut, dem eine weitere Körnerfrucht folgte (in der Regel Winterweizen). Die Bodenbearbeitung erfolgte zu allen Früchten mit praxisüblicher Maschinenteknik (Tab. 3).

Tab. 3: Durchgeführte Arbeitsgänge zu allen Hauptfrüchten in den vier geprüften Bodenbearbeitungsverfahren
Soil tillage operations conducted in the different treatments

	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung	+	+	+	-
Grundbodenbearbeitung	+ ¹	+ ²	-	-
Saatbettbereitung	+	+	+	0

+ = Maßnahme wurde durchgeführt; - = Maßnahme wurde nicht durchgeführt

0 = flache Saatbettbereitung nur zu Zuckerrüben

¹ = Pflugeinsatz; ² = Einsatz von Flügel- oder Meißelschar

Die Saatstärke der Körnerfrüchte war von 1994 bis 2001 nach Standort und Jahr differenziert in allen Bodenbearbeitungsverfahren einheitlich. Erstmals im Jahr 2002 wurde im Verfahren Direktsaat beim Anbau von Winterweizen nach Vorfrucht Winterweizen die Aussaatmenge gegenüber den übrigen Verfahren um 10 % erhöht. Die Düngung erfolgte je nach Feldfrucht und Standort in allen Bodenbearbeitungsverfahren einheitlich nach vorhergehenden Bodenuntersuchungen (EUF-Methode) und basierte auf Düngeempfehlungen des BGD Bodengesundheitsdienstes GmbH.

Ebenfalls einheitlich erfolgte der Pflanzenschutz mit Fungiziden und Insektiziden. Differenzierte Behandlungen mit Herbiziden, Molluskiziden oder Rodentiziden erfolgten, wenn sich das Vorkommen von Unkräutern und Schädlingen auf bestimmte Bodenbearbeitungsverfahren beschränkte. Alle Bekämpfungsmaßnahmen orientierten sich an der jeweiligen Befallssituation.

Vor dem Drusch wurden die Vorgewende sowie eine Mährescherarbeitsbreite (6 m) an den Rändern jedes Bodenbearbeitungsverfahrens entfernt. Nach Vermessung der Erntefläche erfolgte die Beerntung. Bei der separaten Wiegung wurden repräsentative Proben gezogen, um den Wassergehalt und die Qualitätsparameter (Proteingehalt, Fallzahl, Sedimentationswert, Tausendkornmasse, Hektolitergewicht, Vollkornanteil) im Erntegut zu bestimmen. Die Pflanzendichte von Winterweizen wurde an 30 über der Versuchsfläche diagonal liegenden Zählstellen bestimmt. An jeder Zählstelle wurde nach Winter zwischen den Entwicklungsstadien BBCH 11 und 21 auf einer Fläche von 0,2 m² an zwei Pflanzenreihen die Anzahl der Pflanzen gezählt. Nach der gleichen Methode wurde nach Beerntung des Winterweizens die Ähren-

dichte anhand der Halmreste (Stoppeln) bestimmt. Die Anzahl Ähren pro Pflanze wurde aus diesen beiden Parametern berechnet. Die Ertragskomponente Anzahl Körner pro Ähre wurde aus Ährendichte, Tausendkornmasse und Kornertrag berechnet. Alle Ertrags- und Qualitätsparameter beziehen sich auf einen Trockenmassegehalt von 85 %.

Bei Berücksichtigung aller Standorte und Jahre ergeben sich insgesamt 38 Einzelergebnisse für Winterweizen. Zur Beurteilung des Vorfruchteffektes von Zuckerrübe und Winterweizen auf den Kornertrag und die Ertragskomponenten von nachfolgendem Winterweizen wurden Ergebnisse von Weizen nach Rüben (Rübenweizen, 24 Umwelten) nur berücksichtigt, wenn auf dem entsprechenden Standort im nachfolgenden Jahr ebenfalls Winterweizen (Stoppelweizen, 12 Umwelten) angebaut wurde. Entsprechend sinkt die Zahl der Umwelten für den Vergleich der Vorfruchtwirkung auf 12. Einzelversuche mit Vorfrucht Ackerbohne und Körnermais (je 1 Umwelt) wurden nicht berücksichtigt.

Statistische Auswertung

Versuche unter Produktionsbedingungen erfordern eine Durchführung auf Großflächen. Die für den Einsatz praxisüblicher Maschinen erforderliche Ausdehnung solcher Großflächenparzellen erlaubt es jedoch nicht, Wiederholungen anzulegen. Somit können Bearbeitungseffekte innerhalb eines Jahres an einem Standort nicht statistisch geprüft werden. Um dennoch durch die Bodenbearbeitung hervorgerufene Effekte statistisch zu bewerten, wurden die Einzelergebnisse (Jahr mal Standort) als Wiederholungen betrachtet und einer Varianzanalyse mit nachfolgendem F-Test unterzogen. Bei signifikantem F-Wert erfolgte ein Mittelwertvergleich nach Tukey mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$. Zur besseren Veranschaulichung werden die Ergebnisse in Relativwerten dargestellt.

Ergebnisse

Ertrag und Qualität im Mittel aller Umwelten

Im Mittel aller Einzelversuche der Jahre 1994 bis 2002 nahmen mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität die Ertragskomponenten Pflanzen- und Ährendichte ab (Abb. 1). Die Pflanzendichte verringerte sich von 244 Pfl. m⁻² in der Variante Pflug auf 241 Pfl. m⁻² in der Variante Locker und auf 236 Pfl. m⁻² in der Variante Mulch. Eine um 13 % signifikant geringere Pflanzendichte wurde nach Direktsaat mit 212 Pfl. m⁻² festgestellt, die in der Folge zu einer signifikant höheren Bildung ährentragender Halme an der Einzelpflanze führte. Eine nahezu identische Beährung (Anzahl Ähren pro Pflanze) der Einzelpflanzen wurde in den Verfahren Pflug, Locker und Mulch festgestellt.

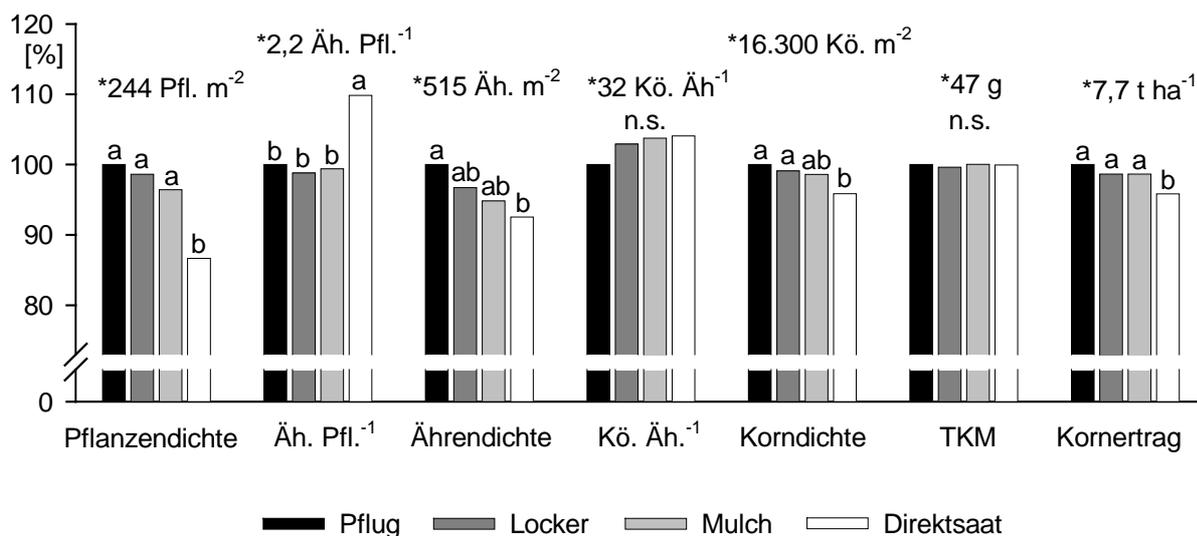


Abb.1: Relativwerte (*Pflug = 100) von Kornertrag und Ertragskomponenten von Winterweizen bei dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung, Mittel über 10 Standorte, 1994-2002, n = 38, Äh. = Ähre, Kö. = Körner, Pfl. = Pflanze, TKM = Tausendkornmasse

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede beim jeweiligen Parameter, $p \leq 0,05$; Tukey-Test, n.s. = nicht signifikant

Grain yield and yield components (relative values, *ploughing = 100) of winter wheat as affected by soil tillage system, 10 sites, 1994-2002, n = 38, Äh. = ear, Kö. = grains, Pfl.= plants, TKM = thousand kernel weight

Different letters indicate significant differences within one parameter, $p \leq 0,05$; Tukey, n.s. = not significant

Die Ährendichte als Resultat aus Pflanzendichte und Anzahl Ähren pro Pflanze nahm ausgehend von der Variante Pflug mit 515 Ähren m^{-2} um 3 % in der Variante Locker, 5 % in der Variante Mulch und 7 % in der Direktsaatvariante ab. Im Vergleich zur Pflugvariante lag in den Varianten Mulch und Direktsaat eine signifikant niedrigere Ährendichte vor. Die Anzahl Körner pro Ähre war im Verfahren Pflug um 1 Korn pro Ähre (nicht signifikant) niedriger als in den übrigen Verfahren. Die Kornzahl pro m^2 (Korndichte) als Produkt von Ährendichte und Kornzahl pro Ähre nahm mit abnehmender Intensität der Bodenbearbeitung ab. Dabei trat in der Direktsaatvariante im Vergleich zur Pflug- und Lockervariante eine signifikante Verringerung der Kornzahl pro m^2 auf. Die Tausendkornmasse blieb von der Bodenbearbeitung unbeeinflusst. Der höchste Kornertrag wurde mit $7,7 \text{ t ha}^{-1}$ im Verfahren Pflug erreicht, von dem sich der Ertrag in den Verfahren Locker und Mulch mit $7,6 \text{ t ha}^{-1}$ nur tendenziell unterschied. Mit $7,4 \text{ t ha}^{-1}$ wies das Verfahren Direktsaat einen signifikant geringeren Ertrag auf als die übrigen Verfahren.

Kornproben aus den Bodenbearbeitungsverfahren Pflug und Direktsaat wiesen mit 12,94 bzw. 12,86 % die höchsten Proteingehalte auf (Abb. 2). In den Verfahren Mulch und Locker lagen die Proteingehalte um 0,30 und 0,34 Prozentpunkte niedriger als in der Variante Pflug. Signifikant unterschieden sich dabei die Verfahren Pflug und Locker.

Der Sedimentationswert (Abb. 2) war in den Verfahren ohne Pflugeinsatz signifikant verringert. Die Unterschiede zum Verfahren Pflug betragen zwischen 6 und 8 %. Ausgehend von den Verfahren Direktsaat und Pflug wurde in den Verfahren Locker und Mulch eine tendenziell niedrigere Fallzahl beobachtet. Identische Werte zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren wiesen die Parameter Hektolitergewicht und Sortierung auf (Abb. 2).

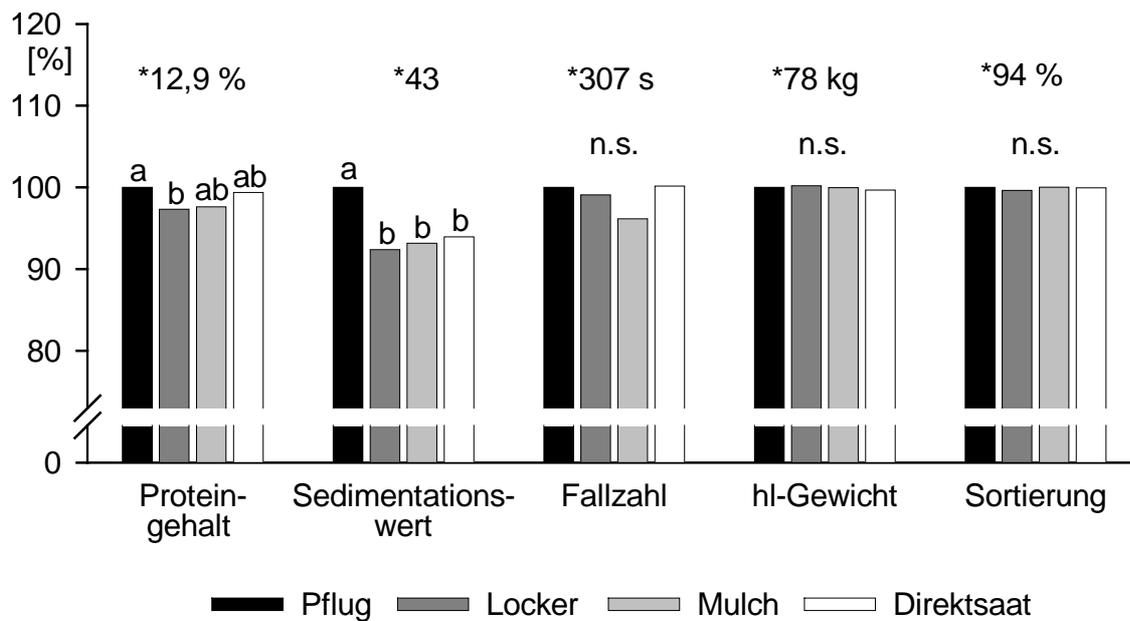


Abb. 2: Relativwerte (*Pflug = 100) der Qualitätsparameter von Winterweizen bei dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung, Mittel über 10 Standorte, 1994-2002, n = 38

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede beim jeweiligen Parameter, $p \leq 0,05$; Tukey-Test, n.s. = nicht signifikant

Quality parameters (relative values, *ploughing = 100) of winter wheat as affected by soil tillage system, 10 sites, 1994-2002, n = 38

Different letters indicate significant differences within one parameter, $p \leq 0,05$; Tukey, n.s. = not significant

Einfluss der Vorfrucht auf Kornertrag und Ertragskomponenten

Das Ertragsniveau des Stoppelweizens lag in allen Bodenbearbeitungsverfahren um ca. 10 % unter dem des Rügenweizens. Sowohl bei Rügenweizen als auch bei Stoppelweizen nahm mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität der Kornertrag ab (Abb. 3). Nach Vorfrucht Zuckerrübe wiesen die Verfahren Locker und Mulch tendenziell geringere Erträge (3-4 %) im Vergleich zum Verfahren Pflug auf, während der Minderertrag im Verfahren Direktsaat (5 %) signifikant war. Bei Stoppelweizen bestanden ähnliche Ertragsunterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren, ohne dass diese signifikant waren.

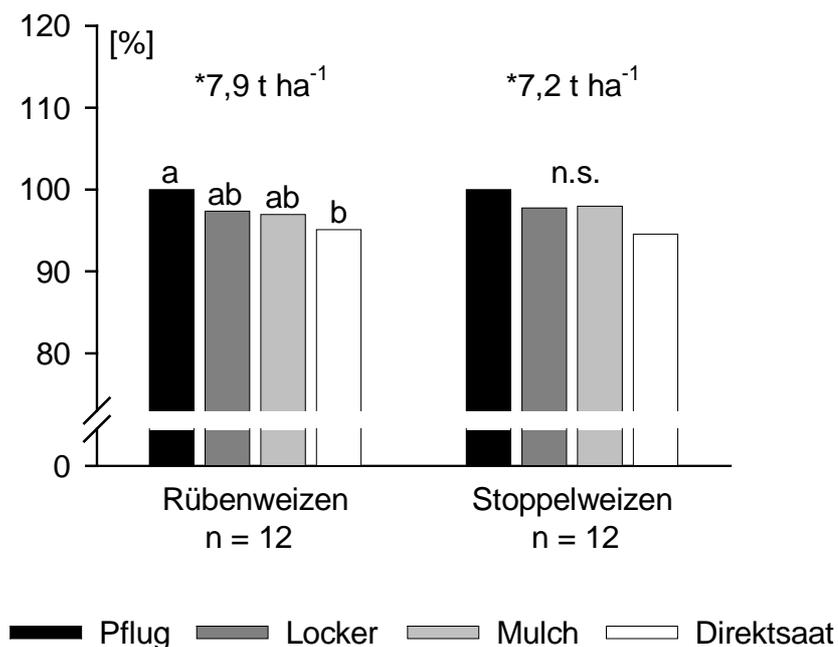


Abb. 3: Relativwerte (*Pflug = 100) des Kornertrags von Rüben- und Stoppelweizen bei dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung, Mittel über 10 Standorte, 1994-2002

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede beim jeweiligen Parameter, $p \leq 0,05$; Tukey-Test, n.s. = nicht signifikant

Grain yield (relative values, *ploughing = 100) of stubble wheat and wheat following sugar beet as affected by soil tillage system, 10 sites, 1994-2002

Different letters indicate significant differences within one parameter, $p \leq 0,05$; Tukey, n.s. = not significant

Die Pflanzendichte von Rübenweizen wies im Verfahren Locker identische, im Verfahren Mulch hingegen geringfügig niedrigere Werte als in der Pflugvariante auf (Abb. 4). Signifikant geringer war die Pflanzendichte im Verfahren Direktsaat. Der Unterschied zum Verfahren Mulch betrug dabei 9 %, zur Locker- und Pflugvariante 11 %. Bei Stoppelweizen trat im Verfahren Direktsaat ebenfalls eine signifikant niedrigere Pflanzendichte als in den übrigen Verfahren auf. Die Differenz zu den Verfahren Locker und Mulch betrug dabei 14 bzw. 15 %, zum Verfahren Pflug 22 % und war damit größer als nach Vorfrucht Zuckerrübe. In der Bildung ährentragender Halme pro Pflanze glichen sich bei Rübenweizen die Werte der Verfahren Pflug, Locker und Mulch. Im Verfahren Direktsaat wurde eine tendenziell höhere Bildung ährentragender Halme pro Pflanze beobachtet. Die Beähnung des Stoppelweizens nahm gegenüber dem Verfahren Pflug in den Verfahren mit konservierender Bodenbear-

beitung tendenziell und im Verfahren Direktsaat signifikant zu. Die höhere Ährenbildung pro Pflanze im Verfahren Direktsaat kompensierte die geringere Pflanzendichte im Hinblick auf die Ährenzahl pro m^2 nur teilweise.

Die relative Differenz der Ährendichte zwischen Pflug und Direktsaat betrug für Rübenerweizen 5 % und für Stoppelweizen 9 % (Abb. 4). Diese Differenz war in etwa um die Hälfte geringer als die der Pflanzendichte und war signifikant. In den Verfahren Pflug, Locker und Mulch unterschied sich die Ährendichte nach Vorfrucht Zuckerrübe kaum voneinander. Nach Vorfrucht Winterweizen konnte bei abnehmender Bodenbearbeitungsintensität eine tendenziell geringere Ährendichte zwischen diesen Varianten festgestellt werden. Durch die Bekörnung der Ähre wurde für Stoppelweizen eine weitere Kompensation der variantenspezifisch verringerten Ährendichte beobachtet (Abb. 4). Im Vergleich zum Verfahren Pflug bildete der Weizen in den übrigen Verfahren zwischen 2,1 und 2,5 Körner pro Ähre mehr. Signifikante Unterschiede traten dabei zwischen den Verfahren Pflug und Locker auf. Rübenerweizen bildete dagegen im Verfahren Pflug bis zu 1 Korn pro Ähre mehr als in den übrigen Verfahren. Signifikante Unterschiede bestanden nicht.

Der Kompensationseffekt durch die höhere Bekörnung von Stoppelweizen wird am Parameter Kornzahl pro m^2 (Korndichte) deutlich. Das Produkt von Ährendichte und Körner pro Ähre zeigt eine Annäherung der vier Bodenbearbeitungsverfahren. In den Verfahren Locker und Mulch wurden sogar tendenziell mehr Körner pro m^2 gebildet als im Verfahren Pflug. Bei Winterweizen nach Vorfrucht Zuckerrüben wurde durch die annähernd gleiche Bekörnung kein Kompensationseffekt zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren beobachtet. Dadurch zeigten die Verfahren auch bei der Kornzahl pro m^2 eine ähnliche Abfolge und statistische Bewertung wie beim Parameter Ährendichte.

Die Tausendkornmasse von Rübenerweizen zeigte keine Beeinflussung durch die Bodenbearbeitung. Bei Stoppelweizen trat in den Verfahren Locker, Mulch und Direktsaat eine tendenziell geringere Kornmasse als in der Pflugvariante auf.

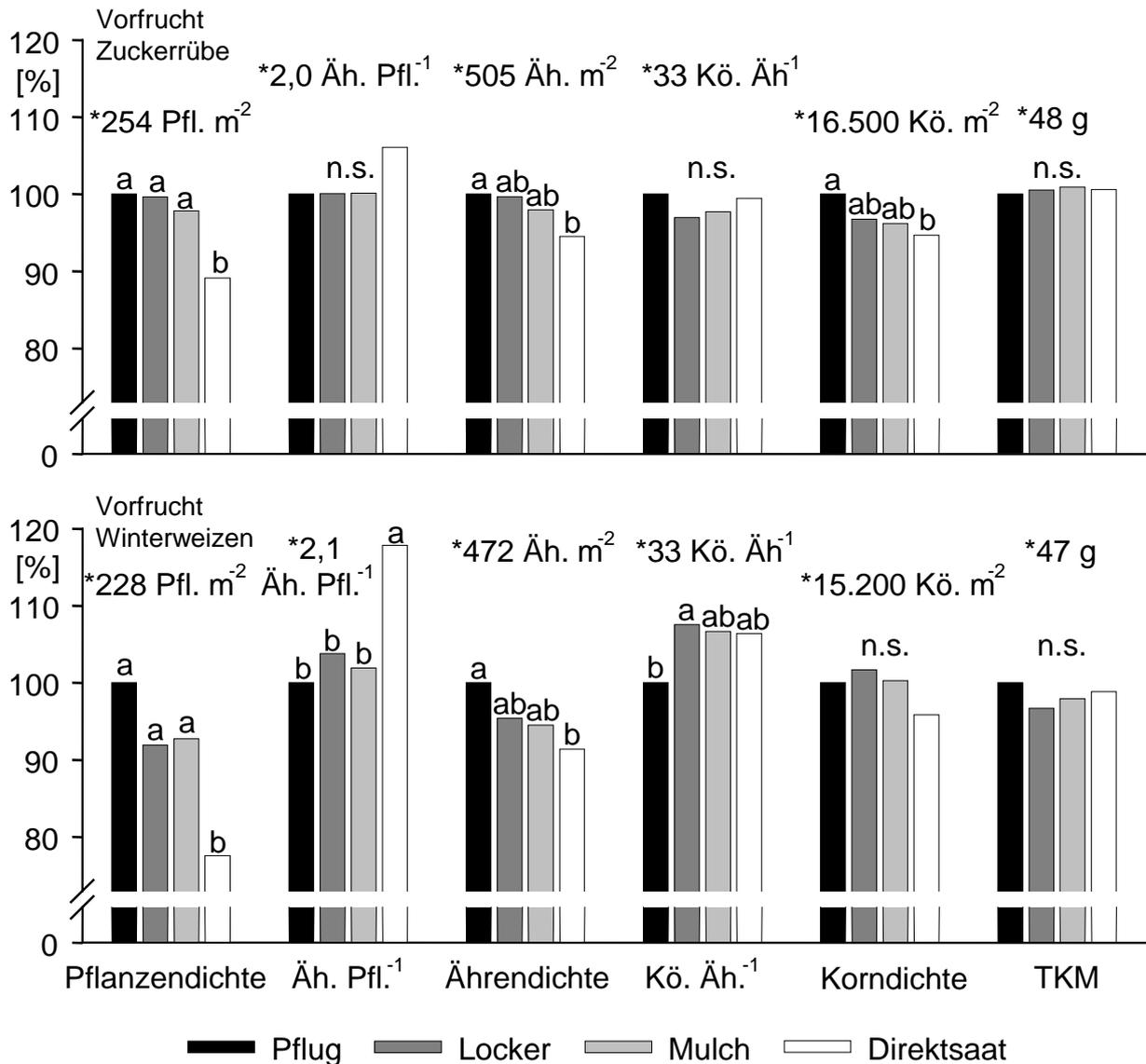


Abb. 4: Relativwerte (*Pflug = 100) der Ertragskomponenten von Weizen nach den Vorfrüchten Zuckerrübe und Winterweizen bei dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung, Mittel über 10 Standorte, 1994-2002, n = 12, weitere Erläuterungen siehe Abb. 1

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede beim jeweiligen Parameter innerhalb einer Vorfrucht, $p \leq 0,05$; Tukey-Test, n.s. = nicht signifikant

Yield components (relative values, *ploughing = 100) of stubble wheat and wheat following sugar beet as affected by soil tillage system, 10 sites, 1994-2002, n = 12, for further explanations cv Fig. 1

Different letters indicate significant differences for parameters within each preceding crop, $p \leq 0,05$; Tukey, n.s. = not significant

Diskussion

Untersuchungen zum Einfluss von Verfahren konservierender Bodenbearbeitung auf Ertrag und Qualität von Winterweizen werden in Deutschland seit Ende der 60er Jahre durchgeführt (KAHNT 1969, BAEUMER et al. 1971, SOMMER & ZACH 1993, TEBRÜGGE 1994, NEUBAUER 2003). Bis auf wenige Ausnahmen wurde in diesen Parzellenversuchen teilweise deutlich von praxisüblicher Maschinenteknik abweichende, spezielle Versuchstechnik eingesetzt. Die Ergebnisse zeigten, dass auch mit konservierender Bodenbearbeitung annähernd gleiche Erträge zu erzielen waren wie mit konventioneller Bodenbearbeitung. Trotz der für die konservierende Bodenbearbeitung zufriedenstellenden Resultate ist deren Interpretation für die Praxis nicht ohne Weiteres möglich, da sich der Einfluss von Bodenbearbeitungssystemen auf Großflächen deutlich von dem in Kleinparzellen unterscheiden kann. So kann zum Beispiel praxisübliche Maschinenteknik aufgrund der geringen Flächenausdehnung von Parzellenversuchen nicht eingesetzt werden. Dadurch werden die Auswirkungen spezifischer Effekte wie die der Zerkleinerung und Verteilung von Ernterückständen oder der Erntetechnik auf die Bodenstruktur überhaupt nicht oder in nur in sehr begrenztem Ausmaß erfasst. Aber gerade die wissenschaftliche Bewertung solcher Effekte ist für die praktische Landwirtschaft von Interesse und erfordert daher Versuche mit praxisüblicher Bewirtschaftung auf Großflächen, die bisher nicht vorliegen. Vor diesem Hintergrund wurden zu Beginn der 90er Jahre auf 10 landwirtschaftlichen Betrieben der Südzucker AG großflächige Vergleiche unterschiedlicher Verfahren der Grundbodenbearbeitung als ortsfeste Dauerversuche angelegt, in denen ein möglichst homogener Feldschlag in vier Teilschläge von mindestens 3 ha Größe unterteilt wurde. So wurde sichergestellt, dass die auf dem jeweiligen Betrieb vorhandenen, dem aktuellen Stand der Technik entsprechenden Maschinen unter praxisüblichen Bedingungen eingesetzt werden.

Die Differenzierung der Bodenbearbeitungsverfahren zueinander sowie deren Konstanz über den Versuchszeitraum wurde durch eine einheitliche Versuchsbetreuung und stetige enge Absprachen mit den Betriebsleitern gewährleistet. Insgesamt kann für diesen Systemvergleich davon ausgegangen werden, dass in keinem Bodenbearbeitungsverfahren gravierende Anbaufehler aufgetreten sind, die die Resultate grob verzerrt hätten. Dies schließt nicht aus, dass im Einzelfall (Standort x Jahr) einzelne Verfahren unbeabsichtigt benachteiligt oder bevorzugt wurden. Eine systemati-

sche Wirkung auf das Gesamtergebnis ist jedoch auch durch die Vielzahl der beteiligten Betriebsleiter sicher auszuschließen. Das vorliegende Datenmaterial dürfte demzufolge die Leistungsfähigkeit der verglichenen Bodenbearbeitungsverfahren auf typischen Ackerbaustandorten in Süd- und Ostdeutschland zuverlässig widerspiegeln.

Obwohl am einzelnen Standort keine Wiederholungen angelegt und in einem Versuchsjahr jeweils nur eine Fruchtart der Fruchtfolge angebaut wurde, liegen inzwischen für Winterweizen 38 Einzelergebnisse für die vier Bodenbearbeitungsverfahren über alle Standorte und Jahre vor, die zu einem Mittelwert zusammengefasst werden können. In der statistischen Bewertung werden die Einzelvergleiche als Wiederholungen verwendet (ANONYMUS 1987), so dass Interaktionen zwischen den Faktoren Bodenbearbeitung und Standort nur über den wiederkehrenden Anbau einer Fruchtart deutlich werden können. Wechselwirkungen zwischen den Einflussfaktoren Standort und Jahreswitterung können somit nicht voneinander getrennt werden. Da selbst für Winterweizen als Fruchtart mit der häufigsten Wiederkehr innerhalb der Fruchtfolge erst maximal fünf Wiederholungen pro Standort vorliegen, wurde bislang auf eine Auswertung der Interaktion zwischen Bodenbearbeitung und Standort verzichtet. Demgegenüber ist eine Differenzierung des Winterweizenanbaus nach Vorfrucht Zuckerrübe bzw. Weizen bereits häufiger ($n = 12$) vorhanden, was eine getrennte Betrachtung möglich macht.

Der Kornertrag von Winterweizen wies sowohl im Mittel über alle 38 Einzelversuche als auch bei Differenzierung nach Vorfrucht zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren Pflug, Locker und Mulch keine signifikanten Unterschiede auf. Ein im Vergleich dazu niedrigerer Kornertrag wurde vorfruchtunabhängig im Verfahren Direktsaat festgestellt. Während bei Vorfrucht Winterweizen durch größere Streuung der Einzelergebnisse statistische Unterschiede nicht auftraten, bestanden bei Vorfrucht Zuckerrübe signifikante Unterschiede zwischen den Verfahren Pflug und Direktsaat. Im Mittel aller Einzelergebnisse war der Kornertrag im Verfahren Direktsaat signifikant verringert. Untersuchungen zum Anbau von Wintergetreide mit und ohne Pflug von HOFFMANN & KOCH (1998) gelangten zu vergleichbaren Ertragsergebnissen. Die Ergebnisse stimmen auch mit denen anderer Autoren (KÖPKE & BAEUMER 1985, BACON & CHRISTIAN 1991, TEBRÜGGE & EICHHORN 1992, EHLERS & CLAUPEIN 1994,

KANÉ & MENGEL 1994, KÜHN & WERNER 1996, DICK & DURKALASKI 1997, FRIELINGHAUS et al. 1997) überein, wonach bei Winterweizen auch mit konservierender Bodenbearbeitung keine oder nur geringfügige Ertragsverluste gegenüber konventioneller Pflugfurche zu erwarten sind. Ertragsverluste nach konservierender Bodenbearbeitung sind dennoch nicht grundsätzlich auszuschließen, wie neuere Ergebnisse aus England zeigen (TURLEY et al. 2002).

Der Kornertrag von Winterweizen war in jedem Bodenbearbeitungsverfahren nach Vorfrucht Winterweizen ca. 10 % niedriger als nach Vorfrucht Zuckerrübe. Vorfrüchte können die Ertragshöhe von Winterweizen erheblich beeinflussen (CHRISTEN 2001). Eine günstige Vorfruchtwirkung haben Blattfrüchte wie die Zuckerrübe (PANSE et al. 1994). Der Anbau von Stoppelweizen ist hingegen aufgrund eines höheren Auftretens von Fußkrankheiten, die einzelne Ertragskomponenten ungünstig beeinflussen, dem Anbau nach nicht anfälligen Kulturen unterlegen (BOCKMANN & MIELKE 1983). Untersuchungsreihen bestätigten die Selbst-Unverträglichkeit von Weizen. Kornerträge von Winterweizen-Monokultur nahmen bereits im 2. Anbaujahr deutlich ab. Ursache des Ertragsabfalls war die Akkumulation von Pathogenen wie *Pseudocercospora herpotrichoides* und *Gaeumannomyces graminis*. Durch eine zweijährige Unterbrechung (Hafer und Kartoffeln) der Monokultur konnte das ursprüngliche Ertragsniveau wieder erreicht werden (GUTSER et al. 1981).

Entgegen der Annahme, konservierende Bodenbearbeitung verursache eine generelle Zunahme des Infektionsdruckes (ARNOLD-REIMER 1994, EL TITI 1997), resultierte aus den unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren kein differenziertes Auftreten von Pilzkrankheiten mit Relevanz auf den Ertrag (PRINGAS et al. 2002). Nur bei vollständigem Verzicht auf Bodenbearbeitung trat im Verfahren Direktsaat nach Vorfrucht Winterweizen eine Zunahme von Blatt- und Ährenkrankheiten während fortgeschrittener Entwicklungsstadien des Winterweizens auf. Auch die Verunkrautung wurde nur unwesentlich von der Bodenbearbeitung beeinflusst. An Einzelstandorten wurde nach Pflugverzicht sogar eine Verringerung des Unkrautdrucks festgestellt (PRINGAS et al. 2001).

Die signifikante Ertragsminderung im Verfahren Direktsaat ist dennoch vermutlich nicht die Folge eines verstärkten Krankheitsdruckes, sondern wahrscheinlich, wie die

zum Entwicklungsstadium BBCH 11-21 gezählte Pflanzendichte verdeutlicht, vor allem das Resultat eines verminderten Feldaufgangs, hervorgerufen durch aussaat-technische Defizite während der Saatgutablage. Im Mittel aller Einzelergebnisse wies das Verfahren Direktsaat eine signifikant geringere Pflanzendichte auf. Die Differenzierung nach Stoppel- und Rügenweizen zeigte, dass nach Vorfrucht Zuckerrübe im Verfahren Direktsaat eine um 11 % geringere Pflanzendichte vorlag als im Verfahren Pflug. Bei Vorfrucht Winterweizen stieg die Differenz auf 22 % an. Dem Aspekt der Vorfrucht und der Erntereste, die auf dem Feld zurückbleiben, kommt somit eine besondere Bedeutung zu. Erntereste von Getreide werden im Gegensatz zu denen von Zuckerrüben aufgrund des weiten C/N-Verhältnisses langsamer abgebaut (KLIMANEK 1990, AMBERGER 1992) und führen häufiger zu Beeinträchtigungen während der Aussaat. Vor allem bei ungleichmäßig verteilter und mächtiger Strohauflage auf der Bodenoberfläche weisen die mit Scheiben- oder Meißelscharen ausgerüsteten Direktsaatmaschinen Mängel auf und können keine exakte Saatgutablage gewährleisten. Während Meißelschare durch das Mitschleifen von Ernteresten verstopfen, drücken Scheibenschare Pflanzenreste ungeschnitten in den Saatschlitz hinein, so dass bei beiden Techniken die Saatgutablage teilweise auf eine Strohschicht erfolgt. Durch den geringen Bodenkontakt ist die Wasserversorgung des Keimlings stark eingeschränkt, was sich negativ auf den Feldaufgang und die Bestandesetablierung auswirkt (WILLERT 1994). Diese bei Pflugverzicht auftretende Problematik und die daraus resultierenden Auswirkungen auf den Kornertrag wurden bereits mehrfach beschrieben (ELLIS et al. 1982, GRAHAM et al. 1986, WILDENHAYN 1997).

Zur Vermeidung eines niedrigen und ungleichmäßigen Feldaufgangs besonders nach einer Getreidevorfrucht sollte daher schon zur Ernte auf eine gleichmäßige Verteilung des kurz gehäckselten Strohs geachtet werden (BUCHNER 2000, SCHMIDT 2002). Dies ist Voraussetzung für eine störungsfreie und befriedigende Saatgutablage mit Direktsaatmaschinen (RUMP 2002). Über die Einstellung des Mähdreschers hinaus führen bei konservierender Bodenbearbeitung nachfolgende Arbeitsgänge, die eine Einarbeitung des Strohs in den Boden zum Ziel haben, zu Vorteilen. Die Stoppelbearbeitung dient bei Verzicht auf Grundbodenbearbeitung als Saatbettbereitung und erleichtert nachfolgend die Saatgutablage (VOßHENRICH 1995). Durch die Einarbeitung werden mikrobielle Abbauprozesse des Strohs gefördert und damit

gleichzeitig die Überdauerung von Pathogenen auf Pflanzenresten reduziert (TEBRÜGGE 1990). Die im Vergleich zum Verfahren Direktsaat signifikant höhere Pflanzendichte in den Verfahren mit konservierender Bodenbearbeitung (Locker und Mulch) belegt deutlich den positiven Effekt der Stroheinarbeitung. Abweichend von der bisherigen Vorgehensweise sollte für das Verfahren Direktsaat darüber hinaus eine Erhöhung der Aussaatmenge in Betracht gezogen werden.

Unabhängig von der Vorfrucht bildete Winterweizen im Verfahren Direktsaat die höchste Anzahl ährentragender Halme pro Pflanze. Die höhere Beährung ist vermutlich eine Folge der signifikant geringeren Pflanzendichte, die zu einem höheren Angebot an Wachstumsfaktoren (Nährstoffe und Licht) der Einzelpflanzen führte. Mit einer gesteigerten Bildung von Trieben und Ährchen ist Winterweizen aus ertragsphysiologischer Sicht in der Lage, eine verringerte Pflanzendichte auszugleichen (AUFHAMMER 1986). Ertragskomponenten werden jedoch während der Pflanzenentwicklung umso intensiver wieder reduziert, je ausgeprägter die Konkurrenz um Licht und Nährstoffe ist (POMMER & KEYDEL 1980). Wie die höhere Beährung im Verfahren Direktsaat zeigt, sind hier vermutlich ertragslimitierende Faktoren in geringerem Ausmaß aufgetreten als in den anderen Verfahren, so dass Ertragsanlagen weniger intensiv reduziert wurden.

Trotz der höheren Beährung der Einzelpflanze im Verfahren Direktsaat konnte eine vollständige Kompensation der niedrigeren Pflanzendichte nicht erreicht werden. Sowohl nach Vorfrucht Winterweizen als auch nach Zuckerrübe lag im Verfahren Direktsaat die niedrigste Ährendichte vor. Jedoch traten signifikante Unterschiede nur zum Verfahren Pflug auf. Im Vergleich zum gepflügten Verfahren wiesen die Verfahren mit konservierender Bodenbearbeitung unabhängig von der Vorfrucht eine tendenziell geringere Ährendichte auf, wobei die Ausprägung der tendenziellen Unterschiede nach Vorfrucht Winterweizen deutlicher wurde.

Während nach Vorfrucht Zuckerrübe die Bekörnung der Ähren zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren keine Unterschiede aufwies, wurde nach Vorfrucht Winterweizen die verminderte Ährendichte der Verfahren Locker, Mulch und Direktsaat durch eine höhere Bekörnung der Ähre partiell kompensiert. Deutlich wird dieser Effekt bei Betrachtung der Kornzahl pro m² (Korndichte). Bei Vorfrucht Zuckerrübe hingegen

trat aufgrund gleicher Bekörmung kein Kompensationseffekt auf. Die Korndichte zeigte eine ähnliche Abfolge der vier Bodenbearbeitungsverfahren wie zuvor die Ährendichte. Die Beobachtung in Stoppelweizen stimmen mit Ergebnissen von HEYLAND (1968) überein, wonach durch die erhöhte Bildung einer später entwickelten Ertragskomponente die verminderte Ausprägung einer anderen, zuvor ausgebildeten Komponente ausgeglichen werden kann. Die Tausendkornmasse blieb nach beiden Vorfrüchten von der Bodenbearbeitung weitgehend unbeeinflusst. Jedoch wurde nach Vorfrucht Winterweizen in den Verfahren ohne Pflugeinsatz eine tendenziell geringere Tausendkornmasse als mit Pflug festgestellt. In Untersuchungen an Sommerweizen traten ebenfalls negative Korrelationen zwischen Kornzahl und Korngewicht (POLLMER 1961) auf. Hervorgerufen wird die Korrelation durch Behinderungen während der Assimilateinlagerung im Korn. Bei höherer Bekörmung wie in den Verfahren Locker, Mulch und Direktsaat kann die Pflanze die Ährchen nur unzureichend versorgen, was zu einem verminderten Korngewicht führt (PHILLIP 1960). Nach POMMER & KEYDEL (1980) kann durch Krankheitsbefall bedingtes frühzeitiges Absterben der Blätter während der Reife ebenfalls zu einer verminderten Tausendkornmasse führen. Durch den Verlust an Assimilationsfläche wird die Kornfüllungsphase verkürzt und damit das Korngewicht erheblich eingeschränkt. Da im vorliegenden Versuch kein differenziertes Auftreten von Krankheiten beobachtet wurde, ist diese Annahme zumindest für die Verfahren Locker und Mulch unwahrscheinlich. Fehlen ungünstige äußere Einflüsse, zeigt das Einzelkorngewicht die geringste Streuung und ist überwiegend vom Genotyp der Pflanze abhängig (HEYLAND 1968). Auch die Bekörmung der Ähren entzieht sich weitgehend dem Einfluss des Landwirts und unterliegt eher der Gesamtkonstitution der Pflanze und der Jahreswitterung. Somit kommt zur Sicherung von Maximalerträgen durch pflanzenbauliche Maßnahmen der Etablierung einer ausreichenden Bestandesdichte die größte Bedeutung zu. Im Hinblick auf die eingangs beschriebene Problematik bei der Aussaat von Winterweizen nach Vorfrucht Winterweizen sollte daher vorrangig die Entstehung von Fehlstellen vermieden werden.

In Übereinstimmung mit Ergebnissen von BECKER & KOCH (1997) wurden die Qualitätsparameter von Winterweizen, Fallzahl, Hektolitergewicht und Sortierung weder durch die differenzierte Bodenbearbeitung noch durch die Vorfrucht beeinflusst. Dies stimmt mit Mitteilungen vom ANONYMUS (2001) und von BÖTTCHER & GARZ (2000)

überein, wonach Qualitätsparameter maßgeblich von Witterung, Düngung und angebauter Sorte abhängig sind. Demgegenüber wurde eine Wirkung der Bodenbearbeitung auf die Qualitätsparameter Rohproteingehalt und Sedimentationswert deutlich. Beide Parameter zeigten nach Pflugeinsatz tendenziell bis signifikant höhere Werte als nach konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat. KREUTZ (1990) und HARRACH & RICHTER (1992) fanden ebenfalls in gepflügtem Boden angebautem Getreide höhere N-Gehalte im Stroh und Korn. Als Ursache dieser Beobachtung wurde die durch den Pflugeinsatz und die schnellere Erwärmung gepflügter Flächen intensiver ablaufende Mineralisation aufgeführt. Gepflügte Böden wiesen in Untersuchungen von DOWDELL & CANNELL (1975) und GREILICH & KLIMANEK (1976) höhere Nitratgehalte auf als pfluglos bearbeitete Böden. Auch im vorliegenden Versuch standen den Pflanzen auf gepflügten Flächen höhere N_{\min} -Gehalte im Frühjahr zur Verfügung (WEGENER 2000, unveröffentlicht).

Schlussfolgerungen

Aus dem auf zehn Standorten in Süd- und Ostdeutschland durchgeführten Bodenbearbeitungsversuch können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Konservierende Bodenbearbeitung hat keine nachteiligen Effekte auf den Kornertrag von Winterweizen. Demgegenüber verursacht Direktsaat sowohl nach Vorfrucht Zuckerrübe als auch nach Vorfrucht Winterweizen eine Minderung des Kornertrages um ca. 5 %. Diese Mindererträge werden vor allem durch geringere Pflanzendichten hervorgerufen und durch eine höhere Beährung und Bekörmung der Pflanzen nur partiell kompensiert. Hier sollte deshalb eine 10-15 % -ige Erhöhung der Saatkichte bei Direktsaat in Betracht gezogen werden. Bei Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug weisen die Qualitätsparameter Proteingehalt und Sedimentationswert zum Teil signifikant höhere Werte auf als in den pfluglos bearbeiteten Verfahren.

Im vorliegenden Beitrag wurde ausschließlich der Einfluss der Bodenbearbeitung auf Ertragskomponenten und Kornertrag von Winterweizen vorgestellt. Trotz des signifikanten Minderertrags bei Direktsaat kann jedoch bei der ökonomischen Beurteilung der Bodenbearbeitungsverfahren die Rentabilität im Verfahren Direktsaat durch erhebliche Einsparungen von Kraftstoff, Maschinen und Arbeitszeit am höchsten

sein. Der Anbau von Winterweizen ist auch mit Verfahren konservierender Bodenbearbeitung gegenüber dem System Pflug als rentabler einzustufen.

Danksagung

Besonderer Dank gilt dem Kuratorium für Versuchswesen und Beratung im Zuckerrübenanbau, Ochsenfurt, für die finanzielle Unterstützung des Versuchsvorhabens sowie Herrn Dir. Miller vom Geschäftsbereich Landwirtschaft der Südzucker AG für die Unterstützung bei der Durchführung der Versuche.

Literatur

AMBERGER, A., 1992: Abfallstoffe der pflanzlichen Produktion. In: HAUG, G., G. SCHUHMANN & G. FISCHBECK [Hrsg.]: Pflanzenproduktion im Wandel. VCH Verlagsgesellschaft, 244-246.

ANONYMUS, 1987: Autorenkollektiv. Einführung in die Methodik des Feldversuchs. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 273-276.

ANONYMUS, 1993-2002: DWD. Monatlicher Witterungsbericht. Zentralamt Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach am Main.

ANONYMUS, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Geologischen Landesämtern in der Bundesrepublik Deutschland. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

ANONYMUS, 1997: Bioplan. Bodenkartierung von Versuchsflächen der Südzucker AG. Bioplan Landeskulturgesellschaft, Sinsheim-Steinsfurt, (persönliche Mitteilung).

ANONYMUS, 2001: Bundessortenamt. Beschreibende Sortenliste 2001 – Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte. Landbuch-Verlag, Hannover.

ARNOLD-REIMER, K., 1994: Einfluß konservierender Bodenbearbeitung auf Pflanzenkrankheiten und Unkräuter im Getreide und Konsequenzen für einen gezielten Pflanzenschutz. Diss., Göttingen.

AUFHAMMER, W., 1986: Zur Bedeutung der Kompensationsfähigkeit eines Weizenbestandes. KALI-BRIEFE (Büntehof) **18** (5), 357-370.

BACON, E.T.G. & D.G. CHRISTIAN, 1991: Some Effects of Straw Residues and Cultivation System on Tillering in Winter Wheat. J. Sci. Food Agric. **54**, 61-69.

BAEUMER, K., W. EHLERS & G. PAPE, 1971: Erste Erfahrungen im Ackerbau ohne Bodenbearbeitung in Göttingen. Landw. Forsch. SH **26/I**, 264-272.

BECKER, C., 1997: Dauerhaft pfluglose Bodenbearbeitungssysteme und Betriebsgröße – eine pflanzenbaulich-ökonomische Analyse. Diss., Göttingen.

BECKER, C. & H.-J. KOCH, 1997: Ertrag und Qualität von Winterweizen, Triticale und Körnerleguminosen nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Großflächen verschiedener Standorte. Pflanzenbauwissensch. **1** (4), 183-191.

BECKER, C. & B. MÄRLÄNDER, 1998: Ertrag und Qualität von Zuckerrüben in dauerhaft pfluglosen Bodenbearbeitungssystemen - Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen. Pflanzenbauwissensch. **2** (1), 7-15.

BOCKMANN, H. & H. MIELKE, 1983: Bedeutung der Fruchtfolge für die Höhe der Weizenträge. KALI-BRIEFE (Büntehof) **16** (8), 439-449.

BÖHRNSEN, A., 1994: Direktsaat/ No-Tillage nach unterschiedlicher Bearbeitung der Vorfruchtreste. In: TEBRÜGGE, F. & M. DREIER [Hrsg.]: Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristigen Auswirkungen auf den Boden. Wiss. Fachverlag Dr. Fleck, Gießen, 233-248.

BÖTTCHER, H. & J. GARZ, 2000: Auswirkungen unterschiedlicher Düngung auf Ertrag und Verarbeitungsqualität des Roggens bei langjährigem Anbau in Selbstfolge und Fruchtwechsel – Ergebnisse des Dauerversuches „Ewiger Roggenbau“. Pflanzenbauwissensch. **4** (1), 1-8.

BRÄUTIGAM, V. & F. TEBRÜGGE, 1997: Influence of long-termed no-tillage on soil borne plant pathogens and on weeds. In: TEBRÜGGE, F. & A. BÖHRNSEN [Hrsg.]: Experience with the applicability of no-tillage crop production in the West-European countries. Proceedings of EC-workshop on EC-concerted Action No. AIR 3-CT93-1464, Bd. **III**, 17-29.

BRUNOTTE, J. & C. SOMMER, 1994: Konservierende Bodenbearbeitung in der Praxis – Bodenschutz, Technikeinsatz und Kosten. In: Bodenbearbeitung und Bestellung von Großflächen. KTBL-Arbeitspapier **215**, 9-17.

BRUNOTTE, J., M. WAGNER & C. SOMMER, 2001: Bodenschutz und Kosteneinsparung. Anforderungen an heutige Bodenbearbeitung. Landtechnik **56**, 132-133.

- BUCHNER, W., 2000: Stoppelweizen möglichst nicht in die Weizenstoppel säen. Getreide Magazin **6** (3), 214-216.
- CHRISTEN, O., 2001: Ertrag, Ertragsstruktur und Ertragsstabilität von Weizen, Gerste und Raps in unterschiedlichen Fruchtfolgen. Pflanzenbauwissensch. **5** (1), 33-39.
- DICK, W.A. & J.T. DURKALASKI, 1997: No-Tillage Production Agriculture and Carbon Sequestration in a Typic Fragiudalf Soil of Northeastern Ohio. In: LAL, R. et al. [Hrsg.]: Management of carbon sequestration in soil (Advances in Soil Science): 59-69; Boca Raton New York (CRC Press).
- DIEZ, T., J. KREITMAYER & H. WEIGELT, 1988: Einfluß langjähriger pflugloser Ackerbewirtschaftung (System HORSCH) auf Pflanzenwachstum, Wirtschaftlichkeit und Boden. Bayer. Landw. Jb. **65**, 789-812.
- DOWDELL R.J. & R.W. CANNELL, 1975: Effect of ploughing and direct drilling on soil nitrate content. J. Soil Sci. **26**, 53-61.
- EHLERS, W., 1991: Wirkung von Bodenbearbeitungssystemen auf gefügeabhängige Eigenschaften verschiedener Böden. Berichte Landwirtschaft, SH **204**, 118-137.
- EHLERS, W., 1992: Reduzierte Bodenbearbeitung – ökologische Folgen und ackerbauliche Grenzen. VDLUFA-Schriftenreihe **35**, Kongreßband 1992, Göttingen, 35-58.
- EHLERS, W. & W. CLAUPEIN, 1994: Approaches towards conservation tillage in Germany. In: CARTER, M.R. [Hrsg.]: Conservation tillage in temperate agroecosystems. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, 141-165.
- EICHHORN, H., W. GRUBER & J. GRIEBEL, 1991: Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren – Ökonomisch betrachtet. Landtechnik **46**, 39-42.
- EL TITI, A., 1997: Die Nicht-wendende Bodenbearbeitung und der Pflanzenschutz. Auswirkungen auf Pflanzenkrankheiten. LU Journal, März 1997, 3-10.
- ELLIS, F.B., D.G. CHRISTIAN & R.Q. CANNELL, 1982: Direct drilling, shallow tine-cultivation and mouldboard ploughing on a silt loam soil, 1974-1980. Soil Tillage Res. **2**, 115-130.
- FRIELINGHAUS, M., G. HÖFLICH, M. JOSCHKO, H. ROGASIK & H. SCHÄFER, 1997: Auswertung eines Langzeitexperimentes zur Konservierenden Bodenbearbeitung von Sandböden und Einschätzung des Erfolgs. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd. **41**, 383-402.

GRAHAM J.P., F.B. ELLIS, D.G. CHRISTIAN & R.Q. CANNELL, 1986 : Effects of straw on the establishment, growth and yield of autumn-sown cereals. *J. Agric. Eng. Res.*, London **33** (1), 39-49.

GREILICH, J. & E.-M. KLIMANEK, 1976: Zum Einfluß unterschiedlicher Intensität der Bodenbearbeitung auf den O₂ - und CO₂ -Gehalt der Bodenluft sowie auf einige bodenbiologische Kennwerte. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.* **20**, 177-186.

GUTSER, R., A. AMBERGER & G. M. HOFFMANN, 1981: Gesundung einer Winterweizen-Monokultur durch Düngung und Pflanzenschutz. *Landw. Forschung*, SH **38**, 693-708.

HARRACH, T. & U. RICHTER, 1992: Wirkung von Bodenbearbeitungsverfahren auf den Stickstoffhaushalt im System Boden-Pflanze. In: FRIEBE, B. [Hrsg.]: Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden. Beiträge zum 3. Symposium von 12.-13. Mai 1992 in Gießen. *Wiss. Fachverlag Dr. Fleck*, Gießen, 81-96.

HEITEFUß, R., J. KAKAU & U. LEHRKE, 1997: Auswirkungen von Extensivierungsmaßnahmen auf Pflanzenkrankheiten und deren Kontrolle. In: GEROWITT, B. & M. WILDENHAYN [Hrsg.]: Ökologische und ökonomische Auswirkungen von Extensivierungsmaßnahmen im Ackerbau. Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projektes 1990-94, 169-198.

HEYLAND, K.-U., 1968: Zahl der Triebe je Pflanze als pflanzenbauliches Problem, dargestellt am Beispiel Sommergerste. *Z. Acker- und Pflanzenbau* **127**, 40-52.

HOFFMANN, C. & H.-J. KOCH, 1998: Einfluß reduzierter Bodenbearbeitung auf Ertrag und N-Aufnahme von Weizen und Gerste bei unterschiedlicher N-Düngung. *Pflanzenbauwissensch.* **2** (2), 69-75.

JUISTER, J. & T. WILDE, 2000: Deckungsbeitrag bei Mulchsaat höher. Vergleich von Bodenbearbeitungssystemen im Weser-Ems-Gebiet. *Landwirtschaft ohne Pflug* (6), 5-7.

KAHNT, G., 1969: Ergebnisse zweijähriger Direktsaatversuche auf drei Bodentypen. *Z. Acker- und Pflanzenbau* **129**, 277-295.

KANÉ, Y. & K. MENGEL, 1994: Vergleichende Untersuchungen zur N-Düngeempfehlung bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung. In: TEBRÜGGE, F. & M. DREIER [Hrsg.]: Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte

und deren langfristigen Auswirkungen auf den Boden. Wiss. Fachverlag Dr. Fleck, Gießen, 177-190.

KLIMANEK, E.-M., 1990. Umsetzungsverhalten von Ernterückständen. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd. **34**, 559-567.

KÖPKE, U. & K. BAEUMER, 1985: Stickstoffdüngung zu Winterweizen bei reduzierter Bodenbearbeitung. Z. Acker- und Pflanzenbau **154**, 145-156.

KREUTZ, E., 1990: Der Einfluß pflugloser Grundbodenbearbeitung zu Winterweizen in Dreifelderfruchtfolgen auf die Erträge und Ertragsstruktur des Weizens. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd. **34**, 635-641.

KREYE, H., V. GARBE, G. BARTELS & H.-H. HOPPE, 2000: Intensität der Grundbodenbearbeitung und Schaderregerauftreten in einer Zuckerrüben-Weizen-Weizen-Fruchtfolge. Zuckerindustrie **125** (9), 741-745.

KÜHN, G. & K. WERNER, 1996: Auswirkungen einer differenzierten Grundbodenbearbeitung auf Ertrag und Bodeneigenschaften nach 10 Versuchsjahren in Dedelow. – Bornimer Agrartechnische Berichte **9**, 141-155.

NEUBAUER, W., 2003: Dauerhafter Pflugverzicht auf Sandböden. Landwirtschaft ohne Pflug (3), 10-15.

NITZSCHE, O., W. SCHMIDT & W. RICHTER, 2000: Minderung des P-Abtrags von Ackerflächen durch konservierende Bodenbearbeitung. Mitt. DBG **92**, 178-181.

PANSE, A., F.X. MAIDL, J. DENNERT, H. BRUNNER & G. FISCHBECK, 1994: Ertragsbildung von getreidereichen Fruchtfolgen und Getreidemonokulturen in einem extensiven und intensiven Anbausystem. Z. Acker- und Pflanzenbau **173**, 160-171.

PHILLIP, L., 1960: Variabilitätsstudien am Ertragsaufbau des Sommerweizens. Z. Acker- und Pflanzenbau **111**, 334-363.

POLLMER, G., 1961: Untersuchungen zur Ertragsbildung bei Sommerweizen. Z. Acker- und Pflanzenbau **113**, 231-262.

POMMER, G. & F. KEYDEL, 1980: Kritische Stadien in der Ertragsbildung des Getreides und deren Abhängigkeit von der phylogenetischen Herkunft. KALI-BRIEFE (Büntehof) **15** (4), 211-221.

PRINGAS, C., H. MILLER & H.-J. KOCH, 2001: Konservierende Bodenbearbeitung – Einfluss auf die Herbizidwirksamkeit? Deutsche Zuckerrübenzeitung **37** (4), 10.

PRINGAS, C., H. MILLER & H.-J. KOCH, 2002: Auftreten von Pilzparasiten und Acker-
schnecken in Winterweizen bei langjährig differenzierter Bodenbearbeitung. Dt.
Pflanzenschutztagung, Bonn, Bd. **53**, 85-86.

RUMP, B., 2002: Untersuchungen zur Bestimmung der Arbeitsqualität von Scheiben-
säscharen für die Direktsaat. Diss., Hohenheim.

SCHMIDT, D., 2002: Mulchsaat-Management – Schritt für Schritt zur pfluglosen Bo-
denbearbeitung. Getreide Magazin (4), 218-220.

SIEVERT, M., 2000: Aspekte des Pflanzenschutzes in Winterraps, Winterweizen und
Wintergerste bei nichtwendender Bodenbearbeitung. Diss., Göttingen.

SOMMER, C. & A. BRAMM, 1981: Die konservierende Bodenbearbeitung: Bedeutung
der pflanzlichen Reststoffe und deren Einarbeitung als Schutz gegen Erosion und
Verdunstung sowie für die Nährstoffbilanz. KALI-BRIEFE (Büntehof) **15** (10),
599-615.

SOMMER, C. & M. ZACH, 1993: Grundbodenbearbeitung mit nichtwendender Locke-
rung. In: KTBL-Arbeitspapier 190: Ergebnisse von Versuchen zur Bodenbearbeitung
und Bestellung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL),
Darmstadt, 35-42.

TEBRÜGGE, F., 1990: Stroheinarbeitung: Nicht bloß Resteverwertung. DLG-Mitteilung
13, 592.

TEBRÜGGE, F., 1994: Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen unter den As-
pekten von Bodenschutz und Ökonomie. In: TEBRÜGGE, F. & M. DREIER [Hrsg.]: Be-
urteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren
langfristigen Auswirkungen auf den Boden. Wiss. Fachverlag Dr. Fleck, Gießen, 5-
16.

TEBRÜGGE, F. & A. BÖHRNSEN, 1995: Direktsaat – Auswirkungen auf bodenökologi-
sche Faktoren und Ökonomie. Landtechnik **50**, 6-7.

TEBRÜGGE, F. & H. EICHHORN, 1992: Die ökologischen und ökonomischen Aspekte
von Bodenbearbeitungssystemen. In: FRIEBE, B. [Hrsg.]: Wechselwirkungen von Bo-

denbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden; Beiträge zum 3. Symposium vom 12.-13. Mai 1992 in Gießen. Wiss. Fachverlag Dr. Fleck, Gießen, 7-20.

TEIWES, K., 1997: Bodenkundliche Bestandsaufnahme auf Feldversuchsflächen der Südzucker AG zur Bodenbearbeitung. Göttingen, (persönliche Mitteilung).

TURLEY, D.B., M.C. PHILLIPS, P. JOHNSON, A.E. JONES & B.J. CHAMBERS, 2002: Long-term straw management effects on yields of sequential wheat (*Triticum aestivum* L.) crops in clay and silty clay loam soils in England. *Soil & Tillage Res.* **71**, 59-69.

VOß, M. C., 1998: Einfluss einer reduzierten Bodenbearbeitung und Direktsaat auf das Auftreten von Ackerschnecken (Mollusca, Gastropoda), die Verunkrautung sowie den Befall mit der Wurzelhals- und Stengelfäule (*Phoma lingam*) in Winterraps. Diss., Göttingen.

VOßHENRICH, H.-H., 1995: Bedeutung der Stoppelbearbeitung bei Pflugverzicht. *Landtechnik* **50**, 192-193.

WAGNER, M., 2001: Bodenschutz und Kosteneinsparung – Einführung technischer Lösungskonzepte zur Minderung und Vorbeugung von Bodenschutzproblemen in der Pflanzenproduktion. Diss., Gießen.

WEGENER, U., 2000, unveröffentlicht: Jahresbericht 1999/2000, Institut für Zuckerrübenforschung, 22-24.

WEGENER, U., 2001: Dauerhafte Bodenbearbeitungsverfahren in Zuckerrübenfruchtfolgen – Ertragsbildung, Rentabilität, Energiebilanz und Bodenerosion im Vergleich. Diss., Göttingen.

WEGENER, U., H. MILLER & H.-J. KOCH, 2000: Ertrag und Rentabilität verschiedener Feldfrüchte bei differenzierter Grundbodenbearbeitung. *Zuckerindustrie* **125** (12), 962-969.

WILDENHAYN, M., 1997: Produktionsverfahren und Ertragsbildung in den Anbausystemen. In: GEROWITT, B. & M. WILDENHAYN [Hrsg.]: Ökologische und ökonomische Auswirkungen von Extensivierungsmaßnahmen im Ackerbau. Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projektes 1990-94, 35-59.

WILLERT, S.-M., 1994: Strohplazierung bei der Bestellung von Getreide und Raps. *Landtechnik* **49**, 232-233.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. agr. Christodulos Pringas, Dr. Heinz-Josef Koch, Institut für Zuckerrüben-
forschung, Holtenser Landstraße 77, D-37079 Göttingen

Einfluss konservierender Bodenbearbeitung auf Ertrag, Qualität, Rentabilität und Cercosporabefall von Zuckerrüben – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen

Effect of Conservation Tillage on Yield, Quality, Rentability and Cercospora Infestation on Sugar Beet – Results from 9 Years of On-Farm Research

C. Pringas & B. Märländer
Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen

Zusammenfassung

Um den Einfluss konservierender Bodenbearbeitung in einer Zuckerrüben-Winterweizen-Wintergetreide-Fruchtfolge zu untersuchen, wurden seit 1994 auf Großflächen an zehn Standorten in Süd- und Ostdeutschland vier Bodenbearbeitungsverfahren (konventionell mit Pflug, konservierend mit „Locker“ und ohne Lockerung „Mulch“ und Direktsaat) geprüft. Im vorliegenden Beitrag werden für den Zuckerrübenanbau Einflüsse der Bodenbearbeitung auf pflanzenbauliche und ökonomische Kenngrößen sowie den Cercosporabefall vorgestellt.

Pflanzendichte, Rübenertrag und Bereinigter Zuckerertrag von Zuckerrüben wiesen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren Pflug, Locker und Mulch auf, signifikant geringere Werte wurden jedoch nach Direktsaat festgestellt. Zuckergehalt und Standardmelasseverlust blieben von der Bodenbearbeitung unbeeinflusst. Konservierende Bodenbearbeitung verursachte etwas geringere Kosten und führte damit zu geringfügig höherem Vergleichsdeckungsbeitrag gegenüber der Bodenbearbeitung mit dem Pflug. Dagegen bewirkte Direktsaat einen gravierend geringeren Erlös bei etwa gleich hohen Kosten. Der Cercosporabefall variierte erheblich zwischen den Jahren und Standorten. Innerhalb eines Standortes wurden jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren festgestellt.

Insgesamt erwies sich konservierende Bodenbearbeitung im hohen Maße als praxistauglich.

Schlüsselworte: Zuckerrüben, Bodenbearbeitung, Ertrag, Qualität, Rentabilität, Cercosporabefall

Summary

To analyse the effects of long term conservation tillage on a sugar beet-winter wheat-winter cereal-crop rotation four tillage treatments (conventional tillage with mould-board ploughing „ploughing”, conservation tillage with „loosening” and without loosening „mulching” and direct drilling) were tested in a continuous on-farm trial on 10 sites in Eastern and Southern Germany since 1994. The present article deals with the influence of soil tillage on agronomical and economical parameters and the infestation with *Cercospora*.

Plant density, root yield and white sugar yield of sugar beets did not differ significantly between the tillage treatments ploughing, loosening and mulching, whereas a significant decrease was detected with direct drilling. Sugar content and standard molasses loss was not affected by soil tillage. Conservation tillage had slightly lower costs and a little higher gross margin compared to soil tillage with ploughing. Contrary, direct drilling led to remarkable less proceeds while costs remained stable. Infestation by the fungus *Cercospora beticola* varied between the sites, within site tillage treatments caused no significant differences.

To summarise, conservation tillage was suitable for practical application.

Keywords: sugar beet, soil tillage, yield, quality, rentability, *Cercospora* infestation

Einleitung

Der aus dem Amerikanischen stammende Begriff Konservierende Bodenbearbeitung ist eine Definition für pfluglose Bodenbearbeitung, die als wesentliche Merkmale eine Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität sowie eine Bodenbedeckung mit Pflanzenresten von mindestens 30 % zum Zwecke des vorbeugenden Bodenschutzes beinhaltet (ANONYMUS 1988, KÖLLER 1993). BAEUMER (1992) prägte für Bodenbearbeitungsverfahren, die sich primär durch eine Verringerung des mechanischen Eingriffs in das Bodengefüge und den Verzicht auf Einarbeitung von Ernteresten auszeichnen, den Begriff der Festbodenmulchwirtschaft. Durchgesetzt hat sich in Deutschland der Begriff Konservierende Bodenbearbeitung (ANONYMUS 1988, KÖLLER 1993, BRUNOTTE & SOMMER 1994), der im Folgenden für die Verfahren mit reduzierter

Bodenbearbeitungsintensität verwendet wird. Das Verfahren ohne Bodenbearbeitung wird als Direktsaat bezeichnet.

Aus pflanzenbaulicher Sicht führt konservierende Bodenbearbeitung im Zuckerrübenanbau seit Ende der 60er Jahre in Versuchen auf zumeist einzelnen Standorten zu ähnlichem Ertrag wie mit Pflugeinsatz (BAUEMER & PAPE 1972). Eine Übertragung dieser Ergebnisse in die Praxis ist jedoch mit Vorbehalt zu sehen, da sich sämtliche Versuchsaktivitäten auf zumeist einzelne Standorte, wenige Jahre oder eine Anlage in Kleinparzellen beschränkten (MÄRLÄNDER 1978, TEBRÜGGE & EICHHORN 1992, HOFFMANN 1996). Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf Großflächen kann sich aber erheblich von dem auf Kleinparzellen unterscheiden, auf denen praxisübliche Technik inklusive Ernte aufgrund der geringen Parzellenfläche nicht eingesetzt werden kann. Vor allem aber kann eine Analyse der Gesamtkosten und Erlöse nur modellhaft durch die Annahme von Kosten auf Basis von Kleinparzellen erfolgen (TEBRÜGGE 1994, WAGNER 2001). Es bestand deshalb erheblicher Bedarf für eine umfassende pflanzenbau-wissenschaftliche Analyse von Bodenbearbeitungsverfahren mit Einsatz praxisüblicher Technik bei hoher Anzahl von Standorten und Jahren.

Durch den Verbleib von Ernteresten auf der Bodenoberfläche stehen pfluglose Bodenbearbeitungsverfahren in der Kritik, günstige Ausgangsbedingungen für die Ausbreitung von Krankheiten zu schaffen. Für Getreide und Raps wurde diese Hypothese bereits häufig untersucht. So beobachteten zum Beispiel ARNOLD-REIMER (1994) und SIEVERT (2000) in pfluglos angebautem Getreide eine Zunahme des Befalls mit *Drechslera tritici-repentis*. In Raps stellte VOß (1998) bei Direktsaat eine Zunahme des Blattbefalls mit *Phoma lingam* fest. Hingegen fanden sich für Erreger der Halmbasis von Getreide keine Hinweise, die auf ein verstärktes Auftreten durch pfluglose Bodenbearbeitung hindeuteten (BRÄUTIGAM 1994). Für Wurzelbranderreger der Zuckerrübe wurde ebenfalls keine Beeinflussung durch die Bodenbearbeitung festgestellt (GARBE et al. 1989). Auswirkungen der Bodenbearbeitung auf andere Krankheiten der Zuckerrübe blieben bislang in wissenschaftlichen Untersuchungen jedoch unberücksichtigt. Insbesondere für die an ökonomischer Bedeutung zunehmende Krankheit *Cercospora beticola* Sacc. besteht erheblicher Bedarf an Untersuchungen, zumal die Praxis neben höherer Durchschnittstemperatur und Luftfeuchte

eine Zunahme der Anbaufläche mit konservierender Bodenbearbeitung als Ursache des ansteigenden Cercosporabefalls vermutet (SANDER 2002).

Vor diesem Hintergrund wurden zu Beginn der 90er Jahre auf 10 landwirtschaftlichen Betrieben der Südzucker AG großflächige Vergleiche unterschiedlicher Verfahren der Grundbodenbearbeitung als ortsfeste Dauerversuche angelegt, auf denen Maschinen unter praxisüblichen Bedingungen eingesetzt wurden. Ziel war es, unter anderem den Einfluss der Bodenbearbeitung auf pflanzenbauliche, ökonomische und phytopathologische Aspekte in Zuckerrüben zu quantifizieren. Der vorliegende Beitrag stellt Ergebnisse dieser langjährigen und mehrortigen Analyse dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitungsverfahren auf charakteristische pflanzenbauliche und ökonomische Kenngrößen von Zuckerrüben sowie den Cercosporabefall vor.

Material und Methoden

Untersuchungsgrundlage der vorliegenden Arbeit waren 10 Standorte beziehungsweise Betriebe des Geschäftsbereichs Landwirtschaft der Südzucker AG in typischen Ackerbauregionen Süd- und Ostdeutschlands (Abb. 1). Zwischen den Standorten bestanden bezüglich der Witterung sowie der Bodenverhältnisse (Bodentyp, Bodenart und Ackerzahl) und ihrer Bearbeitbarkeit deutliche Unterschiede (ANONYMUS 1993-2002, WEGENER 2001). Die Witterung der einzelnen Standorte unterschied sich sowohl im langjährigen Mittel der Temperatur als auch der Niederschlagsmenge. Die Temperaturdifferenz vom kältesten (Friemar) zum wärmsten Standort (Insultheim) betrug 2,6 °C. Die jährliche Niederschlagssumme schwankte zwischen 487 mm in Salzmünde und 837 mm in Einsiedel. Die Bodentypen variierten je nach Standort von Schwarzerde bzw. Auenschwarzerde und Parabraunerde mit Ackerzahlen über 70 bis zu Parabraunerde, Pseudogley und Braunerde mit Ackerzahlen unter 60. Vorherrschende Korngröße auf nahezu allen Standorten war Schluff mit unterschiedlichen Anteilen von Ton.

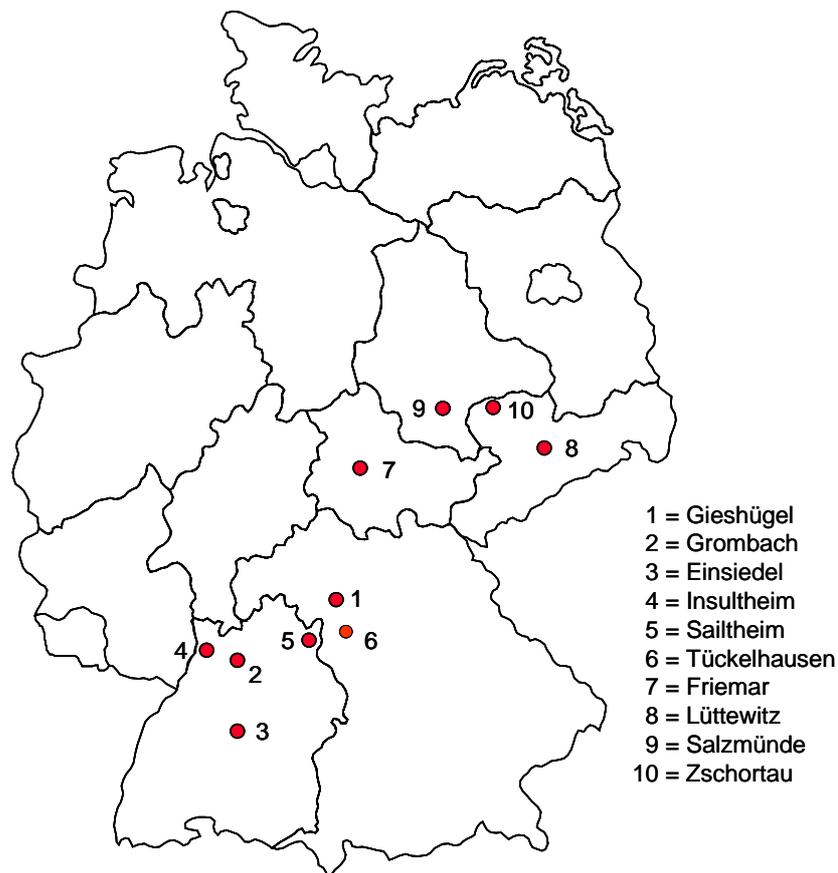


Abb. 1: Versuchsstandorte der Bodenbearbeitungsversuche
Location of the different sites in the on-farm soil tillage trials

Die Versuche wurden an jedem Standort auf Großflächen mit homogenen Bodenverhältnissen durchgeführt, deren Größe je nach Standort zwischen 10 und 40 ha variierte. Die Großflächen waren in vier etwa gleich große und nebeneinander liegende Teilflächen unterteilt, auf denen die vier Bodenbearbeitungsverfahren langjährig ortsfest geprüft wurden (Tab. 1). Im Verfahren Pflug erfolgte nach Beerntung der vorhergehenden Hauptfrucht eine krumentiefe (etwa 30 cm tief) wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug. Das Verfahren Locker war charakterisiert durch eine nicht wendende Lockerung des Bodens auf eine Tiefe von 20 bis 30 cm. Eine deutlich flachere Bodenbearbeitung von 10 bis 15 cm wurde im Verfahren Mulch praktiziert. Im Verfahren Direktsaat führten unzureichende Pflanzendichten von Zuckerrüben zur Etablierung einer spezifischen Verfahrenstechnik mit extrem flachem Einsatz einer Kreiselegge zur gleichmäßigeren Verteilung der Strohreste (BECKER 1997). Auf jeden weiteren mechanischen Eingriff wurde im Verfahren Direktsaat verzichtet. In den Verfahren Pflug, Locker und Mulch wurde grundsätzlich eine übliche Saatbettbereitung mit der Kreiselegge durchgeführt. Die Bodenbearbeitung erfolgte mit praxisüblicher Maschinenteknik.

Die Aussaat von Zuckerrüben wurde auf allen Standorten mit einem Einzelkornsäegerät mit Mulchsaateinrichtung (Fa. Kleine bzw. Fa. Accord) und einer Ablageentfernung von 19 cm (117.000 Pillen = 1,17 Einheiten ha⁻¹ [U]) durchgeführt. In der Direktsaat wurde aufgrund des erfahrungsgemäß niedrigeren Feldaufgangs die Ablageentfernung auf 17 cm verringert (1,30 U). In der dreifeldrigen Fruchtfolge wurde nach Zuckerrüben stets Winterweizen angebaut, dem eine weitere Körnerfrucht folgte (in der Regel Winterweizen). Vor Zuckerrüben wurde als Zwischenfrucht Senf angebaut.

Die Düngung erfolgte je nach Feldfrucht und Standort in allen Bodenbearbeitungsverfahren einheitlich nach vorhergehender Bodenuntersuchung (EUF-Methode) und basierte auf Düngeempfehlungen des BGD Bodengesundheitsdienstes GmbH (ANONYMUS 2002(b)).

Ebenfalls einheitlich war die Applikation von Fungiziden und Insektiziden. Differenzierte Behandlungen mit Herbiziden, Molluskiziden oder Rodentiziden erfolgten, wenn sich das Vorkommen von Unkräutern und Schädlingen auf bestimmte Bodenbearbeitungsverfahren beschränkte. Alle Bekämpfungsmaßnahmen orientierten sich an der jeweiligen Befallssituation.

Die Bestandesdichte der Zuckerrüben wurde zu BBCH 14 (MEIER et al. 1993) anhand von 30 Zählstrecken erhoben. Die Zählstrecken waren in regelmäßigen Intervallen diagonal über jede Teilfläche (Bodenbearbeitungsverfahren) angeordnet und umfassten jeweils 3 nebeneinander liegende Aussaatreihen von 4 m Länge (Gesamtlänge 12 m).

Tab. 1: Arbeitsgänge zu allen Hauptfrüchten der Bodenbearbeitungsverfahren
Soil tillage operations of treatments

	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung	+	+	+	-
Grundbodenbearbeitung	+ ¹	+ ²	-	-
Saatbettbereitung	+	+	+	o

+ = Maßnahme wurde durchgeführt; - = Maßnahme wurde nicht durchgeführt

o = flache Saatbettbereitung nur zu Zuckerrüben

¹ = Pflugeinsatz; ² = Einsatz von Flügel- oder Meißelschar

Vor Ernte der Großflächen wurden die Vorgewende und je zwölf Randleihen jeder Teilfläche entfernt. Die verbliebene Erntefläche wurde anschließend ausgemessen. Die Beerntung der Zuckerrüben erfolgte auf allen Standorten mit einem einphasigen Ernteverfahren (sechsstufiger Selbstfahrer der Fa. Holmer oder Herriau). Die Zuckerrüben jedes Bodenbearbeitungsverfahrens wurden separat am Feldrand gelagert und zu einem späteren Zeitpunkt ebenfalls getrennt nach Bodenbearbeitungsverfahren in eine Zuckerfabrik geliefert. Die Gewichtsbestimmung, die Abnahme einer repräsentativen Teilprobe zur Bestimmung der äußeren und inneren Qualität sowie die Berechnung des Bereinigten Zuckerertrages erfolgten nach MÄRLÄNDER et al. (2003). Bei Berücksichtigung aller Standorte und Jahre seit 1994 ergeben sich insgesamt 24 Einzelergebnisse für Zuckerrüben.

Ökonomische Auswertung

Differenziert nach Jahr, Standort und Bodenbearbeitungsverfahren erfolgte eine ökonomische Analyse anhand absoluter Werte. Kalkuliert wurde der Vergleichsdeckungsbeitrag ($\text{EUR ha}^{-1} \text{a}^{-1}$), der durch Differenzrechnung nach Abzug sämtlicher variabler und fester Kosten von der Marktleistung berechnet wurde. Die variablen Kosten beinhalten alle geleisteten Aufwendungen von Betriebsmitteln wie Saatgut, Pflanzenschutz, Düngung, Erntekosten und Zinsanspruch für das Umlaufkapital. Die Höhe der variablen Maschinenkosten hing von der gerätespezifischen Arbeitsintensität zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren ab. Die wichtigste Komponente variabler Maschinenkosten war der Kraftstoffverbrauch von Zugmaschinen.

Alle durchgeführten Arbeitsgänge und eingesetzten Betriebsmittel wurden in einer Ackerschlagkartei getrennt nach Jahr, Standort und Bodenbearbeitungsverfahren erfasst. Produktpreise zur Kostenermittlung von Betriebsmitteln mit Ausnahme der Grunddüngungskosten wurden aktuellen Preislisten des Großhandels entnommen. Da in der Rotation eine einmalige Grunddüngung erfolgte und dies eine zusätzliche Kostenbelastung nur einer Frucht zur Folge gehabt hätte, wurden nicht die tatsächlich gedüngten Mengen herangezogen. Stattdessen wurden die Kosten für Grunddüngung fruchtartspezifisch auf Basis des Nährstoffentzuges kalkuliert.

Im Untersuchungszeitraum 1994 bis 2002 erfolgte die Kalkulation aller Arbeitsgänge nach Ackerschlagkartei. Zur Berechnung der variablen Maschinenkosten und des

dafür benötigten Arbeitszeitbedarfs wurden zum besseren Vergleich zwischen den Standorten und Jahren Standardwerte nach KTBL benutzt (ANONYMUS 1994, 1998 und 2002(a)). Entsprechend der Größe der Teilflächen wurden für die ostdeutschen Standorte Friemar, Lüttewitz, Salzmünde und Zschortau KTBL-Daten für Schläge der Größenordnung bis 20 ha verwendet. Für die wesentlich kleineren süddeutschen Versuchsstandorte wurden die Daten einer Schlaggröße bis 5 ha herangezogen. Für schwer zu bearbeitende Standorte (Gieshügel, Insultheim und Sailtheim) mit höherem Tongehalt wurde der Arbeitszeitbedarf gegenüber den übrigen Versuchsstandorten um 10 % erhöht. Die Abschreibungsschwelle betrug für alle Maschinen 100 %. Die Kosten einer Arbeitsstunde wurden mit 15,34 € bewertet. Ein 8 % -iger Zinsanspruch wurde für das gebundene Umlaufvermögen veranschlagt, wobei für das Kapital von Saatgut der Verzinsungszeitraum 9 Monate und für Düngemittel 6 Monate betrug.

Der Kalkulation des Produktpreises für Zuckerrüben lag eine Mischpreisbildung zugrunde, bestehend aus einer Gewichtung mit 70 % A-Rüben-Mindestpreis, 20 % B-Rüben-Mindestpreis und 10 % C-Rüben-Mindestpreis (Anonymus 1994 /95 ff.). Diese Mischpreiskalkulation sah vor, dass bei sicherer Erfüllung des Rübenlieferrechtes ein Teil der geernteten Zuckerrüben als C-Rüben vermarktet werden muss. Bei Überschreitung des festgesetzten Basiszuckergehaltes von 16 % wurden die A-, B- und C-Mindestpreise je 0,1 Prozentpunkt höheren Zuckergehalts um 0,9 % angehoben. Ein entsprechender Preisabzug erfolgte bei Unterschreitung des Basiszuckergehaltes. Zusätzliche Qualitätsprämien wurden nicht kalkuliert.

Cercospora-Untersuchung

Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf das Auftreten der Blattfleckenkrankheit *Cercospora beticola* Sacc. wurde auf innerhalb der Teilflächen integrierten Parzellen (ca. 200 m²) untersucht. In den eine Rotation (d. h. 3 Jahre) vorher angebauten Zuckerrüben wurden diese Teilflächen jedes Bodenbearbeitungsverfahrens an den Standorten Grombach und Einsiedel (1997), Insultheim und Sailtheim (1998) sowie am Standort Gieshügel (1999) mit einer *Cercospora*-Sporensuspension definierter Konzentration (1 Petrischale[92 mm Ø]10 m⁻²; 400 l ha⁻¹ Wasser) inokuliert (ADAMS et al. 1995). Dazu erfolgte mittels einer Parzellenspritze nach Reihenschluss der Zuckerrüben eine Applikation des Inokulums auf das Blatt. Dieses Verfahren der Inokulation

hat sich in offiziellen Wert- und Sortenprüfungen zur sicheren Etablierung eines Befalls bewährt (PFLEIDERER 1997). Ziel der Inokulation war es, einen schweren Befall hervorzurufen und somit befallenes organisches Material anzureichern, von dem aus nach einer Rotation ein differenzierter Neubefall ausgehen müsste, falls eine Wirkung der Bodenbearbeitung vorlag. Nach einer Rotation wurde auf den Teilflächen beim erneuten Anbau von Zuckerrüben (Grombach und Einsiedel 2000, Insulthelm und Sailthelm 2001 und Gieshügel 2002) die durch *Cercospora beticola* Sacc. hervorgerufene Schädigung des Blattapparats der Zuckerrüben bonitiert. Die Bonitur erfolgte je Bodenbearbeitungsverfahren an 30 Zuckerrübenpflanzen mittels Kleinwanzlebener Cercosporatafel (ANONYMUS 1953).

Statistische Auswertung

Versuche unter Produktionsbedingungen erfordern eine Durchführung auf Großflächen. Die für den Einsatz praxisüblicher Maschinen erforderliche Ausdehnung solcher Großflächen erlaubt es jedoch nicht, Wiederholungen anzulegen. Somit können Bearbeitungseffekte innerhalb eines Jahres an einem Standort nicht statistisch geprüft werden. Um dennoch durch die Bodenbearbeitung hervorgerufene Effekte statistisch zu bewerten, wurden die Einzelergebnisse (Jahr x Standort) als Wiederholungen betrachtet und einer Varianzanalyse mit nachfolgendem F-Test unterzogen nach Überprüfung von Varianzhomogenität und Normalverteilung (SHAPIRO & WILK 1965). Bei signifikantem F-Wert erfolgte ein Mittelwertvergleich nach Tukey mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,05$. Die statistische Analyse erfolgte mit dem Programmpaket SAS, Version 8.1, SAS Inc. Zur besseren Veranschaulichung werden die Ergebnisse in Relativwerten dargestellt.

Ergebnisse

Ertrag und Qualität

Die Zählung der Pflanzendichte ergab im Mittel aller Umwelten im Verfahren Pflug 87.000 Pfl. ha⁻¹ (Abb. 2). Eine um 4.000 bis 6.000 Pfl. ha⁻¹ bzw. 5 bis 7 % tendenziell niedrigere Pflanzendichte wurde in den Verfahren Mulch und Locker ermittelt.

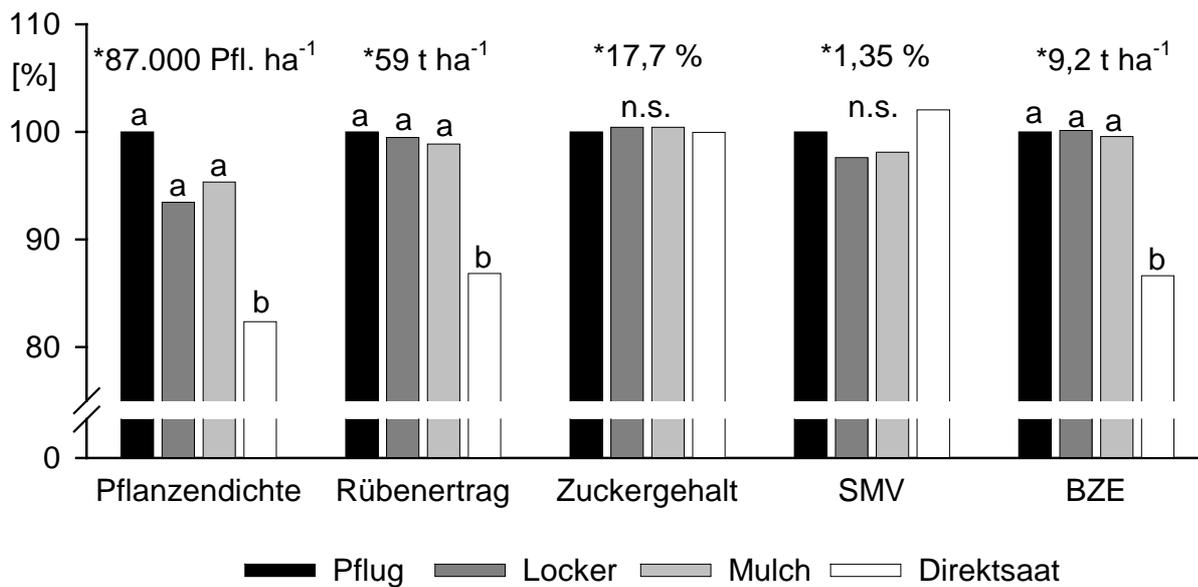


Abb. 2: Relativwerte (*Pflug = 100) von Pflanzendichte, Rübenenertrag, Zuckergehalt, Standardmelasseverlust (SMV) und Bereinigtem Zuckerertrag (BZE) von Zuckerrüben bei dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung, Mittel über 10 Standorte, 1994-2002, n = 24

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, $p \leq 0,05$, Tukey-Test, n.s. = nicht signifikant

Plant density, root yield, sugar content, standard molasses loss (SMV) and white sugar yield (BZE) (relative values, *ploughing = 100) of sugar beet as affected by different continuous tillage systems, 10 sites, 1994-2002, n = 24
Different letters indicate significant differences, $p \leq 0,05$; Tukey-Test, n.s. = not significant

Eine signifikant niedrigere Pflanzendichte etablierte sich trotz der 11 % höheren Aussaatmenge nach Direktsaat. Im Vergleich zum Verfahren Pflug war die Pflanzendichte um $15.000 \text{ Pfl. ha}^{-1}$ bzw. 18 % verringert.

Der Rübenenertrag zeigte zwischen den Verfahren Pflug, Locker und Mulch keine Unterschiede und variierte geringfügig zwischen $58,0 \text{ t ha}^{-1}$ im Verfahren Mulch und $58,7 \text{ t ha}^{-1}$ im Verfahren Pflug (Abb. 2). Im Vergleich dazu wies die Direktsaat mit $51,0 \text{ t ha}^{-1}$ einen um etwa 15 % signifikant verringerten Rübenenertrag auf. Der Zuckergehalt war in allen Bodenbearbeitungsverfahren mit etwa 17,7 % ähnlich hoch.

Der Standardmelasseverlust zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Verfahren, jedoch wiesen Pflug und Direktsaat tendenziell höhere Werte als die Verfahren Locker und Mulch auf.

Der Bereinigte Zuckerertrag zeigte zwischen den Verfahren Pflug, Locker und Mulch keine Unterschiede und lag bei etwa $9,2 \text{ t ha}^{-1}$. Mit $8,0 \text{ t ha}^{-1}$ wurde nach Direktsaat ein um etwa 13 % signifikant niedrigerer Bereinigter Zuckerertrag festgestellt.

Die Gehalte der qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffe Natrium und α -Amino-N waren in den Verfahren Pflug und Direktsaat tendenziell höher (Abb. 3). Ein signifikant höherer Gehalt an Kalium trat nach Direktsaat auf.

Der Variationskoeffizient von Rübenertrag, Zuckergehalt, Standardmelasseverlust und Bereinigtem Zuckerertrag schwankte zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren nur geringfügig (Tab. 2). Ein niedriger Variationskoeffizient wurde für den Zuckergehalt, ein mittlerer für den Standardmelasseverlust und ein hoher Variationskoeffizient für Rübenertrag und Bereinigten Zuckerertrag ermittelt.

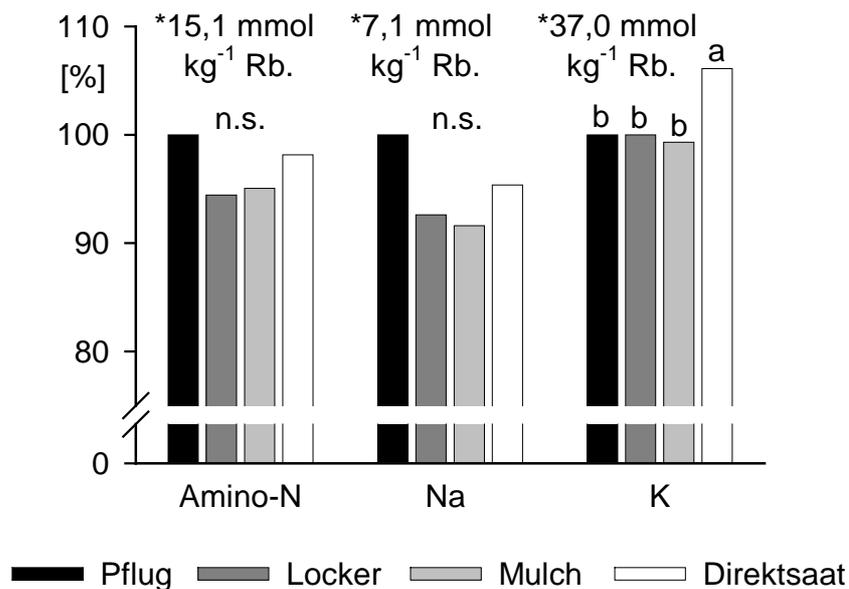


Abb. 3: Relativwerte (*Pflug = 100) des Gehaltes an α -Amino-N, Natrium und Kalium von Zuckerrüben bei dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung, Mittel über 10 Standorte, 1994-2002, n = 24

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, $p \leq 0,05$, Tukey-Test, n.s. = nicht signifikant

Content of α -amino-N, sodium, potassium (relative values, *ploughing = 100) of sugar beet as affected by different continuous soil tillage systems, 10 sites, 1994-2002, n=24

Different letters indicate significant differences, $p \leq 0,05$; Tukey-Test, n.s. = not significant

Tab. 2: Variationskoeffizient von Rübenertrag, Zuckergehalt, Standardmelasseverlust und Bereinigtem Zuckerertrag von Zuckerrüben in Abhängigkeit von langjährig differenzierter Bodenbearbeitung, Mittel über 10 Standorte, 1994 - 2002, n = 24

Variation coefficient of root yield, sugar content, standard molasses loss and white sugar yield of sugar beet as affected by different continuous tillage systems, 10 sites, 1994 - 2002, n = 24

	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Rübenertrag	16,5	18,4	18,8	17,7
Zuckergehalt	5,8	6,2	6,3	6,3
Standardmelasseverlust	13,0	9,8	10,4	12,7
Bereinigter Zuckerertrag	17,9	19,9	20,2	19,3

Rentabilitätsanalyse

Die annähernd gleichen Werte des Bereinigten Zuckerertrages und Zuckergehaltes in den Verfahren Pflug, Locker und Mulch führten zu annähernd gleicher Marktleistung (Tab. 3).

Tab. 3: Kosten und Vergleichsdeckungsbeitrag des Produktionsverfahrens Zuckerrüben bei dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung, Mittel über 10 Standorte, 1994-2002, n=24

Costs and gross margin of production process sugar beet as affected by different continuous tillage systems, 10 sites, 1994 - 2002, n = 24

Bodenbearbeitungsverfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
	[EUR ha ⁻¹ a ⁻¹]			
Marktleistung	2892	2894	2877	2509
Saatgut	200	201	201	210
Düngemittel	151	151	151	151
Pflanzenschutzmittel	276	303	300	350
Zinsanspruch	29	30	30	32
Lohnmaschinen	205	205	205	205
variable Maschinenkosten	96	72	68	50
feste Maschinenkosten	118	102	97	78
Arbeitskosten	70	57	52	42
Gesamtkosten	1145	1121	1103	1118
Vergleichsdeckungsbeitrag	1747	1774	1774	1391

Die Spanne von der höchsten Marktleistung im Verfahren Locker ($2894 \text{ EUR ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) hin zur niedrigsten im Verfahren Mulch ($2877 \text{ EUR ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) betrug lediglich $17 \text{ EUR ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Deutliche Unterschiede bestanden im Vergleich dazu zu Direktsaat. Mit $2509 \text{ EUR ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ war die Marktleistung um 368 bis $385 \text{ EUR ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ niedriger als in den übrigen Verfahren.

Die Kosten für Düngemittel, Zinsanspruch und Lohnmaschinen waren in allen Verfahren nahezu gleich (Tab. 3). Bei Direktsaat verursachte die niedrigere Ablageentfernung höhere Aufwendungen für Saatgut. Die Aufwendungen für Pflanzenschutz nahmen ausgehend vom Verfahren Pflug über Mulch und Locker hin zur Direktsaat zu. Variable sowie feste Maschinenkosten und Arbeitskosten sanken mit abnehmender Intensität der Bodenbearbeitung. Die Gesamtkosten nahmen ausgehend vom Verfahren Pflug ($1145 \text{ EUR ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) über Locker ($1121 \text{ EUR ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und Mulch ($1103 \text{ EUR ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) ab. Bei Direktsaat betrugen die Kosten $1118 \text{ EUR ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Nach Abzug sämtlicher Aufwendungen wurde in den Verfahren Mulch und Locker mit $1774 \text{ EUR ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ der höchste Vergleichsdeckungsbeitrag erzielt (Tab. 3). Im Vergleich dazu hatten im Verfahren Pflug die höheren Gesamtkosten eine leichte Senkung der Rentabilität zur Folge: Mit $1747 \text{ EUR ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ wurde ein um $27 \text{ EUR ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ niedrigerer Vergleichsdeckungsbeitrag als in den Verfahren Locker und Mulch erwirtschaftet. Die Direktsaat wies mit $1391 \text{ EUR ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ den niedrigsten Vergleichsdeckungsbeitrag auf. Zu den Verfahren Locker und Mulch bestand dabei eine monetäre Differenz von ca. $380 \text{ EUR ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Cercosporabefall

Zwischen den Jahren x Standorten (Umwelt) variierte der Befall mit *Cercospora beticola* Sacc. auf den drei Jahre zuvor einheitlich inokulierten Parzellen erheblich (Abb. 4). Nahezu befallsfrei waren die Zuckerrüben am Standort Sailtheim 2001. Der Befall mit *Cercospora* an den Standorten Einsiedel und Grombach 2000 sowie Gieshügel 2002 war etwas höher. Die Boniturwerte variierten mit einer Spanne von $0,5$ bis $1,5$ entsprechend $1-5 \%$ zerstörter Blattfläche. Der höchste Befall mit Boniturwerten von etwa 3 entsprechend 30% zerstörter Blattfläche lag am Standort Insultheim 2001 vor.

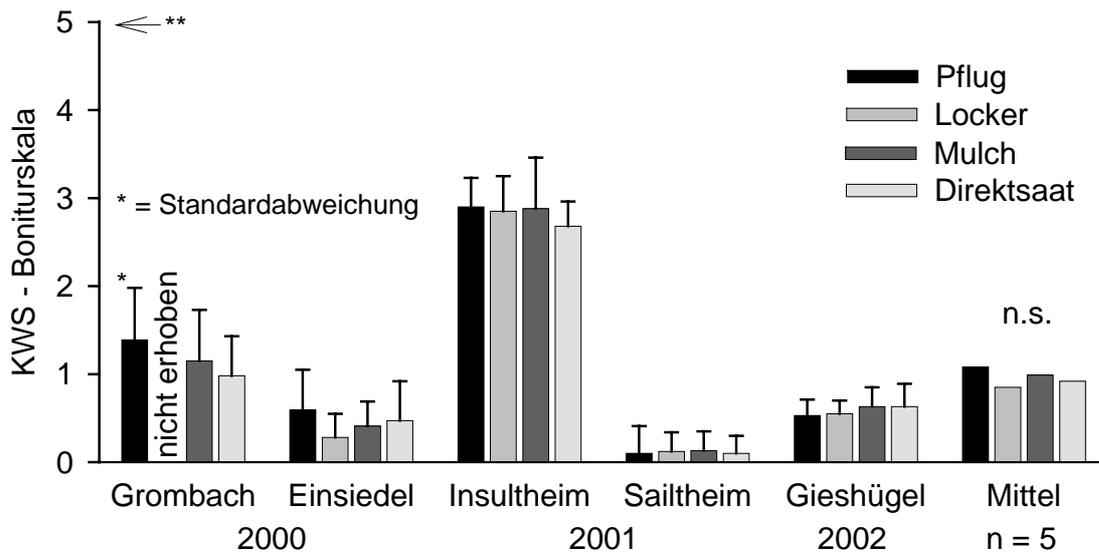


Abb. 4: Befall mit *Cercospora beticola* Sacc. in Zuckerrüben bei dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung, 2000-2002
 KWS-Boniturskala, Mittel aus 30 Pflanzen, Kleinparzellen, ** = 100 % befallene Blattfläche, BBCH 39, n.s. = nicht signifikant, $p \leq 0,05$; Tukey-Test

Cercospora infestation level in sugar beet influenced by different continuous tillage systems, 2000-2002
 KWS-Evaluation scale, mean of 30 plants, plots, ** = 100 % infested leaf area, BBCH 39, n.s. = not significant, $p \leq 0,05$; Tukey-Test

Weder im Mittel über noch in einzelnen Umwelten wiesen die Zuckerrüben in den Bodenbearbeitungsverfahren einen signifikant unterschiedlichen Befall auf.

Diskussion

Die Notwendigkeit, Erosionsschutz zu leisten und gleichzeitig Produktionskosten zu senken, hat wesentlich zur Einführung konservierender Bodenbearbeitungsverfahren im Zuckerrübenanbau beigetragen. Mittlerweile wird in Deutschland ein Viertel der Zuckerrübenanbaufläche pfluglos bestellt (MERKES et al. 2003). Während die ökologischen Vorteile der pfluglosen Bodenbearbeitung mehrfach beschrieben wurden (EHLERS 1992, TEBRÜGGE & EICHORN 1992, WEGENER 2001), wird kontrovers über die Auswirkung der Bodenbearbeitung auf pflanzenbauliche und ökonomische Aspekte diskutiert. Schließlich wurden bislang in wissenschaftlichen Untersuchungen Auswirkungen der Bodenbearbeitung auf phytopathologische Aspekte wie der in zunehmendem Maße auftretenden Krankheit *Cercospora beticola* Sacc. nicht berücksichtigt.

Vor diesem Hintergrund wurden 1994 auf 10 landwirtschaftlichen Betrieben der Südzucker AG vier unterschiedliche Verfahren der Grundbodenbearbeitung als ortsfeste Dauerversuche in einer Zuckerrübenfruchtfolge angelegt. Um die Bodenbearbeitungsverfahren mit einer hohen Aussagekraft für die praktische Landwirtschaft bewerten zu können, wurden die Untersuchungen auf vier homogenen nebeneinander liegenden Großflächen von mindestens 3 ha Größe durchgeführt. So wurde gewährleistet, dass praxisübliche Gerätetechnik auf den Versuchsflächen zum Einsatz kommen konnte. Aufgrund der Parzellengröße war die Anlage von Wiederholungen nicht möglich. Dies erlaubt nach dreimaliger Rotation noch keine Bewertung der Wechselwirkung zwischen Standort und Jahr. Um den Einfluss der Bodenbearbeitung statistisch bewerten zu können, wurden die Einzelversuche als Wiederholungen verrechnet, so dass Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Bodenbearbeitung und Standort nur über den wiederkehrenden Anbau einer Fruchtart deutlich werden. Erste Ergebnisse der Versuchsserie wurden bereits vorgestellt (BECKER & KOCH 1997, BECKER & MÄRLÄNDER 1998, WEGENER 2001).

Die Pflanzendichte der Zuckerrüben wies im Mittel über alle 24 Umwelten nur tendenzielle Unterschiede zwischen den Verfahren Pflug, Locker und Mulch auf. Signifikante Unterschiede zu allen Verfahren traten nach Anbau von Zuckerrüben in Direktsaat auf. Mit 71.000 Pfl. ha⁻¹ wies die Direktsaat trotz der 11 % höheren Aussaatstärke eine 11-18 % niedrigere Pflanzendichte als die übrigen Verfahren auf. Die verringerte Pflanzendichte ist primär eine Folge der Aussaatbedingungen. Durch die fehlende Stoppelbearbeitung liegen im Verfahren Direktsaat im Gegensatz zu den übrigen Verfahren sämtliche Erntereste nahezu ausschließlich auf der Bodenoberfläche und behindern die Pillenablage. Bei Direktsaat existiert kein rieselfähiger Boden zur Bedeckung des Saatgutes und das Mulchmaterial wird beim Sävorgang von den Scheibenscharen unzertrennt in den Saatschlitz hineingedrückt (BECKER 1997, WEGENER 2001), so dass die nachfolgende Pillenablage nur auf organischem Material erfolgen kann. Unzureichender Bodenkontakt und Wasserversorgung behindern in der Folge Keimung und Feldaufgang. Die im Vergleich zum Verfahren Pflug annähernd gleiche Pflanzendichte in den Verfahren Locker und Mulch belegen deutlich die Wirkung der Stroheinarbeitung. Auch in anderen Versuchen wurden nach konservierender Bodenbearbeitung mit Stroheinarbeitung vergleichbare Pflanzendichten

von Zuckerrüben festgestellt wie nach konventioneller Bodenbearbeitung (STEPHAN et al. 1995, HOFFMANN 1996).

Ebenfalls problematisch für die Pflanzenentwicklung während der Keim- und Auflaufphase kann sich bei pflugloser Bodenbearbeitung die verzögerte Abtrocknung und Erwärmung des Bodens auswirken. Höhere Lagerungsdichte und Wassergehalt in Verbindung mit einer das Sonnenlicht reflektierenden Mulchdecke können im Frühjahr die Erwärmung des Bodens und die Pflanzenentwicklung erheblich verzögern (EHLERS 1992). Nach STEINERT & PAPESCH (1995) muss daher die Aussaat von Zuckerrüben unbedingt auf abgetrockneten Flächen stattfinden. Im vorliegenden Versuch wurde der Aussaattermin für alle Bodenbearbeitungsverfahren überwiegend durch den Abtrocknungszustand der pfluglos bearbeiteten Verfahren, insbesondere der Direktsaat, vorgegeben. Trotz sorgfältiger Beurteilung wurde in Einzelfällen, wie anhand verzögerter Pflanzenentwicklung sichtbar wurde, die Aussaat trotzdem zu früh durchgeführt. Spätere Auswirkungen auf den Rübenenertrag waren aber zumindest bei konservierender Bodenbearbeitung nicht erkennbar, denn Rübenenertrag und Bereinigter Zuckerertrag waren unabhängig von den Bodenbearbeitungsverfahren in Pflug, Locker und Mulch im Mittel aller Einzelwerte nahezu identisch. Einen bei konservierender Bodenbearbeitung ähnlichen, zum Teil sogar höheren Rübenenertrag als mit Einsatz des Pfluges stellten auch TEBRÜGGE & EICHHORN (1992) und ECCLESTONE (2001) fest. MÄRLÄNDER (1978) berichtet von einem niedrigeren Rübenenertrag bei konservierender Bodenbearbeitung, der aber durch einen höheren Zuckergehalt zu gleich hohem Bereinigten Zuckerertrag führte wie mit Einsatz des Pfluges. HOFFMANN et al. (1996) hingegen konnte diese Beobachtungen nicht bestätigen. In Untersuchungen auf Kleinparzellen wurde sowohl ein niedrigerer Rübenenertrag als auch ein niedrigerer Bereinigter Zuckerertrag nach pflugloser Bodenbearbeitung im Vergleich zur gepflügten Variante festgestellt.

Die Qualität der Zuckerrüben wurde von der Bodenbearbeitung nur unwesentlich beeinflusst. Während der Zuckergehalt in Übereinstimmung mit Ergebnissen von HOFFMANN (1996) zwischen konventioneller und pflugloser Bodenbearbeitung keine Unterschiede zeigte, wurde beim Standardmelasseverlust in den Verfahren Pflug und Direktsaat ein tendenziell höherer Gehalt als in Locker und Mulch festgestellt. Bei genauerer Betrachtung und Zuordnung zu den einzelnen Qualitätsparameter war der

Gehalt an Kalium nach Direktsaat gegenüber den übrigen Verfahren signifikant erhöht. Tendenziell erhöht gegenüber Locker und Mulch waren die Gehalte an Natrium und α -Amino-N, wobei die höchsten Werte das Verfahren Pflug aufwies. Nach BÜRCKY & WINNER (1986) und MÄRLÄNDER & RÖVER (1994) führt eine niedrige Pflanzendichte und ungleichmäßige Pflanzenverteilung zu einer Qualitätsminderung. Dieser Erklärungsansatz kann lediglich für die Direktsaat zutreffen. Die Qualitätsminderung bei konventioneller Bodenbearbeitung könnte eine Folge des von WEGENER (2000) festgestellten höheren Frühjahrs-Nmin-Gehalts in gepflügten Flächen sein, der auf eine höhere N-Verfügbarkeit für die Pflanze im Verfahren Pflug hindeutet. Führt ein höherer Stickstoffgehalt zu einem intensiveren und blattbetonterem Wachstum der Zuckerrübe, ist mit einem erhöhten Gehalt an Melassebildnern, insbesondere an α -Amino-N zu rechnen (MÄRLÄNDER 1990).

Die auf pflanzenbaulichen Werten aufbauende ökonomische Analyse erfolgte für die Marktleistung über die Parameter Rübenertrag und Zuckergehalt sowie den Bereinigten Zuckerertrag, in den die technische Qualität über den Standardmelasseverlust eingeht. Der Variationskoeffizient war für die Ertragsparameter deutlich höher als für die Qualitätsparameter. Ursache dafür ist die für Zuckerrüben allgemein hohe, aber nur schwer zu interpretierende Interaktionsvarianz zwischen Standort und Jahr, die letztlich Resultat der hohen Abhängigkeit des Leistungsniveaus von der Witterung ist (MÄRLÄNDER 1991). Dagegen werden Zuckergehalt und Parameter der technischen Qualität weniger von der Witterung als z. B. von Genotyp oder anbautechnischen Maßnahmen beeinflusst (ROTHER 1998). Ein insbesondere für die ökonomische Analyse bedeutsamer Trend von fallenden oder steigenden Ertrags- und Qualitätsparametern existierte in den vorliegenden Versuchen nicht. Zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren schwankte der Variationskoeffizient für alle Parameter nur gering, so dass eine Bewertung der Bodenbearbeitungsverfahren über relative Werte bezogen auf das absolute Gesamtmittel erfolgen kann. Die ökonomische Analyse erfolgte dagegen auf Basis der absoluten Werte je Standort und Jahr.

Eine Quantifizierung der Faktoren Standort und Jahr und deren Interaktion erscheint für die einzelnen Bodenbearbeitungsverfahren erst nach 12-jähriger Versuchsdauer (4-maliger Rotation) aussagekräftig zu sein und ist Gegenstand des zurzeit laufenden Forschungsprojektes. Eine Aussage nach 3-maliger Rotation erscheint noch

nicht möglich, zumal in einzelnen Jahren in einzelnen Standorten Versuche ausfielen (Frost mit Nachsaat, uneinheitlicher Rizomaniabefall). Mit zunehmender Dauer der Versuche können auch Interaktionen der Bodenbearbeitungsintensität zu anderen pflanzenbaulichen Maßnahmen aufgezeigt werden, wie dies für die Vorfruchtkombination Zuckerrübe-Weizen und Weizen-Weizen bereits erfolgte (PRINGAS & KOCH 2003).

Gleicher Rübenertrag und Zuckergehalt in den Verfahren Pflug, Locker und Mulch hatten zur Folge, dass die Marktleistung in diesen Verfahren ebenfalls nahezu identisch war. Demgegenüber war die Marktleistung nach Direktsaat um fast 400 EUR ha⁻¹ a⁻¹ deutlich verringert. In der Summe zeigten die Gesamtkosten geringe Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren. Die Spanne vom kostenintensivsten Verfahren Pflug zum kostengünstigsten Verfahren Mulch betrug 42 EUR ha⁻¹ a⁻¹. Bei detaillierter Betrachtung der Kostenzusammensetzung wird der Einfluss der Bodenbearbeitung deutlich: So verursachte die niedrigere Ablageentfernung des Saatgutes bei Direktsaat einen geringen Kostenanstieg. Mit abnehmender Intensität der Bodenbearbeitung nahmen in Übereinstimmung mit EICHHORN et al. (1991), BRUNOTTE & SOMMER (1994) UND BRUNOTTE et al. (2001) die Kosten zur Durchführung der Bodenbearbeitung (variable und fixe Maschinen- sowie Arbeitskosten) ab. Im Gegenzug stiegen die Aufwendungen für Pflanzenschutz. In sämtlichen pfluglos bearbeitenden Verfahren übertrafen jedoch die Einsparungen an variablen und festen Maschinen- sowie Arbeitskosten die höheren Aufwendungen für Pflanzenschutzmittel. Die günstigste Relation zwischen Aufwendungen an Pflanzenschutz und Einsparungen an Maschinenkosten wies das Verfahren Mulch auf. Bei weiterer Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität, insbesondere Direktsaat, stiegen die Pflanzenschutzmittelkosten stark an, mit der Folge, dass eingesparte Maschinen- und Arbeitskosten nicht in dem Maße genutzt werden konnten wie im Verfahren Mulch.

Von zahlreichen Autoren wird auf einen höheren Unkrautdruck bei pflugloser Bodenbearbeitung hingewiesen (ARNOLD-REIMER 1994, BRÄUTIGAM 1994, EHLERS & CLAUPEIN 1994). Entsprechend beinhalten die höheren Pflanzenschutzmittelkosten in den pfluglosen Verfahren hauptsächlich Aufwendungen für Herbizide. Insbesondere die Bekämpfung der Altverunkrautung vor der Aussaat erforderte den Einsatz nicht selektiver Herbizide. Zusätzliche Nachauflaufbehandlungen aufgrund eines erhöhten

Auftretens von mono- und dikotylen Unkräutern mussten nur bei Direktsaat vereinzelt durchgeführt werden. Begünstigend auf die Unkräuter wirkt sich die geringe Konkurrenzkraft der Zuckerrübe in den ersten Wachstumsabschnitten (WELLMANN 1999) in Verbindung mit der bereits beschriebenen Wachstumsverzögerung von Zuckerrüben bei Direktsaat aus. Pfluglose Bodenbearbeitung muss jedoch nicht zwangsläufig zu einer höheren Verunkrautung führen (TEBRÜGGE 1988). Auf einzelnen Standorten dieser Versuchsserie wurde auch mit konservierender Bodenbearbeitung eine deutlich niedrigere Verunkrautung festgestellt als mit Pflugeinsatz (PRINGAS et al. 2001).

Nach Abzug sämtlicher Kosten wiesen die konservierend bearbeitenden Bodenbearbeitungsverfahren die höchste Rentabilität auf. Im Vergleich dazu minderten geringfügig höhere Gesamtkosten im Verfahren Pflug die Wirtschaftlichkeit um 27 EUR ha⁻¹ a⁻¹. In Untersuchungen aus Parzellenversuchen wurde bereits darauf hingewiesen, dass mit konservierender Bodenbearbeitung ähnliche ökonomische Ergebnisse erzielt werden können wie mit konventioneller Bodenbearbeitung (TEBRÜGGE & EICHHORN 1992, WAGNER 2001). Durch die vorliegenden Ergebnisse kann dagegen aufgrund des Einsatzes praxisüblicher Technik und der Vielzahl an Versuchsjahren und -standorten die ökonomisch erfolgreiche Anwendung dauerhaft pflugloser Bodenbearbeitung unter Praxisbedingungen erstmals durch eine umfassende Gesamtkostenanalyse gezeigt werden. Lediglich das Verfahren Direktsaat erscheint in der hier durchgeführten Form zurzeit ungeeignet für die Zuckerrübenproduktion. Die Kosteneinsparungen zu dem Verfahren Pflug waren zu gering, um eine Kompensation des gravierenden Minderertrages zu bewirken.

Zur Untersuchung des Einflusses der Bodenbearbeitung auf das Auftreten des pilzlichen Schaderregers *Cercospora beticola* Sacc. wurde in den Jahren 1997, 1998 und 1999 eine Inokulation mit einer Sporensuspension durchgeführt. Durch die Inokulation wurde ein sehr starker Befall provoziert, so dass von einer Differenzierung durch die Bodenbearbeitungsverfahren nach einer Rotation auszugehen war. Älteren Untersuchungen (KOCH 1958) zufolge ist eine Überdauerung des Pilzes über einen längeren Zeitraum als 2-3 Jahre nach Einsatz des Pfluges eher unwahrscheinlich. Auch KNAPP (1954) hält eine direkte Infektion durch Konidien oder sklerotische Körper befallener Pflanzen über 2 und mehr Jahre hinweg für unwahrscheinlich. Die zeitliche Distanz der Aufeinanderfolge von Zuckerrüben in der Fruchtfolge wird daher

von VASELY (1971) als wichtigste vorbeugende Maßnahme gegen *Cercospora* angesehen. Untersuchungen zum Einfluss einer differenzierten Bodenbearbeitung existieren bisher aber nicht. Daher war es fraglich, ob diese Ergebnisse auch auf Flächen mit konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat übertragbar sind, beziehungsweise ob allgemein davon ausgegangen werden kann, dass pfluglose Bodenbearbeitung zu einem erhöhten Auftreten von *Cercospora* führt.

Im vorliegenden Versuch zeigte sich eine unterschiedliche Befallsintensität in Abhängigkeit von Jahr und Standort. Während an den Standorten Grombach, Einsiedel (2000) und Gieshügel (2002) ein deutlicher, aber schwacher Befall vorlag, wurden in Sailtheim 2001 nahezu keine Krankheitssymptome beobachtet. Am Standort Insultheim wurde 2002 ein mittlerer bis hoher Befall festgestellt. Überraschenderweise traten aber innerhalb eines Standortes zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren keine Befallsunterschiede auf. Demnach ist nicht davon auszugehen, dass 2 bis 3 Jahre nach dem letzten *Cercosporabefall* in Zuckerrüben die Bodenbearbeitung einen Einfluss auf das erneute Auftreten des Schaderregers im Zuckerrübenbestand ausübt. Wird eine längere Anbauphase eingehalten, ist kein direkt vom Boden ausgehender Befall mit *Cercospora* zu erwarten. Wahrscheinlich verhindert die von (KLIMANEK 1990) beschriebene zügige Zersetzung des Rübenblatts eine Überdauerung des Schaderregers auf organischem Material. Die gleichmäßige Befallsintensität innerhalb eines Standortes wird dann vermutlich durch windübertragene Konidien aus Nachbarfeldern hervorgerufen. Verbleiben Ernterückstände cercosporabefallener Rüben auf dem Feld, kann daraus aber ein starker und frühzeitiger Befall in angrenzend angebauten Zuckerrüben resultieren (KOCH 1958). Vielleicht könnte von pfluglos bearbeiteten Flächen deshalb ein größeres Gefahrenpotential für Nachbarflächen ausgehen. Dies wäre beispielsweise der Fall, wenn der Pilz an oberflächlich verbleibenden Rübenblättern überwintert und von dort aus im Folgejahr Zuckerrüben eines Nachbarfeldes neu infiziert. Obwohl einige Beobachtungen in der Praxis Hinweise darauf geben, mangelt es bisher an wissenschaftlichem Nachweis dafür, so dass weitere Untersuchungen notwendig sind, um den Sachverhalt abschließend beurteilen zu können.

Zusammenfassend wurden im vorliegenden Beitrag nach neunjähriger Versuchsdauer erstmalig auf Großflächen mehrerer Standorte Ergebnisse zur Wirkung lang-

jährig differenzierter Bodenbearbeitung auf pflanzenbauliche und ökonomische Kenngrößen der Produktion umfassend beschrieben. Danach kann konservierende Bodenbearbeitung für den Anbau von Zuckerrüben als praxistauglich angesehen werden. Dabei muss deren konkrete Ausgestaltung und technische Optimierung angepasst an die Standortbedingungen (Boden, Klima) unter Berücksichtigung der Fruchtfolge geschehen. Direktsaat hingegen erscheint derzeit aufgrund gravierender monetärer Einbußen für die Praxis ungeeignet. Die erstmals in Zuckerrüben durchgeführte Untersuchung zum Einfluss der Bodenbearbeitung auf das Auftreten von *Cercospora* lässt darauf schließen, dass der Erreger nicht unmittelbar von der Bodenbearbeitung beeinflusst wird.

Pflanzenbau als angewandte Wissenschaftsdisziplin muss sich an der praktischen Realität orientieren und sich mit ihr auch messen lassen können. Die Ergebnisse der vorliegenden Versuchsserie können einen wesentlichen Beitrag zur Verbreitung der konservierenden Bodenbearbeitung leisten. Besondere Bedeutung hat dies, da eine reduzierte Bodenbearbeitungsintensität mit Mulchaufgabe im Sinne der Definition der Festbodenmulchwirtschaft (BAUMER 1992) zukünftig zentrales Element einer nachhaltigen Produktion von Zuckerrüben in Mitteleuropa darstellen wird (MÄRLÄNDER et al. 2003).

Danksagung

Besonderer Dank gilt dem Kuratorium für Versuchswesen und Beratung im Zuckerrübenanbau, Ochsenfurt, für die finanzielle Unterstützung des Versuchsvorhabens sowie den Mitarbeitern vom Geschäftsbereich Landwirtschaft der Südzucker AG und insbesondere Herrn Dir. Miller für die umfangreiche Unterstützung bei der Durchführung der Versuche. Dank gilt ebenfalls Frau Dr. C. Hoffmann, Frau Busse und Herrn Dr. H.-J. Koch für die vielfältigen Anregungen und die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Literatur

ADAMS, H., W. R. SCHÄUFELE & B. MÄRLÄNDER, 1995: A method for the artificial inoculation of sugar beet with *Cercospora beticola* under field conditions. *Journal of Plant Diseases and Protection* **102** (3), 320-322.

ANONYMUS, 1953: KWS-Cercospora-Tafel. [Hrsg.]: Kleinwanzlebener Saatzucht, Einbeck (modifiziert von Agronomica - Italy).

ANONYMUS, 1988: KTBL-Arbeitsgruppe: Bodenbearbeitung und Bestellung: Definition und Einordnung von Bodenbearbeitungsverfahren. Landtechnik **43**, 421-424.

ANONYMUS, 1993-2002: Monatlicher Witterungsbericht. Zentralamt Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach am Main.

ANONYMUS, 1994/95 ff.: Geschäftsberichte für die Geschäftsjahre 1994/1995 bis 2002/2003. Verband süddeutscher Zuckerrübenanbauer e.V. [Hrsg.], Würzburg.

ANONYMUS, 1994: KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft 1994/1995. Daten für die Betriebskalkulation in der Landwirtschaft, 17. Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt.

ANONYMUS, 1998: KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft 1998/1999. Daten für die Betriebskalkulation in der Landwirtschaft, 19. Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt.

ANONYMUS, 2002(a): KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft 2002/2003. Daten für die Betriebskalkulation in der Landwirtschaft, 21. Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt.

ANONYMUS, 2002(b): Düngeempfehlung zur EUF-Bodenuntersuchung. SZ AG Mannheim/Ochsenfurt.

ARNOLD-REIMER, K., 1994: Einfluß konservierender Bodenbearbeitung auf Pflanzenkrankheiten und Unkräuter im Getreide und Konsequenzen für einen gezielten Pflanzenschutz. Diss., Göttingen.

BAEUMER, K. & G. PAPE, 1972: Ergebnisse und Aussichten des Anbaus von Zuckerrüben im Ackerbausystem ohne Bodenbearbeitung. Zucker **25**, 711-718.

BAEUMER, K., 1992: Allgemeiner Pflanzenbau. 3 Aufl., Verlag Ulmer, Stuttgart.

BECKER, C., 1997: Dauerhaft pfluglose Bodenbearbeitungssysteme und Betriebsgröße – eine pflanzenbaulich-ökonomische Analyse. Diss., Göttingen.

BECKER, C. & H.-J. KOCH, 1997: Ertrag und Qualität von Winterweizen, Triticale und Körnerleguminosen nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Großflächen verschiedener Standorte. Pflanzenbauwissensch. **1** (4), 183-191.

BECKER, C. & B. MÄRLÄNDER, 1998: Ertrag und Qualität von Zuckerrüben in dauerhaft pfluglosen Bodenbearbeitungssystemen – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen. *Pflanzenbauwissenschaft* **2** (1), 7-15.

BRÄUTIGAM, V., 1994: Einfluß verschiedener Bodenbearbeitungssysteme auf Halm-basiskrankheiten des Getreides und die Unkrautentwicklung – Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Boden. In: TEBRÜGGE, F. & M. DREIER [Hrsg.]: Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristige Auswirkungen auf den Boden. *Wiss. Fachverl. Dr. Fleck, Gießen*, 225-232.

BRUNOTTE, J. & C. SOMMER, 1994: Konservierende Bodenbearbeitung in der Praxis – Bodenschutz, Technikeinsatz und Kosten. In: *Bodenbearbeitung und Bestellung von Großflächen. KTBL-Arbeitspapier* **215**, 9-17.

BRUNOTTE, J., M. WAGNER & C. SOMMER, 2001: Bodenschutz und Kosteneinsparung. Anforderungen an heutige Bodenbearbeitung. *Landtechnik* **56** (3), 132-133.

BÜRCKY, K. & C. WINNER, 1986: Einfluß der Bestandesdichte auf Ertrag und Qualität der Zuckerrübe bei unterschiedlichem Erntetermin. *Z. Acker- und Pflanzenbau* **157**, 264-272.

ECCLESTONE, P., 2001: Minimal tillage options for economic sugar beet production. *British Sugar Beet Review* **69** (3), 24-29.

EHLERS, W., 1992: Reduzierte Bodenbearbeitung – ökologische Folgen und ackerbauliche Grenzen. *VDLUFA-Schriftenreihe* 35, Kongreßband 1992, Göttingen, 35-58.

EHLERS, W. & W. CLAUPEIN, 1994: Approaches towards conservation tillage in Germany. In: CARTER, M.R. [Hrsg.]: *Conservation tillage in temperate agroecosystems*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, 141-145.

EICHHORN, H., W. GRUBER & J. GRIEBEL, 1991: Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren – Ökonomisch betrachtet. *Landtechnik* **46** (1/2), 39-42.

GARBE, V., T.-F. PAPE & R. HEITEFUß, 1989: Nach Zuckerrüben-Mulchsaat mehr Collem-bolen und Wurzelbrand? *Pflanzenschutz-Praxis* (1), 15-17.

HOFFMANN, C., 1996: Wirkung mehrjährig pflugloser Bodenbearbeitung auf die N-Dynamik im Boden und den Ertrag von Zuckerrüben. *Zuckerind.* **121** (8), 616-622.

HOFFMANN, C., S. LINDÉN & H.-J. KOCH, 1996: Influence of soil tillage on net N-mineralization under sugar beet. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **159**, 79-85.

KLIMANEK, E.-M., 1990. Umsetzungsverhalten von Ernterückständen. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. **34**, 559-567.

KNAPP, E., 1954: Können Cercospora-Infektionsquellen im Feld über mehrere Jahre erhalten bleiben? Zucker **7**, 169-170.

KOCH, F., 1958: Ein Feldversuch zur Frage der Lebensdauer von *Cercospora beticola* im Boden. Zucker **11**, 237-238.

KÖLLER, K., 1993: Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. Wissenschaftliche Ergebnisse – praktische Erfahrungen. DLG Verlag, Frankfurt am Main.

MÄRLÄNDER, B., 1978: Wirkung reduzierter Grundbodenbearbeitung auf die Ertragsbildung von Zuckerrüben. Diss., Göttingen.

MÄRLÄNDER, B., 1990: Influence of Nitrogen Supply on Yield and Quality of Sugar Beet. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **153**, 327-332.

MÄRLÄNDER, B., 1991: Zuckerrüben. Optimierung von Anbauverfahren - Züchtungsfortschritt - Sortenwahl. Ute Bernhardt-Pätzold, Stadthagen.

MÄRLÄNDER, B. & A. RÖVER, 1994: Einfluß von Sorte und Bestandesdichte auf Ertrag und Qualität von Zuckerrüben – ein Beitrag zur Lichtkonkurrenz. Zuckerindustrie **119** (1), 39-47.

MÄRLÄNDER, B., C. HOFFMANN, H.-J. KOCH, E. LADEWIG, R. MERKES, J. PETERSEN & N. STOCKFISCH, 2003: Environmental Situation and Yield Performance of Sugar Beet Crop in Germany: Heading for Sustainable development. Journal of Agronomy & Crop Science **189**, 201-226.

MEIER, U., L. BACHMANN, E. BUHTZ, H. HACK, R. KLOSE, B. MÄRLÄNDER & E. WEBER, 1993: Phänologische Entwicklungsstadien der Beta-Rüben (*Beta vulgaris* L. spp.). Codierung und Beschreibung nach der erweiterten BBCH-Skala mit Abbildungen. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst **45**, 37-41.

MERKES, R., H. COENEN, F. HESSE & G. SCHÜTZ, 2003: Stand der Produktionstechnik zu Zuckerrüben – Ergebnisse der Umfrage 2002. Zuckerindustrie **128** (6), 425-433.

- PFLEIDERER, U.-E., 1997: Resistenz von Zuckerrübensorten gegen *C. beticola* nach Inokulation im Feld – Etablierung eines Tests im Sortenversuchswesen. Vortr. Pflanzenzücht. H. **37**, 65-75.
- PRINGAS, C., H. MILLER & H.-J. KOCH, 2001: Konservierende Bodenbearbeitung – Einfluss auf die Herbizidwirksamkeit? Deutsche Zuckerrübenzeitung **37** (4), 10.
- PRINGAS, C. & H.-J. KOCH, 2004: Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf Ertrag und Qualität von Winterweizen nach unterschiedlichen Vorfrüchten – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen. Pflanzenbauwissensch. **8** (1), 24-33.
- ROTHER, B., 1998: Die technische Qualität der Zuckerrübe unter dem Einfluß verschiedener Anbaufaktoren. Diss., Göttingen.
- SANDER, G., 2002: Blattkrankheiten in Norddeutschland. In: Syngenta [Hrsg.]: *Cercospora* – Fakten und Erfahrungen 2002.
- SHAPIRO, S.S. & M.B. WILK, 1965: An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* **52**, 591-611.
- SIEVERT, M., 2000: Aspekte des Pflanzenschutzes in Winterraps, Winterweizen und Wintergerste bei nichtwendender Bodenbearbeitung. Diss., Göttingen.
- STEINERT, K. & J. PAPESCH, 1995: Die Pille in der Rille. Richtige Saatguteinbettung – Voraussetzung für eine gute Ernte 1995-. Zuckerrübe **44** (1), 22-23.
- STEPHAN, C., M. THELEN & K.-H. KROMER, 1995: Mulchsaat von Zuckerrüben im 7jährigen Vergleich. Zuckerrübe **44** (1), 16-21.
- TEBRÜGGE, F., 1988: Bodenbearbeitungssysteme im mehrjährigen Vergleich. Landtechnik **43** (9), 364-366.
- TEBRÜGGE, F., 1994: Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen unter den Aspekten von Bodenschutz und Ökonomie. In: TEBRÜGGE, F. & M. DREIER [Hrsg.]: Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristigen Auswirkungen auf den Boden. Wiss. Fachverlag Dr. Fleck, Gießen, 5-16.
- TEBRÜGGE, F. & H. EICHHORN, 1992: Die ökologischen und ökonomischen Aspekte von Bodenbearbeitungssystemen. In: FRIEBE, B. [Hrsg.]: Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden; Beiträge zum 3. Symposium vom 12.-13. Mai 1992 in Gießen. Wissenschaftl. Fachverlag Dr. Fleck, 7-20.

VASELY, D., 1971: Das Auftreten von *Cercospora beticola* beim Anbau von Zuckerrüben in wiederholter Folge und im Fruchtwechsel mit Sommergerste. Zucker **24**, 10-14.

VOß, M. C., 1998: Einfluss einer reduzierten Bodenbearbeitung und Direktsaat auf das Auftreten von Ackerschnecken (Mollusca, Gastropoda), die Verunkrautung sowie den Befall mit der Wurzelhals- und Stengelfäule (*Phoma lingam*) in Winterraps. Diss., Göttingen.

WAGNER, M., 2001: Bodenschutz und Kosteneinsparung – Einführung technischer Lösungskonzepte zur Minderung und Vorbeugung von Bodenschutzproblemen in der Pflanzenproduktion. Diss., Gießen.

WEGENER, U., 2000, unveröffentlicht: Jahresbericht 1999/2000, Institut für Zuckerrübenforschung, 22-24.

WEGENER, U., 2001: Dauerhafte Bodenbearbeitungsverfahren in Zuckerrübenfruchtfolgen – Ertragsbildung, Rentabilität, Energiebilanz und Bodenerosion im Vergleich. Diss., Göttingen.

WELLMANN, A., 1999: Konkurrenzbeziehungen und Schadensprognose in Zuckerrüben bei variiertem zeitlichen Auftreten von *Chenopodium album* L. und *Chamomilla recutita* (L.) Rauschert. Diss., Göttingen.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. agr. Christodulos Pringas, Prof. Dr. Bernward Märländer, Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstraße 77, D-37079 Göttingen

Einfluss konservierender Bodenbearbeitung in Abhängigkeit von Jahr, Vorfrucht, Sorte und Fungizideinsatz auf den Ährenbefall mit *Fusarium* spp. und den Deoxynivalenolgehalt im Korn von Winterweizen

C. Pringas, H.-J. Koch & B. Märländer
Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen

Zusammenfassung

Fusariumbefall an Ähren (*Fusarium* spp.) von Winterweizen ist im starken Maße von der Witterung und pflanzenbaulichen Maßnahmen abhängig. Während die Hauptwirkungen befallsfördernder Faktoren (Witterung, Vorfrucht, Bodenbearbeitung, Sorte, Fungizideinsatz) häufig beschrieben wurden, existiert noch Informationsbedarf hinsichtlich der Wechselwirkungen zwischen diesen Faktoren. Vor diesem Hintergrund wurden auf Großflächen mehrerer Umwelten die Auswirkungen von vier Bodenbearbeitungsverfahren (konventionell mit Pflug, konservierend mit „Locker“ und ohne Lockerung, „Mulch“ und Direktsaat) in Abhängigkeit von Einflussfaktoren wie Jahr, Sorte und Vorfrucht auf den Ährenbefall mit *Fusarium* spp. und die Toxinbelastung mit Deoxynivalenol (DON) im Korn von Winterweizen untersucht. Parallel dazu wurde auf Kleinparzellen der Einfluss von konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung sowie von Sorte und Fungizidbehandlung auf das Auftreten von *Fusarium* spp. und die DON-Konzentration geprüft.

Auf den Großflächen zeigten der Fusariumährenbefall und die DON-Konzentration sowohl im Mittel über alle Ergebnisse als auch getrennt nach Einzelfaktoren (Jahr, Vorfrucht, Sorte) keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren Pflug, Locker und Mulch. Bei Direktsaat hingegen war die DON-Konzentration signifikant erhöht. In einigen Umwelten trat in keinem Bodenbearbeitungsverfahren ein Fusariumbefall auf, auch war das Korn nicht mit DON belastet.

Im Kleinparzellenversuch kam die Hauptwirkung auf den Ährenbefall und die DON-Konzentration im Korn primär der Sorte zu. Während das Jahr ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf den Ährenbefall ausübte, hatten Bodenbearbeitung und Fungizidapplikation eine schwächere Wirkung auf die untersuchten Parameter.

Konservierende Bodenbearbeitung kann zu ähnlich niedriger Mykotoxinbelastung wie mit Einsatz des Pfluges führen (Ergebnisse Großfläche). Aufgrund des hohen Mulchdeckungsgrades kann jedoch eine befallsfördernde Witterung oder eine hoch anfällige Sorte in pfluglos bearbeiteten Verfahren höhere Toxinmengen hervorrufen als nach wendender Bodenbearbeitung (Ergebnisse Kleinparzellen).

Schlüsselworte: Bodenbearbeitung, Vorfrucht, Sorte, Ährenbefall, *Fusarium* spp., Deoxynivalenol

Einleitung

In den letzten Jahrzehnten ist im Weizenanbau aufgrund veränderter ökonomischer und ökologischer Rahmenbedingungen eine Zunahme der pfluglos bestellten Anbaufläche zu verzeichnen. Gleichzeitig wird diese Entwicklung durch eine Erhöhung des Weizenanteils in der Fruchtfolge begleitet. Nach WEGENER (1996) sind diese veränderten Produktionsbedingungen maßgeblich dafür verantwortlich, dass sich bis dahin wenig beachtete Krankheiten wie *Drechslera tritici repentis* (Died.) Shoem. und *Fusarium* spp. zu wichtigen Pathogenen im Weizenanbau entwickelt haben. Während Erreger wie *Drechslera tritici repentis* durch den Verlust an assimilationsfähiger Blattfläche zu Minderertrag führen können, ist *Fusarium* spp. zusätzlich in der Lage, innere Qualitätseigenschaften von Getreide zu beeinträchtigen (PAWELZIK et al. 1998). Das größte Gefährdungspotential, welches einen Fusariumbefall beinhaltet, beruht jedoch auf der Fähigkeit einiger Fusariumarten, im Getreidekorn gesundheitsschädigende Mykotoxine zu bilden (LEPSCHY 1992).

Das nach Häufigkeit des Vorkommens und der gefundenen Menge bedeutendste Fusariummykotoxin ist das zur Gruppe der Trichothecene gehörende Deoxynivalenol (DON) (LEPSCHY 2000). Die Bildung im Getreidekorn erfolgt durch die Fusariumarten *F. graminearum* und *F. culmorum* (ABRAMSON et al. 1993), vermutlich um postinfekti- onelle Abwehrreaktionen des infizierten Wirtsgewebes zu hemmen (KANG & BUCHENAUER 1999). Weiteren Studien zufolge besteht dabei eine enge Beziehung zwischen der DON-Produktion und der Virulenz DON-bildender Erreger (EUDES et al. 2001). Auch besteht MENNITI et al. (2003) zufolge ein enger Zusammenhang zwischen der Symptomausprägung an der Ähre und der DON-Konzentration im Korn. Nach HERMANN et al. (1998) und ROSENBERGER et al. (2001) hingegen erlaubt eine

Ährenbonitur nur im beschränkten Maße Rückschlüsse auf die Kontamination des Korngutes mit Deoxynivalenol.

DON besitzt eine nur geringe Toxizität, auf die jedoch insbesondere monogastrische Lebewesen sensibel reagieren können. Bei Schweinen führen DON-kontaminierte Rationen über $4\text{-}5\text{ mg kg}^{-1}$ zu Futtermittelverweigerung (Anorexie), Erbrechen und Fertilitätsstörungen (ROTTER et al. 1996). Beim Menschen besteht der Verdacht, dass durch die Aufnahme von DON lebenswichtige Organfunktionen beeinträchtigt werden können (PESTKA et al. 1989).

Vor diesem Hintergrund ist der vor kurzem in Deutschland eingeführte DON-Grenzwert ($0,5\text{ mg kg}^{-1}$) für Brot- und Speisegetreide (ANONYMUS 2004) eine Maßnahme, auch zukünftig die Produktion hygienisch-toxikologisch unbelasteter Nahrungsmittel zu gewährleisten. Nicht eindeutig definiert ist dabei das Verfahren zur Überprüfung der Mykotoxinkonzentration im Korn. Da sich die zu erwartenden DON-Mengen im Spurenbereich bewegen, ist insbesondere die Durchführung der Probenahme ein kritischer Schritt der Untersuchung (OFFENBÄCHER 2001). Eine nicht repräsentative Probenahme wirkt sich über den gesamten Untersuchungsprozess aus und kann nachträglich auch durch zuverlässige Analyseverfahren nicht korrigiert werden. Hinsichtlich der DON-Analytik besteht ebenfalls Definitionsbedarf. Gängige Verfahren wie HPLC (Flüssigkeitschromatographie) und ELISA (Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay) liefern sichere Resultate (MATEO et al. 2002, SIEGFRIED 2002), erfordern jedoch gegenwärtig noch einen hohen Kosten- und Zeitaufwand. Aus pflanzenbaulicher Sicht stellt der Grenzwert für die Landwirtschaft eine Herausforderung dar, Strategien zu entwickeln, die Fusariumbefall und DON-Kontamination in der Produktion von Getreide verhindern oder zumindest auf einem niedrigen Niveau halten.

Dazu muss zunächst Kenntnis über die Wirkung und Rolle befallsfördernder Faktoren in der Epidemiologie des Erregers bestehen. Im Infektionsverlauf von *Fusarium* spp. kommt der Witterung eine entscheidende Bedeutung zu. Insbesondere in niederschlagsreichen Jahren ist ein verstärktes Auftreten des Pilzes zu beobachten. Der auf Pflanzenrückständen von Mais und Getreide überdauernde Erreger (WEINERT & WOLF 1995) ist auf Niederschläge angewiesen, um über Konidien an die Ähre zu gelangen (LACEY et al. 1999, JENKINSON & PARRY 1994a). Für *Gibberella zeae*, der

Hauptfruchtform von *Fusarium graminearum*, ist darüber hinaus eine Ähreninfektion über Ascosporen bekannt (PARRY et al. 1996). Innerhalb der Ähre unterbricht *Fusarium* spp. die Assimilatversorgung der Kornanlagen und verursacht eine partielle Taubähigkeit. Bei hoher Luftfeuchtigkeit bildet sich an den Spelzen das für *Fusarium* spp. charakteristische rosafarbene Pilzmyzel (MAULER-MACHNIK & ZAHN 1994).

Mykotoxinbelastetes Erntegut infolge eines Fusariumährenbefalls wird besonders nach Vorfrüchten wie Mais und Weizen beobachtet (KREYE et al. 2000, YI et al. 2001). Auch einige breitblättrige Unkrautarten (*Galium aparine*, *Viola arvensis* etc.) dienen *Fusarium* spp. als Wirtspflanzen (JENKINSON & PARRY 1994b). Kulturarten wie Zuckerrüben, Kartoffeln, Leguminosen und Raps zählen hingegen nicht zu Wirtspflanzen von *Fusarium* spp. und erhöhen als Vorfrucht nicht das Mykotoxinrisiko im nachfolgenden Winterweizen (BECK & LEPSCHY 2000).

In Verbindung mit dem verstärkten Auftreten des Pilzes in den letzten Jahren werden häufig pfluglose Anbausysteme genannt. Durch den Verbleib von Ernteresten auf der Bodenoberfläche infolge pflugloser Bodenbearbeitungssysteme wird dem Pilz eine günstige Überdauerungsmöglichkeit geboten und somit dessen Verbreitung unterstützt (ARNOLD-REIMER 1994). Wendende Bodenbearbeitung kann durch Unterpflügen von infizierten Ernteresten den Befallsdruck auf die nachfolgende Frucht vermindern, jedoch eine längerwährende Überdauerung des Pilzes nicht vollständig verhindern (YI et al. 2001). Einige Fusariumarten wie *F. culmorum* sind durch die Bildung von Dauerorganen (Chlamydosporen) zur mehrjährigen Überdauerung im Boden befähigt (COOK & BRUEHL 1968, WEGENER & WOLF 1995) und lassen sich auch durch Kulturmaßnahmen, die eine zügige Zersetzung der Ernterückstände zum Ziel haben, nicht vollständig vermeiden (YI et al. 2001).

Winterweizensorten werden im unterschiedlichen Ausmaß von *Fusarium* spp. befallen. Neben physiologischen Resistenzmerkmalen ist die unterschiedliche Anfälligkeit morphologisch bedingt (WEINERT & WOLF 1994) und wird von Sortenmerkmalen, die die Halmlänge (Distanz zwischen Inokulumposition und Ähre) und Blühdauer (Zeitspanne des Infektionszeitraums) betreffen, beeinflusst (HÄNI 1980, JENNY et al. 2000, MASTEL & HARMUTH 2000). Die Wahl der Weizensorte stellt somit eine wichtige Maßnahme zur Reduzierung von Ährenbefall und Mykotoxinbelastung dar, insbesondere wenn aus ökonomischen Zwängen Fruchtfolge und Bodenbearbeitung nicht umge-

stellt werden können. Vollständig resistente Sorten existieren bislang nicht. Mit Sorten aus China (Sumai) und Südamerika (Frontana) stehen jedoch Resistenzquellen zur Verfügung, die zur Anhebung des Resistenzniveaus genutzt werden können (ZIMMERMANN 2000, OERKE 2001, BAI et al. 2003).

Zur direkten Bekämpfung mykotoxinbildender Fusariumarten eignen sich Fungizide aus der Wirkstoffgruppe der Azole (OERKE et al. 2001, MESTERHÁZY et al. 2003). Die Wirkstoffe hemmen die Ausbreitung des Erregers innerhalb der Ähre (KANG et al. 2001) und schränken dadurch die Mykotoxinproduktion ein (OLDENBURG et al. 1999). Voraussetzung für zufriedenstellende Resultate ist jedoch ein Applikationstermin während der Weizenblüte, nah am Infektionszeitpunkt (MATTHIES et al. 2000).

Die vorstehende Literaturübersicht zeigt, dass Fusariumährenbefall und die Mykotoxinbelastung im Korn von abiotischen Faktoren wie der Witterung und pflanzenbaulichen Maßnahmen im erheblichen Maße beeinflusst werden können. Zu auftretenden Interaktionen zwischen befallsfördernden Faktoren enthält die Literatur hingegen kaum Erkenntnisse. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es daher, auf mehreren Standorten (Groß- und Kleinparzellen) sowohl einzelne befallsfördernde Faktoren wie Witterung, Bodenbearbeitung, Vorfrucht, Sorte und Fungizidbehandlung sowie mögliche Interaktionen dieser Faktoren im Hinblick auf die DON-Konzentration im Korn von Winterweizen zu quantifizieren. Für den risikobehafteten Anbau von Winterweizen nach Weizenvorfrucht wurden unter Berücksichtigung der ermittelten DON-Konzentration mögliche Strategien zur Vermeidung von Fusariumährenbefall untersucht. Darüber hinaus sollte die Beziehung zwischen Fusariumährenbefall und DON-Konzentration auf ihre Eignung für eine frühzeitige Abschätzung hoher Mykotoxinbelastung im Korn beschrieben werden.

Material und Methoden

Großflächenversuch

Die Untersuchungen wurden in den Jahren 2001 und 2002 an 8 Standorten in ackerbaulichen Regionen Süd- und Ostdeutschlands durchgeführt. Standortcharakteristika und Versuchsdurchführung sind bereits an anderer Stelle (WEGENER 2001, PRINGAS & KOCH 2004) ausführlich dokumentiert und werden deshalb hier nur insoweit vorge-

stellt als zum Verständnis der Fusariumuntersuchung in Winterweizen der Jahre 2001 und 2002 erforderlich.

Die Versuche wurden an jedem Standort auf einem Schlag mit homogenen Bodenverhältnissen durchgeführt. Der Schlag (10-40 ha) war in vier etwa gleich große Teilflächen unterteilt, auf denen vier Bodenbearbeitungsverfahren langjährig ortsfest geprüft wurden. Beginn der differenzierten Bodenbearbeitung war 1994. Im Verfahren Pflug erfolgte zu jeder Hauptfrucht eine krumentiefe (etwa 30 cm) wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug (Tab. 1). Das Verfahren Locker war charakterisiert durch eine nicht wendende Lockerung des Bodens auf einer Tiefe von 20 bis 30 cm. Eine deutlich flachere Bodenbearbeitung von etwa 10 bis 15 cm wurde im Verfahren Mulch angewandt. Im Verfahren Direktsaat erfolgte kein mechanischer Eingriff zur Bodenbearbeitung vor der Getreideaussaat. Die Bodenbearbeitung wurde zu allen Früchten mit praxisüblicher Maschinenteknik vorgenommen. In einer dreifeldrigen Fruchtfolge wurde nach Zuckerrüben stets Winterweizen angebaut, dem eine weitere Körnerfrucht folgte, in der Regel Winterweizen. Getreidestroh und Rübenblatt verblieben im Feld (PRINGAS & KOCH 2004).

Zum Anbau von Stoppelweizen an den Standorten Lüttewitz, Salzmünde, Grombach, Einsiedel und Friemar wurden je zwei Winterweizensorten (Petrus und Bandit) mit unterschiedlicher Anfälligkeit gegenüber dem Erreger der Ährenkrankheit *Fusarium* spp. angebaut (ANONYMUS 2001).

Neben der Wirkung der Bodenbearbeitung konnte so auch der Sorteneinfluss auf das Krankheitsauftreten erfasst werden. Insgesamt wurden die Erhebungen in 16 Umwelten durchgeführt. Zusätzlich zum bereits genannten Anbau von jeweils 2 Sorten nach Vorfrucht Winterweizen an 5 Standorten wurde an 6 Standorten jeweils nur eine Sorte angebaut.

Tab. 1: Arbeitsgänge in den Bodenbearbeitungsverfahren

	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung	+	+	+	-
Grundbodenbearbeitung	+ ¹	+ ²	-	-
Saatbettbereitung	+	+	+	-

+ = Maßnahme wurde durchgeführt; - = Maßnahme wurde nicht durchgeführt

¹ = Pflugeinsatz; ² = Einsatz von Flügel- oder Meißelschar

Dabei stand Weizen einmal nach Vorfrucht Winterweizen und fünfmal nach Vorfrucht Zuckerrübe. Im Jahr 2001 wurde der Winterweizen standort- und vorfruchtspezifisch unterschiedlich, in den verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren eines Standortes und Anbaujahres jedoch mit gleicher Saatstärke ausgesät. Demgegenüber wurde im Jahr 2002 beim Anbau von Winterweizen nach Vorfrucht Winterweizen die Aussaatstärke im Verfahren Direktsaat gegenüber den übrigen Varianten um 10 bis 20 % erhöht. Ein geringerer Feldaufgang bei Direktsaat in den Vorjahren, vor allem hervorgerufen durch eine nicht ausgereifte Sätechnik, veranlassten diesen Schritt.

Die Düngung wurde je nach Standort und Vorfrucht differenziert, zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren jedoch einheitlich nach vorhergehender Bodenuntersuchung (EUF-Methode) durchgeführt und basierte auf Düngeempfehlungen des BGD Bodengesundheitsdienstes GmbH (ANONYMUS 2002). Maßnahmen des Pflanzenschutzes orientierten sich an der Befallssituation und waren zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren einheitlich. Differenzierte Behandlungen erfolgten nur, wenn sich das Vorkommen von Unkräutern, Krankheiten und Schädlingen auf bestimmte Bodenbearbeitungsverfahren beschränkte.

Die Anzahl fusariumbefallener Ähren wurde in allen Umwelten zu BBCH 71-75 mit einem 0,1 m² großen Schätzrahmen erhoben, mit dem an 50 über die Versuchsfläche diagonal angeordneten Zählstellen die mit *Fusarium* spp. befallenen Ähren innerhalb des Rahmens gezählt wurden. Als befallen galten ausgebleichte (Weißährigkeit) oder mit rosa Pilzmyzel überzogene Ähren (BUSHNELL et al. 2003).

Zur Ertragsermittlung wurden zunächst die Vorgewende sowie jeweils eine Arbeitsbreite (6 m) an den Rändern der Bodenbearbeitungsparzellen mit einem Mähdre-

scher geerntet und das Korn verworfen. Nach Vermessung der nun verbliebenen Erntefläche erfolgte der Mähdrusch mit anschließender Wiegung des Ernteguts. Für die weiteren Untersuchungen wurden vom Transportanhänger repräsentative Proben (ca. 5 kg Korn) mit einem Messbecher gezogen. Das Fassungsvermögen des Messbechers betrug 250 ml und erforderte somit eine Vielzahl von Befüllungen, die an unterschiedlichen Stellen des Anhängers vorgenommen wurden. An diesen Proben wurden Wassergehalt und Qualitätsparameter im Korn (Proteingehalt, Fallzahl, Sedimentationswert, Tausendkornmasse, Hektolitergewicht, Vollkornanteil) sowie dessen Mykotoxingehalt bestimmt. Alle Ertragsangaben beziehen sich auf einen Trockenmassegehalt von 85 %.

Der Gehalt bzw. die Konzentration an Deoxynivalenol (DON) als Leitmykotoxin von *F. graminearum* und *F. culmorum* wurde mittels HPLC (High Performance Liquid Chromatography) gemessen. Bei diesem Verfahren wird nach Extraktion mit Formaldehyd und Trennung des Toxins von störenden Begleitsubstanzen der DON-Gehalt bei einer Wellenlänge von 220 nm photometrisch bestimmt (LEPSCHY 2000). Die Nachweisgrenze des Verfahrens liegt bei 0,05 mg DON pro kg Korn.

Zusatzversuch in Kleinparzellen

Der vorgestellte Großflächenversuch erlaubt aufgrund seiner ursprünglichen Versuchsfrage und der daraus resultierenden Versuchsanlage bis auf wenige Ausnahmen keinen orthogonalen Vergleich der Wirkung mehrerer Versuchsfaktoren (PRINGAS & KOCH 2004). Um dennoch Einflüsse pflanzenbaulicher Maßnahmen in einem mehrfaktoriellen Ansatz systematisch prüfen zu können, wurden parallel zur Untersuchung auf Großflächen in den Jahren 2001 und 2002 begleitende Kleinparzellenversuche durchgeführt.

Der lössbürtige Boden des Versuchsstandortes bei Göttingen ist leicht bearbeitbar und als Parabraunerde mit einer Ackerzahl von 78 eingestuft. Der Anbau von Winterweizen im ersten Versuchsjahr 2001 erfolgte nach Vorfrucht Winterweizen und Vor-Vorfrucht Zuckerrübe. Im Jahr 2002 wurde der Versuch auf derselben Fläche erneut angelegt und zum dritten Mal in Folge Winterweizen angebaut. Das Weizenstroh verblieb im Feld.

Die Versuchsanlage war eine dreifaktorielle Streifenspaltanlage vom Typ A+(B/C)-Bl in vierfacher Wiederholung (ANONYMUS 1987). Die Parzellengröße betrug jeweils 70 m². Zentral in die Parzellen integriert waren zwei Flächen mit einer Gesamtgröße von 11 m², in denen zu BBCH 71-75 der Fusariumährenbefall bonitiert wurde und die Ertragsermittlung erfolgte.

Jeder Versuchsfaktor beinhaltete jeweils zwei Abstufungen (Tab. 2). Der Faktor A umfasste die Fusariumbekämpfung mit einem Fungizid (mit/ohne), Faktor B die Bodenbearbeitung (Pflug/Mulch) und Faktor C die Sorte (Sorte mit hoher und Sorte mit geringer Anfälligkeit gegenüber *Fusarium* spp.).

Der Fungizideinsatz zur Fusariumbekämpfung erfolgte praxisüblich mit einer Schlepper-Anbauspritze mit dem Präparat Folicur™ (250 g/l Tebuconazole) der Fa. Bayer CropScience in einer Aufwandmenge von 1 l ha⁻¹. Das Präparat verfügt sowohl über eine protektive als auch eine kurative Wirkung und eignet sich besonders zur Bekämpfung von Ährenfusariosen und zur Reduktion von Fusariummykotoxinen in Weizen (FA. BAYER CROPSOURCE 2000). Um eine hohe Wirksamkeit des Fungizids zu gewährleisten, wurde die Applikation während der Weizenblüte in BBCH 61-65 durchgeführt.

Tab. 2: Versuchsfaktoren und deren Abstufung im Kleinparzellenversuch (Göttingen, 2001 und 2002, Kleinparzellen)

Faktor	Abstufung
A Fungizidbehandlung gegen <i>Fusarium</i> spp.	mit ohne
B Bodenbearbeitung	Pflug (wendend) Mulch (konservierend)
C Sorte: Anfälligkeit gegenüber <i>Fusarium</i> spp.	gering hoch

Im Bodenbearbeitungsverfahren Pflug erfolgte nach zweimaliger Stoppelbearbeitung (Grubber) der beernteten Vorfrucht Winterweizen eine etwa 30 cm tiefe Bodenbearbeitung mit dem Wendepflug. Im Verfahren Mulch wurde eine konservierende Bodenbearbeitung in Form einer zweimaligen Stoppelbearbeitung mit dem Grubber mit einer maximalen Arbeitstiefe von 10 cm durchgeführt.

Die Aussaat des Winterweizens erfolgte einheitlich mit einer Zinkenrotor-Drillmaschinenkombination. Beide Sorten wurden mit einer Saatstärke von 350 Körnern m^{-2} ausgesät. Die Sorte Petrus, Weizen der Qualitätsgruppe A mit hohem Rohproteingehalt bei mittlerem Kornertrag und mittlerer Tausendkornmasse, zeichnet sich durch eine geringe Anfälligkeit gegenüber Pilzkrankheiten aus. Besonders hervorzuheben ist die geringe Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen (Boniturnote 2, ANONYMUS 2001). Die Sorte Bandit ist vergleichsweise ertragsstark mit geringerer Qualität (Rohprotein und Fallzahl). Hervorzuhebendes Merkmal der Sorte ist ihre hohe Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen (Boniturnote 7, ANONYMUS 2000).

Pflanzenschutz und Düngung erfolgten praxisüblich und wurden mit Ausnahme der variierten Fungizidapplikation zur Fusariumbekämpfung auf der gesamten Versuchsfäche einheitlich vorgenommen. Strobilurinhaltinge Fungizide wurden aufgrund ihrer möglicherweise vorhandenen Wirkung auf *Fusarium* spp. nicht appliziert (MASTEL & HARMUTH 2000, MESTERHÁZY et al. 2003). Zur Unterstützung der Konidienverbreitung auf die Weizenähren wurde der Bestand im Jahr 2001 im Stadium BBCH 61-69 mit einem Düsenwagen der Fa. Bauer in 3 Gaben von 10, 20 und 20 mm mit jeweils 3 Tagen Abstand beregnet. 2002 war aufgrund feuchter Witterungsbedingungen während der Blüteperiode keine Beregnung notwendig.

Die Bonitur des Fusariumährenbefalls erfolgte analog zu den Großflächen im Stadium BBCH 71-75. Mit einem $0,1 m^{-2}$ großen Schätzrahmen wurden die befallenen Ähren innerhalb des Rahmens gezählt. Wie zuvor galten ausgebleichte (Weißährigkeit) oder mit rosa Pilzmyzel überzogene Ähren als befallen (BUSHNELL et al. 2003). Die Anzahl der internen Wiederholungen wurde aufgrund der kleineren Fläche der Ernteparzelle auf 10 Wiederholungen verringert.

Zur Beerntung des Winterweizens wurde ein Kleinparzellenmähdrescher der Fa. HEGE eingesetzt. Nach Wiegung des Ernteguts zur Ertragsbestimmung erfolgte die Abnahme einer repräsentativen Probe zur Bestimmung des Deoxynivalenolgehaltes mit der zuvor beschriebenen HPLC-Methode. Alle Ertragsangaben beziehen sich auf einen Trockenmassegehalt von 85 %.

Statistische Auswertung

Versuche unter Produktionsbedingungen erfordern eine Versuchsdurchführung auf Großflächen. Die räumliche Größe solcher Großflächenparzellen erlaubt es jedoch nicht, Wiederholungen anzulegen, die für eine statistische Auswertung notwendig sind. Somit können im beschriebenen Großflächenversuch Effekte der Bodenbearbeitung an einzelnen Standorten nicht statistisch ausgewertet werden. Um dennoch durch die Bodenbearbeitung hervorgerufene Unterschiede statistisch zu bewerten, wurden die Einzelversuche (Jahr, Standort, Sorte) als Wiederholungen betrachtet und einer Varianzanalyse mit nachfolgendem F-Test unterzogen. Bei signifikantem F-Wert erfolgte ein Mittelwertvergleich nach Tukey mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,05$.

Wenn keine Normalverteilung vorlag, wurden die Daten vor einer Varianzanalyse einer logarithmischen Transformation unterzogen. Bei nicht vorhandenem Ährenbefall mit *Fusarium* spp. traten bei diesem Parameter häufig Messwerte von null auf. Um diese dennoch logarithmieren zu können, wurde dem gesamten Datensatz der Wert von 0,1 hinzuaddiert (GRAF & ORTSEIFEN 1995). Die Varianzanalyse erfolgte anschließend mit den logarithmierten Werten. Zur Darstellung in den Abbildungen wurden die Daten rücktransformiert.

Umwelten, in denen die DON-Konzentration im Korn in keinem Bodenbearbeitungsverfahren die Nachweisgrenze überschritt, wurden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Dieser Schritt erfolgte, um die Wirkung der Bodenbearbeitung jeweils in Abhängigkeit von der Vorfrucht, der angebauten Sorte und dem Anbaujahr auf den Fusariumährenbefall und die DON-Konzentration im Korn herausstellen zu können. Umwelt beschreibt somit in der weiteren Auswertung und Darstellung der Ergebnisse die Wirkung der Kombination aus Standort, Vorfrucht und Sorte.

Eine Varianzanalyse wurde nur für Umwelten mit Fusariumbefall und nachfolgend getrennt für die Jahre 2001 und 2002 vorgenommen. Demgegenüber konnte die Wirkung der Bodenbearbeitung in Abhängigkeit von der Sorte aufgrund der orthogonalen Datenstruktur als 2-faktorielle Varianzanalyse ausgewertet werden. DON-Gehalte im Korn auf oder unterhalb der Nachweisgrenze ($0,05 \text{ mg kg}^{-1}$) gingen mit dem Wert der Nachweisgrenze in die Verrechnung ein.

Die Daten des Zusatzversuches wurden zunächst auf Normalverteilung geprüft. Lag, wie bei den Parametern Ährenbefall und DON-Konzentration, keine Normalverteilung vor, erfolgte eine Logarithmierung des Datensatzes. Bei Nullwerten wurde ebenfalls dem gesamten Datensatz der Wert von 0,1 hinzuaddiert. Anschließend wurden die Daten mittels einer SAS Mixed Prozedur für Streifenspaltanlagen varianzanalytisch ausgewertet. Da in beiden Versuchsjahren die Prüfglieder auf denselben Parzellen untersucht wurden, kam eine Prozedur mit Messwiederholung zur Anwendung. Dabei wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,05$ angenommen. Mittelwerte wurden nach Tukey ebenfalls mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,05$ verglichen. Die statistische Analyse erfolgte für beide Versuche mit dem Programmpaket SAS, Version 8.1, SAS Inc.

Ergebnisse

Großflächenversuch

Weizenkorn aus Umwelten mit Vorfrucht Zuckerrübe wies in allen Bodenbearbeitungsverfahren einen DON-Gehalt an der Nachweisgrenze oder geringfügig darüber auf (Abb. 1). Nach Vorfrucht Winterweizen war demgegenüber in allen Bodenbearbeitungsverfahren eine deutlich höhere DON-Konzentration zu beobachten. Während nach Vorfrucht Winterweizen in den Verfahren Pflug, Locker und Mulch im Mittel der Umwelten ein ähnlicher Wert auftrat, wurde nach Direktsaat eine etwa doppelt so hohe DON-Konzentration gemessen und die Standardabweichung betrug etwa das Zweifache des Mittelwertes.

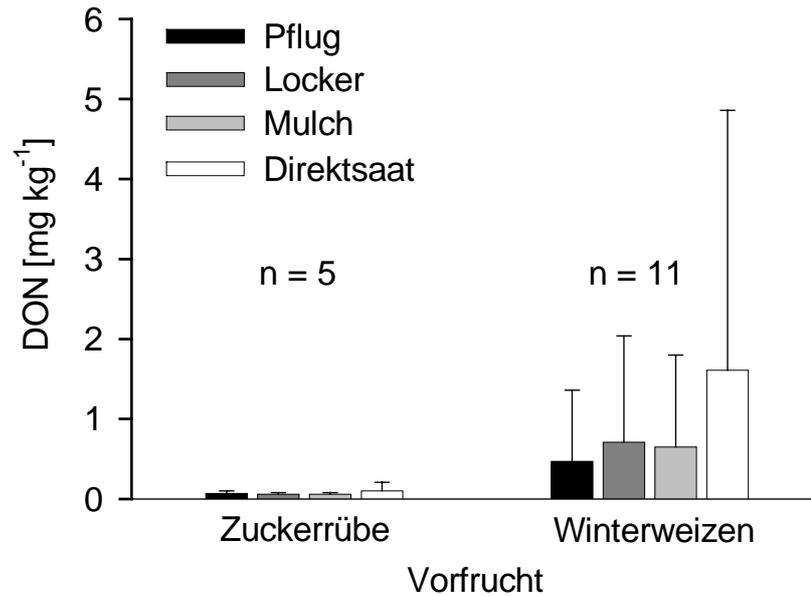


Abb. 1: Einfluss der Vorfrucht auf den Deoxynivalenol(DON)-Gehalt im Korn von Winterweizen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, 2001-2002
Balken über den Säulen geben die Standardabweichung an

Bei Einzelbetrachtung aller Umwelten differenziert nach Jahr, Standort, Vorfrucht und Fusariumanfälligkeit der Weizensorte (Tab. 3) führte in der Regel Ährenbefall (>1 Ähre m^{-2}) in mindestens einem Bodenbearbeitungsverfahren auch zu einer DON-Konzentration im Korn, die über der Nachweisgrenze lag. In wenigen Umwelten zog ein geringer Fusariumbefall (Weißährigkeit) jedoch keine DON-Konzentration oberhalb der Nachweisgrenze nach sich (z. B. 2001, Grombach). Andererseits lag bei symptomfreien Ähren die DON-Konzentration nicht zwangsläufig unterhalb der Nachweisgrenze. So wiesen 2002 zwei Umwelten (Grombach und Einsiedel, gering anfällige Sorte) einen messbaren DON-Gehalt trotz fehlenden Ährenbefalls auf.

Dieser Zusammenhang zwischen Fusariumährenbefall und DON-Gehalt im Korn ist in Abb. 2 detailliert dargestellt. Die logarithmische Darstellung aller Proben (Umwelt x Bodenbearbeitungsverfahren) verdeutlicht, dass ein Anstieg der mit *Fusarium* spp. befallenen Ähren ebenfalls zu einem Anstieg der Mykotoxinkonzentration im Korn führte. Diese Beziehung war allerdings eindeutig erst bei einem Fusariumbefall > 10 Ähren m^{-2} zu finden.

Tab. 3: Fusariumbefall von Winterweizen und Deoxynivalenol(DON)-Gehalt im Korn in Abhängigkeit von Jahr, Standort, Vorfrucht und Fusariumanfälligkeit der Sorte

Jahr	Standort	Vorfrucht	Fusariumanfälligkeit der Weizensorte	Fusarium-Ährenbefall	DON-Konzentration im Korn
2001	Grombach	ZR	gering	+	-
2001	Einsiedel	ZR	gering	+	+
2001	Friemar	ZR	mittel	+	+
2001	Gieshügel	WW	gering	-	-
2001	Lüttewitz	WW	hoch	+	+
2001	Lüttewitz	WW	gering	+	+
2001	Salzmünde	WW	hoch	+	-
2001	Salzmünde	WW	gering	-	-
2002	Sailtheim	ZR	gering	-	-
2002	Insultheim	ZR	gering	+	+
2002	Grombach	WW	hoch	+	+
2002	Grombach	WW	gering	-	+
2002	Einsiedel	WW	hoch	+	+
2002	Einsiedel	WW	gering	-	+
2002	Friemar	WW	hoch	+	+
2002	Friemar	WW	gering	+	+

Ährenbefall: - < 1 bef. Ähre m⁻² in allen Bodenbearbeitungsverfahren; + > 1 bef. Ähre m⁻² in mindestens einem Bodenbearbeitungsverfahren; DON-Gehalt ≤ 0,05 ppm in allen Bodenbearbeitungsverfahren; + > 0,05 ppm in mindestens einem Bodenbearbeitungsverfahren

Wie an 5 Umwelten (gefüllte Symbole) beobachtet, wurde bei schwachem Ährenbefall (< 1 befallene Ähre m⁻²) die DON-Nachweisgrenze in keinem Bodenbearbeitungsverfahren überschritten (Abb. 2; Tab. 3, Befall -/ DON -). Andererseits wiesen einige Proben trotz makroskopisch nicht feststellbarem Ährenbefall eine über der Nachweisgrenze liegende DON-Konzentration auf (Tab. 3, Befall -/ DON +).

In den nachfolgenden Darstellungen zur Wirkung der Bodenbearbeitung in Abhängigkeit von Anbaujahr und Sorte (Abb. 4 und 5) wurden ausschließlich die Daten der Umwelten mit DON-Gehalten oberhalb der Nachweisgrenze von 0,05 mg kg⁻¹ in mindestens einem Bodenbearbeitungsverfahren (Tab. 3, DON +) verwendet. So kann die Wirkung der Bodenbearbeitung unter Bedingungen mit erhöhtem Befallsdruck klarer herausgearbeitet werden.

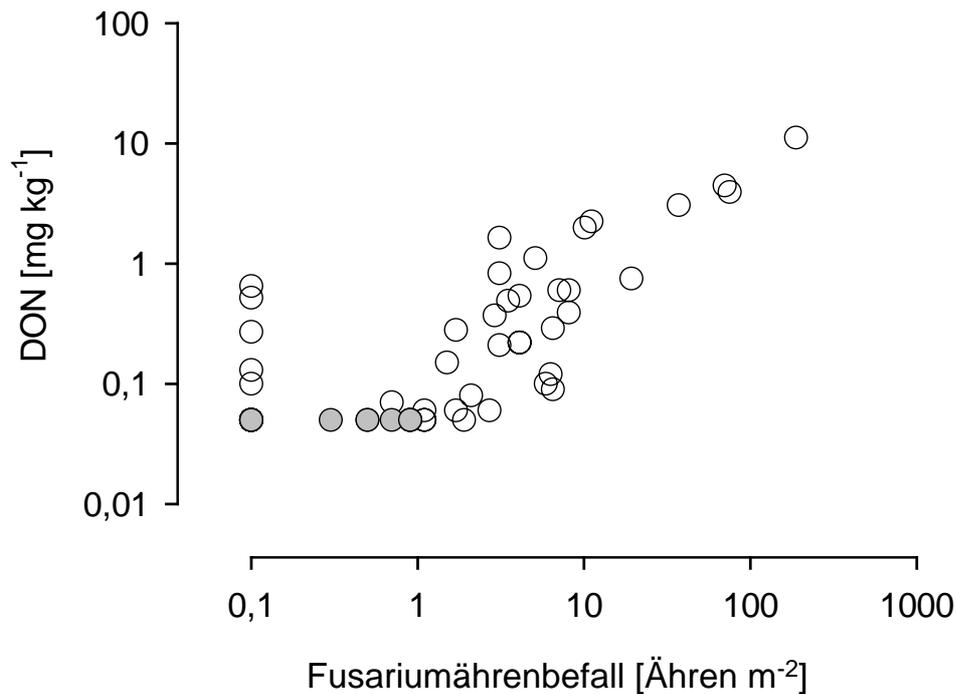


Abb. 2: Beziehung zwischen Fusariumährenbefall und DON-Gehalt im Korn von Winterweizen, 2001 und 2002, n = 64
für gefüllte Symbole ist n = 4, hier war die DON-Konzentration im Korn in allen Bodenbearbeitungsverfahren der jeweiligen Umwelt < 0,05 mg kg⁻¹; ein Fusariumährenbefall von 0 Ähren m⁻² wurde für die logarithmische Darstellung = 0,1 gesetzt

An den 11 Umwelten mit messbaren DON-Werten (DON +) führte die Bodenbearbeitung ausgehend vom Verfahren Pflug über die Systeme Mulch und Locker zu einem geringfügigen Anstieg der Mykotoxinkonzentration (Abb. 3). Ein signifikanter Anstieg der DON-Konzentration im Korn wurde im Verfahren Direktsaat beobachtet. Im Vergleich zu den übrigen Verfahren wurde hier eine 2- bis 3-fach höhere DON-Konzentration gemessen.

Differenziert nach den beiden Untersuchungsjahren lag die DON-Konzentration im Korn von Winterweizen im Jahr 2001 auf einem niedrigen Niveau und variierte zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren ohne signifikante Unterschiede (Abb. 4). Tendenziell wies das Korn nach Direktsaat einen höheren DON-Gehalt auf. Demgegenüber lag die Mykotoxinbelastung mit DON im Jahr 2002 in allen Bodenbearbeitungsverfahren auf einem deutlich höheren Niveau. Während zwischen den Verfahren Pflug, Locker und Mulch nur geringe Unterschiede bestanden, wurde im Verfahren Direktsaat eine signifikant höhere DON-Konzentration gemessen.

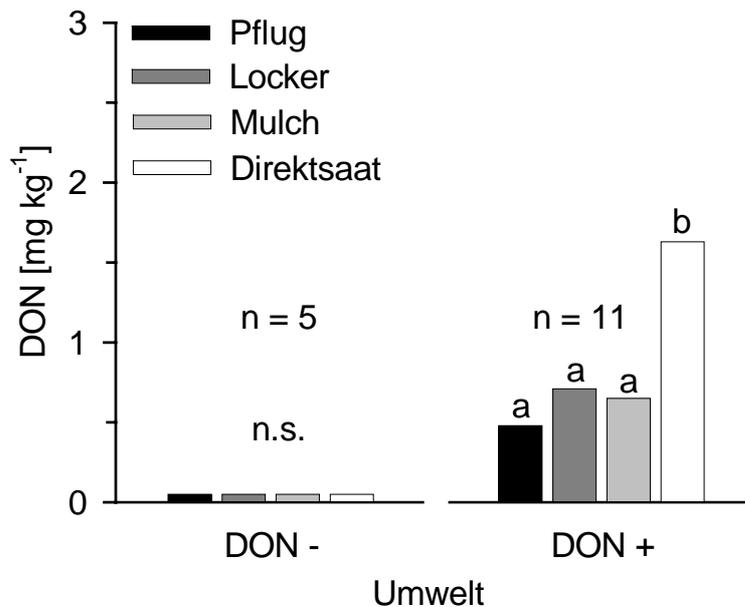


Abb. 3: Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Deoxynivalenol(DON)-Gehalt im Korn von Winterweizen differenziert nach Umwelten mit und ohne DON im Korn, 2001-2002

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Signifikanz, n.s. = nicht signifikant, $p \leq 0,05$; Tukey-Test

Im Mittel der 4 Versuchsflächen, auf denen jeweils zwei Winterweizensorten mit unterschiedlicher Fusariumanfälligkeit angebaut wurden, beeinflusste allein der Faktor Sorte den DON-Gehalt signifikant (Abb. 5 links). So lag der DON-Gehalt der hoch anfälligen Sorte im Mittel der Bodenbearbeitungsverfahren deutlich über der der gering anfälligen. Zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren traten hingegen keine signifikanten Unterschiede auf, jedoch führte Direktsaat tendenziell zu einer erhöhten DON-Konzentration im Korn. Dieser Effekt war bei Anbau einer hoch anfälligen Sorte besonders ausgeprägt, auch wenn diese Interaktion nicht signifikant war.

Auch der Kornertrag wurde hoch signifikant vom Faktor Sorte beeinflusst (Abb. 5 rechts). Im Mittel der Bodenbearbeitungsverfahren (nicht dargestellt) lag das Ertragsniveau der hoch anfälligen Sorte über dem der gering anfälligen. Ebenfalls signifikant war die Wechselwirkung von Bodenbearbeitung und Sorte. In beiden Sorten wiesen die Bodenbearbeitungsverfahren Pflug, Locker und Mulch nahezu identische Kornerträge auf. Demgegenüber führte Direktsaat bei der gering anfälligen Sorte nur zu einem tendenziellen, bei der hoch anfälligen Sorte hingegen zu einem signifikanten Ertragsrückgang. Dabei lag der Ertrag bei Direktsaat und Anbau einer anfälligen Sorte etwa auf dem Niveau des Ertrages der Sorte mit geringer Anfälligkeit.

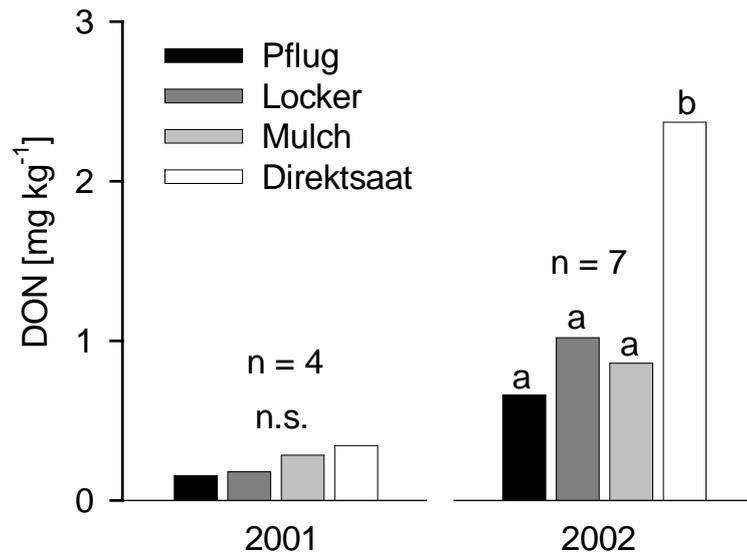


Abb. 4: Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Deoxynivalenol(DON)-Gehalt im Korn von Winterweizen in Abhängigkeit vom Jahr, 2001 und 2002
 Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Signifikanz, n.s. = nicht signifikant, $p \leq 0,05$; Tukey-Test

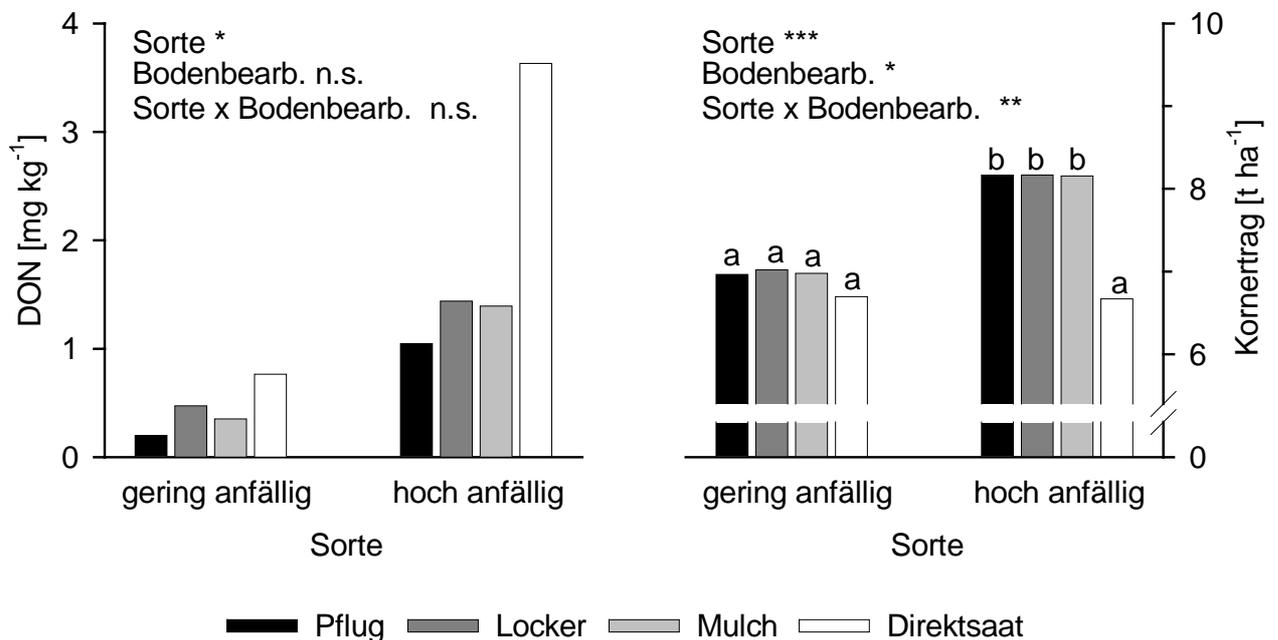


Abb. 5: Einfluss der Bodenbearbeitung in Abhängigkeit der Sorte auf den Deoxynivalenol(DON)-Gehalt im Korn und den Kornertrag von Winterweizen nach Vorfrucht Winterweizen, 2001-2002

n = 4; Fusarium-Boniturnote, Sorte: gering anfällig = 7, hoch anfällig = 2; steigende Noten zeigen den Grad der Anfälligkeit an; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen Signifikanz innerhalb Sorte, $p \leq 0,05$; n.s. = nicht signifikant; Tukey-Test

Kleinparzellenversuch

Die varianzanalytische Auswertung des Kleinparzellenversuchs zeigte, dass der Faktor Umwelt den Fusariumährenbefall höchst signifikant und die DON-Konzentration im Korn sowie den Kornertrag hoch signifikant beeinflusste (Tab. 4). Bei der DON-Konzentration wurde die Wirkung der Umwelt von der des Faktors Sorte deutlich übertroffen und war höchst signifikant. Auch auf den Fusariumährenbefall hatte die Sorte einen höchst signifikanten, auf den Kornertrag hingegen nur einen signifikanten Einfluss. Die Wirkung von Fungizidbehandlung und Bodenbearbeitung war auf den Fusariumährenbefall signifikant und auf die DON-Konzentration hoch signifikant. Während die Fungizidbehandlung den Kornertrag signifikant beeinflusste, blieb dieser Parameter vom Faktor Bodenbearbeitung unbeeinflusst. Signifikante Interaktionen zwischen den drei Faktoren Bodenbearbeitung x Sorte x Fungizidbehandlung sowie der Umwelt mit den übrigen Faktoren (nicht dargestellt) waren nicht vorhanden. Signifikante Wechselwirkungen traten ausschließlich für die Parameter Fusariumährenbefall und DON-Konzentration zwischen den Faktoren Bodenbearbeitung und Sorte sowie Sorte und Fungizidbehandlung auf.

Tab. 4: Irrtumswahrscheinlichkeit der F-Werte für Effekte auf den Ährenbefall, den Deoxynivalenol(DON)-Gehalt und den Kornertrag von Winterweizen, Göttingen, 2001 und 2002

Ursache	Fusarium- Ährenbefall	Parameter DON- Gehalt im Korn	Kornertrag
Umwelt	< 0,0001	0,0032	0,0019
Fungizidbehandlung (F)	0,0121	0,0074	0,0365
Bodenbearbeitung (B)	0,0352	0,0015	0,9152
Sorte (S)	< 0,0001	< 0,0001	0,0169
B x S	0,0438	0,0209	0,1944
B x F	0,2148	0,3350	0,7427
S x F	0,0053	0,0302	0,8752
B x S x F	0,2883	0,5975	0,7374

In Tabelle 5 werden diese Wechselwirkungen am Beispiel des DON-Gehaltes näher vorgestellt. Die Sorte mit geringer Anfälligkeit zeigte im Verfahren Pflug in beiden Fungizidvarianten mit $0,08 \text{ mg kg}^{-1}$ den niedrigsten DON-Gehalt des Versuchs. Eine Verdoppelung des Gehaltes trat ein, wenn diese Sorte im Verfahren Mulch angebaut wurde und ein Fungizid appliziert wurde. Wurde auf das Fungizid verzichtet, stieg der Toxingehalt nochmals auf etwa das Zweifache.

Der Wechsel von der gering zur hoch anfälligen Sorte führte im Verfahren Pflug mit Fungizidbehandlung zu einer Verdoppelung des DON-Gehaltes. Unterblieb die Fungizidbehandlung, trat ein 6-fach höherer Wert auf. Der höchste DON-Gehalt wurde gemessen, wenn die Sorte mit hoher Anfälligkeit im System Mulch angebaut wurde. Im Vergleich zur gering anfälligen Sorte im Verfahren Pflug wurde mit Fungizidbehandlung der 10-fache und ohne Fungizid der 32-fache DON-Gehalt gemessen.

Die Wechselwirkung Sorte x Fungizidbehandlung bestand darin, dass der DON-Gehalt bei der gering anfälligen Sorte zwischen beiden Fungizidstufen keine signifikanten Unterschiede aufwies (Tab. 5, oben). Hingegen wurde bei der hoch anfälligen Sorte ohne Fungizid ein signifikant höherer DON-Gehalt als mit Fungizideinsatz festgestellt.

Die gering anfällige Sorte führte zwischen den Bodenbearbeitungssystemen zu keinem signifikant unterschiedlichen DON-Gehalt. Die hoch anfällige Sorte wies hingegen bei konservierender Bodenbearbeitung einen signifikant höheren DON-Gehalt als in der Variante mit Einsatz des Pfluges auf.

Obwohl beim Kornertrag keine signifikanten Wechselwirkungen auftraten, ist Tab. 5 (unten) eine tendenzielle Interaktion zwischen Sorte und Bodenbearbeitung zu entnehmen. Beim Anbau der gering anfälligen Sorte wurde im Verfahren Mulch ein höherer Kornertrag ermittelt als mit Einsatz des Pfluges. Hingegen trat bei der hoch anfälligen Sorte im Verfahren Mulch ein tendenziell geringerer Kornertrag auf als im Verfahren Pflug, was vor allem von der Variante ohne Fungizidbehandlung verursacht wurde.

Tab. 5: Einfluss der Interaktion Sorte x Bodenbearbeitung und Sorte x Fungizidbehandlung auf Deoxynivalenol(DON)-Gehalt und Kornertrag von Winterweizen, Göttingen 2001 und 2002

DON-Gehalt [mg kg^{-1}]

Sorte	Fungizidbehandlung	Bodenbearbeitung		Mittel
		Pflug	Mulch	
gering anfällig	mit	0,08	0,17	0,12 a
	ohne	0,08	0,31	0,19 a
	Mittel	0,08 A	0,24 A	
hoch anfällig	mit	0,19	0,77	0,48 b
	ohne	0,49	2,52	1,51 c
	Mittel	0,34 A	1,64 B	

Kornertrag [t ha^{-1}]

Sorte	Fungizidbehandlung	Bodenbearbeitung		Mittel
		Pflug	Mulch	
gering anfällig	mit	9,07	9,31	9,19
	ohne	8,69	8,94	8,82
	Mittel	8,88	9,12	
hoch anfällig	mit	9,76	9,61	9,68
	ohne	9,48	9,20	9,34
	Mittel	9,62	9,41	

Abschließend zeigt Abb. 6, dass wie auf den Großflächen auch im Kleinparzellenversuch eine Beziehung zwischen Fusariumährenbefall und DON-Gehalt im Korn besteht.

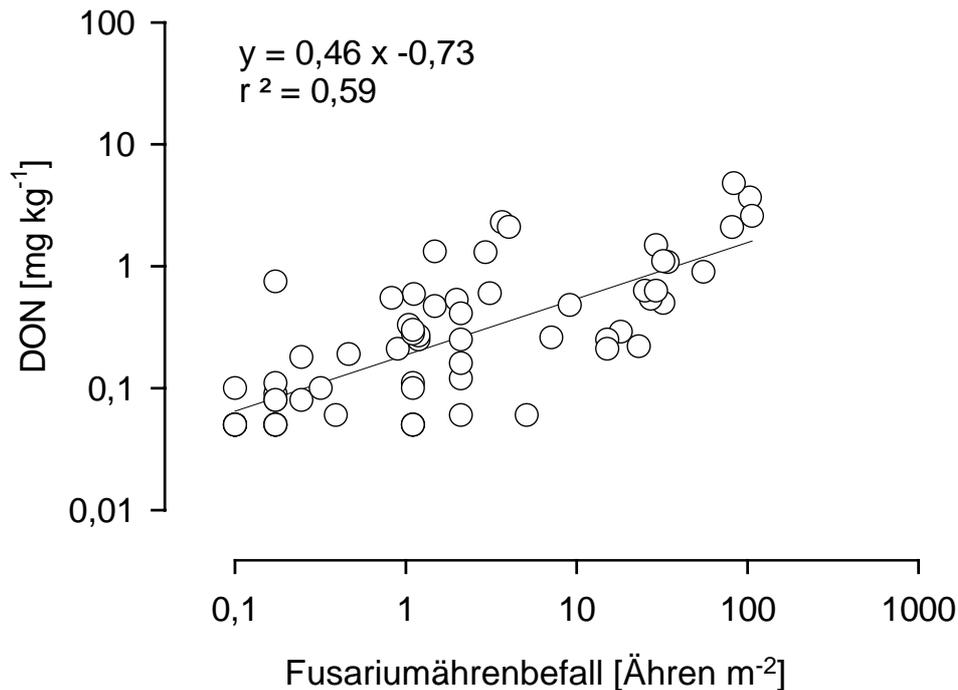


Abb. 6: Beziehung zwischen Fusariumährenbefall und Deoxynivalenol(DON)-Gehalt im Korn von Winterweizen, Göttingen, 2001 und 2002, n = 64
Kleinparzellen; ein Fusariumährenbefall von 0 Ähren m² wurde für die logarithmische Darstellung = 0,1 gesetzt

Diskussion

In Mitteleuropa waren die Jahre 1998 und 2002 charakterisiert durch einen starken Befall des Winterweizens mit pilzlichen Krankheitserregern aus der Gattung *Fusarium* spp. (KLINGENHAGEN & FRAHM 2001). Vertreter dieser Erregergruppe schädigen vor allem die Ähre, indem sie die Assimilatversorgung der Kornanlagen beeinträchtigen. Dies kann zu erheblichen Ertragseinbußen führen. Zusätzlich sind einige Fusariumarten in der Lage, im Korn Mykotoxine zu bilden, deren Aufnahme für Mensch und Tier gesundheitsschädigend sein kann. Für Deoxynivalenol (DON), dem Hauptmykotoxin der beiden wichtigsten in Deutschland vorkommenden Arten *F. culmorum* und *F. graminearum*, wurde kürzlich ein Grenzwert von 0,5 mg kg⁻¹ für Speisegetreide festgesetzt (ANONYMUS 2004). Zukünftig könnte somit toxinbelastetes Getreide nicht mehr verkehrsfähig sein.

Vor diesem Hintergrund gewinnt die Frage an Bedeutung, welche Faktoren das Auftreten von *Fusarium* spp. und die DON-Konzentration im Korn beeinflussen und wie groß deren Einfluss in Relation zueinander ist. Anhand der vorgestellten Daten wird nachfolgend die Wirkung der verschiedenen Einflussfaktoren auf den Ährenbefall mit

Fusarium spp. und die DON-Konzentration im Korn von Winterweizen diskutiert. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Wirkung der Bodenbearbeitung in Abhängigkeit von den anderen Einflussfaktoren gelegt. Darauf aufbauend wird für den besonders risikobehafteten Anbau von Weizen nach Weizenvorfrucht eine Vermeidungsstrategie hinsichtlich des Befalls mit *Fusarium* spp. entwickelt. Abschließend wird die Aussagekraft der Messgröße Anzahl fusariumbefallener Ähren pro m² für den DON-Gehalt im Korn betrachtet. Diese Beziehung könnte von Interesse für eine möglichst frühzeitige Abschätzung des Risikos hoher DON-Gehalte im Korn sein.

Witterung

Nach MATTHIES et al. (2000) ist die Ausprägung des Fusariumbefalls und die Mykotoxinbildung das Resultat mehrerer auf den Erreger wirkender Faktoren, von denen die Witterung während der Blüte die größte Bedeutung hat. Eine Infektion der Ähre mit *Fusarium* spp. nimmt in der Regel ihren Ausgang von infizierten Ernteresten am Boden. Auf diesen überdauert der Pilz und bildet Konidiosporen, die hauptsächlich durch Regenspritzer über kurze Entfernungen (< 60 cm) verbreitet werden (JENKINSON & PARRY 1994a). Der Erreger ist daher auf Niederschlagsereignisse beziehungsweise Spritzwasser während der Weizenblüte angewiesen, um von den Inokulumquellen wie Mulchresten oder auch bereits zuvor infizierten Weizenblättern an die Ähre zu gelangen. Für *Gibberella zeae*, der Hauptfruchtform von *Fusarium graminearum*, ist darüber hinaus eine Ähreninfektion über Ascosporen bekannt (SUTY & MAULER-MACHNIK 1996). Die Übertragung der Ascosporen erfolgt mit dem Wind über weite Strecken und ist ZINKERNAGEL et al. (2000) zufolge nicht in gleichem Maße von Niederschlagsereignissen abhängig wie die Konidienverbreitung. Niederschlagsereignisse während der Blüte von > 5 mm und Temperaturen zwischen 15 - 25 °C bieten dennoch für beide Verbreitungsformen günstige Infektionsbedingungen (OBST & BECHTEL 2000, ZINKERNAGEL et al. 2000, LIENEMANN et al. 2003).

Die herausragende Bedeutung der Witterung auf den Fusariumährenbefall von Winterweizen wurde in den vorliegenden Ergebnissen von den Großflächen bestätigt: Während im sommertrockenen Jahr 2001 unabhängig von sonstigen befallsbeeinflussenden Faktoren ein ausgesprochen niedriger Ährenbefall und DON-Gehalt vorlag, wurden nach dem regenreichen Frühsommer 2002 (ANONYMUS 1993-2002) insgesamt deutlich mehr Ähren mit Fusariumsymptomen beobachtet. Dies ging mit einer

hohen Mykotoxinbelastung im Korn nach der Ernte einher (Abb. 4). Auch Schweizer Studien berichten für die Jahre 1998 und 1999 über eine starke Abhängigkeit des Ährenbefalls und der Mykotoxinbelastung von der Witterung (KREBS et al. 2000). Liegen günstige Witterungsbedingungen für die Ausbreitung des Erregers vor, können pflanzenbauliche Maßnahmen das Ausmaß des Befalls erheblich modifizieren.

Vorfrucht und Bodenbearbeitung

Die Erntereste, auf denen die Überdauerung des Erregers erfolgt, sind von entscheidender Bedeutung für das Befallsgeschehen. Auf Ackerflächen überdauert *Fusarium* spp. hauptsächlich auf Mais- und Weizenstroh (DOMSCH et al. 1968, HEITFUSS et al. 1993). Zuckerrübenblätter werden vom Pilz nicht infiziert, so dass beim Weizenanbau nach Vorfrucht Zuckerrübe auch nach Feuchtperioden während der Blüte in der Regel nicht mit einem gravierenden Fusariumbefall zu rechnen ist. Demzufolge wies in den Großflächenexperimenten der Weizen nach Vorfrucht Zuckerrübe unabhängig von den übrigen Einflussfaktoren einen äußerst niedrigen Fusariumbefall auf (Abb. 1). Selbst unter den befallsfördernden Bedingungen des Jahres 2002 und bei Direktsaat lag, ebenso wie im Mittel über alle Umwelten nach Vorfrucht Zuckerrübe, der DON-Gehalt nur geringfügig über der Nachweisgrenze von $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$. Nach Vorfrucht Winterweizen kam es hingegen generell zu einem deutlichen Anstieg der DON-Konzentration (Abb. 1).

In Abhängigkeit von den jeweiligen Einflussfaktoren wie Vorfrucht und Witterung führten die unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren zu einer differenzierten Reaktion des DON-Gehaltes. Für Situationen mit geringem Befallsdruck, wie zum Beispiel nach Vorfrucht Zuckerrübe oder niederschlagsfreier Witterung während der Weizenblüte, zeigen die vorliegenden DON-Gehalte eine nur geringe Differenzierung zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren (Abb. 1, 4). Dies stimmt mit Ergebnissen von KREBS et al. (2000) und KREYE et al. (2000) überein. Demgegenüber hatte die Bodenbearbeitung nach befallsfördernden Vorfrüchten (Mais, Weizen) und für die Pilzentwicklung günstigen Witterungsbedingungen großen Einfluss auf die Verbreitung des Pilzes (DILL-MACKY & JONES 2000). So wurde nach Vorfrucht Winterweizen beziehungsweise im Jahr 2002 nach Direktsaat ein signifikant höherer DON-Gehalt gemessen als in den übrigen Verfahren (Abb. 1, 4).

Untersuchungen von MICHELS & MASTEL (2000) zufolge hängt der Infektionsdruck mit *Fusarium* spp. entscheidend von der Menge an infektiösen Ernteresten der Vorfrucht auf der Bodenoberfläche ab. Der höhere DON-Gehalt im Verfahren Direktsaat ist somit vermutlich eine Folge des hohen Mulchdeckungsgrades (> 50 %). Im Vergleich dazu führte der niedrigere Mulchdeckungsgrad in den Verfahren Pflug (< 1 %) sowie Locker und Mulch (ca. 10 - 30 %) zu einem signifikant niedrigeren DON-Gehalt (Abb. 1, 3).

Dennoch ist auch durch den Pflugeinsatz ein Auftreten von *Fusarium* spp. nicht vollständig und sicher zu verhindern, wie anhand des hohen, über 3 mg kg⁻¹ liegenden DON-Gehaltes am Standort Friemar 2002 deutlich wurde (Anhang 34). Heftige Niederschlagsereignisse während der Blüte bewirkten ein Lagern des Getreides auf der gesamten Fläche. Infolge der durch das Lager verursachten Abstandsverringerng zwischen Ähre und Inokulum (infizierte Erntereste oder Pflanzenteile) konnte der Erreger vermutlich leichter über Regenspritzer an die Ähre gelangen und diese infizieren (HÄNI 1980). Während auch an diesem Standort geringe Unterschiede im DON-Gehalt zwischen konservierender und konventioneller Bodenbearbeitung auftraten, bewirkte die befallsfördernde Witterung und das höhere Inokulumpotential im Verfahren Direktsaat eine über 20-fache Überschreitung des Grenzwertes.

Weiterhin kann unsachgemäßes Pflügen die Infektionswahrscheinlichkeit erhöhen. Zersetzen sich mit *Fusarium* spp. infizierte Pflanzenreste nur langsam (z. B. Strohmatte), gelangen sie durch ein erneutes Pflügen im Folgejahr zur Aussaat des Stoppelweizens wieder an die Oberfläche und steigern das Infektionsrisiko (MASTEL & HARMUTH 2000). Das Befallsrisiko erheblich mindern können dem Pflügen vorgeschaltete Maßnahmen, die eine zügige Zersetzung des infizierten Materials bewirken, wie z. B. das Kleinhäckseln von Ernteresten und deren Einarbeitung in Form einer Stoppeleinarbeitung.

Dabei vermindert das flache Einmischen des Strohs den Befall auch, wenn anschließend nicht gepflügt wird. Darauf weist der niedrige DON-Gehalt in den Verfahren Locker und Mulch in den Großflächenversuchen hin, der mit dem DON-Gehalt im Verfahren Pflug vergleichbar ist (Abb. 3). Die Einarbeitung der Erntereste durch eine 2-

fache Stoppelbearbeitung beschleunigte offensichtlich deren Zersetzung und verminderte somit die Überdauerung von *Fusarium* spp.

Für das Überdauern des Erregers ungünstige Bedingungen durch Einarbeitung von infiziertem Material wurden auch von Yi et al. (2002) gefunden. In einem Gefäßexperiment sank mit zunehmender Einarbeitungstiefe die Anzahl kolonienbildender Einheiten von *F. graminearum* auf den Ernteresten. Die größte Inokulumreduktion fand bei Einarbeitung über eine Tiefe von 15 cm statt (max. Tiefe der Gefäße). Diese entspricht der Einarbeitungstiefe der Verfahren mit konservierender Bodenbearbeitung (Locker und Mulch) im vorliegenden Versuch. Bei einer geringen Einarbeitungstiefe von nur 5 cm fand hingegen eine erheblich geringere Inokulumreduktion statt (Yi et al. 2002). Verbleiben bedeutende Mengen von Ernteresten auf der Bodenoberfläche, ist von einer weiteren Verlangsamung der Inokulumreduktion auszugehen, wie auch die Ergebnisse der vorliegenden Versuche folgern lassen.

Die bisher diskutierten Ergebnisse zeigen, dass vor allem die jahresspezifische Witterung in Verbindung mit der Anwesenheit von Ernteresten als Infektionsquelle den Infektionsdruck von *Fusarium* spp. im nachfolgenden Weizen bestimmt. Stroh auf der Bodenoberfläche ist dabei eine günstigere Infektionsquelle als solches, was in den Boden eingearbeitet und damit stärker zersetzt ist. Daraus kann sich ein größeres Inokulumpotential nach sehr flacher oder gänzlich unterlassener Bodenbearbeitung (Direktsaat) ergeben. Eine mischende Einarbeitung (konservierend) von Weizenstroh kann jedoch wesentlich zur Senkung des Infektionsdrucks beitragen und zu ähnlichem DON-Gehalt führen wie Bearbeitung mit Pflug. Dennoch bietet auch der Pflugeinsatz keine Gewähr für Befallsfreiheit mit *Fusarium* spp. und DON-freies Korn.

Sorte

Winterweizensorten zeigen eine unterschiedliche Anfälligkeit gegenüber *Fusarium* spp. Insbesondere kurzstrohige Weizensorten werden leichter von *Fusarium* spp. infiziert als langstrohige Sorten (HILTON et al. 1999). Die unterschiedliche Sortenanfälligkeit ist morphologisch bedingt und wird wesentlich von der Distanz zwischen Inokulumposition und Ähre beeinflusst. Je kürzer die Distanz, desto leichter können Konidien über Wasserspritzer an die Ähre gelangen (HÄNI 1980). Studien (WEINERT & WOLF 1994, JENNY et al. 2000) zufolge wirken sich Sortenmerkmale wie kurze Blüh-

dauer und geringe Anzahl offener Blütchen ebenfalls befallsmindernd aus. Vollständig resistente Weizensorten stehen bislang nicht zur Verfügung (JENNY et al. 2000).

Dennoch sind die vorhandenen Sortenunterschiede geeignet, den Ährenbefall mit *Fusarium* spp. und die DON-Kontamination des Korns erheblich zu beeinflussen. Dies zeigen die Ergebnisse von Sortenprüfungen (ANONYMUS 2001, RODEMANN 2002) sowie die der vorliegenden Untersuchungen. Bei gleicher Bodenbearbeitung war die kurzstrohige Sorte anfälliger gegenüber *Fusarium* spp. und der DON-Gehalt im Korn erheblich höher als der der langstrohigen Sorte. In beiden Untersuchungen (Großflächen- und Kleinparzellen) wurde deutlich, dass mit dem Anbau einer wenig anfälligen Sorte ein wirkungsvolles Werkzeug vorhanden ist, Ährenbefall und Toxinbildung sowohl bei konventioneller als auch konservierender Bodenbearbeitung auf einem niedrigen Niveau zu halten (Abb. 5, Tab. 4). Unabhängig von der Bodenbearbeitung erscheint dagegen der Anbau einer hoch anfälligen Sorte insbesondere nach Vorfrucht Weizen problematisch. Während auf der Großfläche abgesehen vom Standort Friemar ein überwiegend niedriger DON-Gehalt vorlag mit geringen Unterschieden zwischen konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung (Anhang 34), trat im Kleinparzellenversuch durch die Beregnung zur Blüte ein differenzierter Anstieg der DON-Konzentration ein. Befallsfördernde Witterung und höheres Inokulumpotential aufgrund eines höheren Mulchdeckungsgrades führten im Verfahren Mulch zu einem stärkeren Anstieg des DON-Gehaltes als in der Pflugvariante.

Aufgrund des erst kürzlich eingeführten Grenzwertes (ANONYMUS 2004) war eine geringe Fusariumanfälligkeit bei der Sortenwahl in der landwirtschaftlichen Praxis bislang eher ein nachrangiges Kriterium. Primär stand neben der allgemeinen Anbaueignung und der Kornqualität die Höhe des Kornertrages im Vordergrund. Im heutigen Sortenspektrum zeichnen sich hoch ertragreiche Sorten durch eine hohe Anfälligkeit gegenüber *Fusarium* spp. aus (ANONYMUS 2000, ANONYMUS 2001). Einen signifikant höheren Kornertrag wies die hoch anfällige Sorte auch in den vorliegenden Untersuchungen auf (Abb. 5, Tab. 4). Im Großflächenversuch trat zusätzlich eine Interaktion zwischen Sorte und Bodenbearbeitung auf. Während der Kornertrag der gering anfälligen Sorte von der Bodenbearbeitung unbeeinflusst blieb, führte die Kombination aus hoch anfälliger Sorte und Direktsaat zu einem signifikanten Minder-

ertrag. Verursacht wurde dieser vermutlich durch den hohen Fusariumährenbefall und die damit verbundene Bildung von Kümmerkorn.

Fungizidbehandlung

Die Anpassung der Fruchtfolge, die Einarbeitung der Erntereste und die Verwendung einer gering anfälligen Sorte sind vorsorgende Maßnahmen zur Vermeidung von *Fusarium* spp., die vor der Aussaat geplant werden müssen. Die Bekämpfung des Erregers zu einem späteren Zeitpunkt oder sogar nach erfolgter Infektion ist nur mit chemischen Pflanzenschutzmitteln möglich. Diese Form der Bekämpfung kann zu befriedigenden Resultaten führen, wenn die Applikation termingenau in einem kritischen Zeitraum durchgeführt wird. FORRER et al. (2000) und MENNITI et al. (2003) konnten in Versuchen mit Azol-Fungiziden hohe Toxinminderungen erreichen, wenn die Präparate gezielt während der Blüte appliziert wurden. Auch die Ergebnisse des Kleinparzellenversuchs zeigen in Übereinstimmung mit MESTERHÁZY & BARTÓK (1996), dass eine Fungizidapplikation den Ährenbefall und dessen toxische Auswirkungen signifikant vermindern kann (Tab. 4, 5). Demgegenüber berichten LIENEMANN et al. (2003) über einen nur geringen Wirkungsgrad von Azol-Fungiziden und führen dies auf eine nicht optimale Terminierung der Applikation zurück. Als optimal bezeichnen MAULER-MACHNIK & ZAHN (1994), OLDENBURG et al. (1999) und MATTHIES et al. (2000) eine Applikation unmittelbar vor beziehungsweise kurz nach (3 Tage) der Infektion. Behandlungen vor oder nach diesem Zeitabschnitt zeigen schon eine weit- aus schwächere Wirkung (SUTY & MAULER-MACHNIK 1996, OBST 2000). Aufgrund dieser Ergebnisse und der hohen Anforderungen, die an die Fungizidapplikation gestellt werden, sollte die chemische Bekämpfung als ergänzende Maßnahme innerhalb einer auf pflanzenbaulichen Maßnahmen basierenden Fusarium-Vermeidungsstrategie integriert werden. Chemische Mittel können unter praktischen Bedingungen häufig aufgrund ungünstiger Witterungsbedingungen nicht eingesetzt werden und stellen deshalb eine nicht immer zuverlässige Bekämpfungsmethode dar.

Minderungsstrategien für den Fusariumbefall beim Anbau von Stoppelweizen

Vor dem Hintergrund des kürzlich eingeführten DON-Grenzwertes (ANONYMUS 2004) ist es vorrangiges Ziel des besonders risikobehafteten Anbaus von Weizen nach Weizen- oder Maisvorfrucht, den DON-Gehalt im Korn möglichst niedrig zu halten. Durch welche Kombination einzelner Maßnahmen dieses Ziel erreicht werden kann,

ist vor allem aus mehrfaktoriellen Versuchsansätzen wie dem 3-faktoriellen Kleinparzellenversuch am Standort Göttingen abzuleiten. Dessen Ergebnisse werden nachfolgend in praxisnahe Überlegungen über die Gestaltung des Anbaus eingebunden.

In der Regel wird über die Bodenbearbeitung unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher und ökologischer Aspekte längerfristig entschieden. Die Sortenwahl geschieht mittelfristig und war bislang primär von Ertragshöhe, Kornqualität und allgemeiner Anbaueignung, jedoch weniger von der *Fusarium*-Anfälligkeit abhängig. Zukünftig erhält diese Eigenschaft jedoch ein stärkeres Gewicht. Kurzfristig wird hingegen über einen Fungizideinsatz gegen *Fusarium* spp. entschieden, der sich nach dem aktuellen Risiko des Krankheitsauftretens richtet.

Die Ergebnisse des Kleinparzellenversuches (Tab. 5) zeigen, dass im Bodenbearbeitungsverfahren Pflug bei Anbau einer hoch fusariumanfälligen Sorte ein Fungizideinsatz in Betracht gezogen werden muss, um den DON-Gehalt mit hoher Wahrscheinlichkeit unterhalb des Grenzwertes von $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ zu halten. Wird jedoch eine gering anfällige Sorte angebaut, so ist ein Fungizideinsatz auch bei hohem Befallsdruck nicht erforderlich. Demgegenüber trat im Bearbeitungsverfahren Mulch auch bei Anbau einer gering anfälligen Sorte ohne Fungizidbehandlung ein erhöhter DON-Gehalt im Korn auf. Hier muss folglich eine Fungizidmaßnahme in Betracht gezogen werden. Der Anbau einer hoch anfälligen Sorte muss im Bearbeitungssystem Mulch aufgrund des Risikos sehr hoher DON-Werte unterbleiben.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass durch den Anbau einer wenig anfälligen Sorte und gegebenenfalls mit dem Einsatz eines Fungizids die DON-Konzentration auch bei konservierender Bodenbearbeitung zu Stoppelweizen sicher unter dem Wert von $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ gehalten werden kann. Dieses Ziel begründet die Verwendung gering anfälliger Sorten, obwohl deren Anbau mit einer niedrigeren Ertragserwartung verbunden ist (Abb. 5, Tab. 5). Hingegen vorteilhaft erweist sich bei einer diesbezüglichen Sortenwahl das höhere Qualitätspotential (Rohproteingehalt). Die Fungizidapplikation hatte sortenunabhängig einen ertragssteigernden Effekt von $0,3$ bis $0,4 \text{ t ha}^{-1}$, der jedoch nicht ausreichen dürfte, um die Mittel- und Applikationskosten der Fungizidbehandlung auszugleichen. Im Hinblick auf den DON-Grenzwert sollte je-

doch der Mehraufwand der Applikation kein Kriterium für einen Fungizidverzicht darstellen.

Beziehung zwischen Fusariumährenbefall und Mykotoxinkonzentration

Abschließend soll die Frage beantwortet werden, ob Fusariumährenbefall eine Prognose über die zu erwartende Höhe des DON-Gehaltes erlaubt. Eine Beziehung zwischen beiden Parametern würde eine Risikoabschätzung bereits im Vorfeld der Ernte ermöglichen.

Bei sichtbaren Ährensymptomen ist in der Regel auch mit DON-kontaminierten Körnern zu rechnen (MIELKE et al. 2000). Eine enge Beziehung zwischen DON-Anreicherung und Symptomentwicklung wurde sowohl in Laboruntersuchungen (BUCHENAUER & KANG 2001) als auch unter natürlichen Bedingungen (MENNITI et al. 2003, MIEDANER et al. 2003) nachgewiesen. Aus den Laboruntersuchungen ging hervor, dass Mykotoxine während der Pathogenese vom Pathogen ausgeschieden werden, um postinfektionelle Abwehrreaktionen des infizierten Wirtsgewebes zu hemmen (KANG & BUCHENAUER 1999). Inokulationsversuche mit *Fusarium culmorum* wiesen nur bei stärkerem Ährenbefall einen parallelen Anstieg des DON-Gehaltes auf (HÖHN et al. 2002). Geringer bis mittlerer Ährenbefall führte hingegen zu einer überwiegend losen Beziehung zwischen Ährenbefall und Mykotoxingehalt.

Auch in der vorliegenden Untersuchung wurde bei schwachem Ährenbefall eine lose Beziehung zwischen Ährenbefall und DON-Konzentration festgestellt. Erst ab einem Wert oberhalb von 10 befallenen Ähren pro m² war eine enge Beziehung zwischen Ährenbefall und DON-Konzentration zu beobachten (Abb. 2 und 6). Eine geringere Anzahl befallener Ähren führte an einigen Umwelten des Großflächenversuchs zu einer sehr geringen DON-Konzentration nahe der Nachweisgrenze (Abb. 2). Da diese Beobachtung in allen Bodenbearbeitungsverfahren dieser Umwelten zutraf, könnten für den Erreger langanhaltende und ungünstige Witterungsbedingungen während und nach der Infektion dessen Ausbreitung in Ähre und Korn behindert und den DON-Gehalt im Korn gering gehalten haben. An anderen Umwelten wurden trotz nicht sichtbarer Befallssymptome zur Bonitur in BBCH 71-75 zum Teil sehr hohe DON-Werte gemessen. Möglicherweise erfolgte die Infektion oder die Symptomausprägung zu einem späteren Zeitpunkt nach der Bonitur. Inokulationsversuche mit

Fusarium culmorum zeigten, dass eine Infektion auch in BBCH 75 möglich ist (LIENEMANN et al. 2003). Als günstigster Infektionszeitpunkt wird jedoch der Zeitraum der Blüte von BBCH 61-69 beschrieben (LACEY et al. 1999).

Bei schwachem bis mittlerem Ährenbefall (< 10 befallene Ähren m⁻²) scheint eine Aussage über den DON-Gehalt nicht möglich zu sein. Selbst schwächster Ährenbefall beziehungsweise symptomfreier Befall kann zu DON-Gehalten oberhalb des Grenzwertes führen. Hingegen kann mit großer Wahrscheinlichkeit bei intensivem Ährenbefall (> 10 befallene Ähren m⁻²) ein niedriger DON-Gehalt unterhalb des Grenzwertes ausgeschlossen werden.

Schlussfolgerungen

Ährenbefall mit *Fusarium* spp. und seine toxischen Auswirkungen im Korn sind im starken Maße von Umweltbedingungen abhängig. Da diese sich weder sicher vorhersagen noch beeinflussen lassen, ist die Abstimmung von pflanzenbaulichen Einflussgrößen wie Vorfrucht, Bodenbearbeitung und Sortenwahl ein wichtiges Instrumentarium zur Einschränkung von Fusariosen. Treffen mehrere pflanzenbauliche Risikofaktoren mit günstigen Witterungsbedingungen zusammen, muss mit einem hohen Fusariumährenbefall und einer hohen DON-Konzentration im Korn gerechnet werden. Andererseits führt allein schon die Auslassung eines Risikofaktors zu einer geringeren Infektionswahrscheinlichkeit.

Die Bodenbearbeitung kann bei befallsfördernder Vorfrucht eine relevante Wirkung auf Ährenbefall und Mykotoxinbelastung ausüben. Mit extrem hohem Mykotoxingehalt ist dabei insbesondere bei hohem Bedeckungsgrad mit Ernteresten, wie sie bei Direktsaat vorliegen, zu rechnen.

Eine wirkungsvolle und leicht umzusetzende Methode zur Verringerung des Befallsdruckes stellt die Verwendung gering anfälliger Sorten dar. Insbesondere bei befallsfördernden Fruchtfolgen (Weizen nach Weizen oder Mais) und unabhängig von der Bodenbearbeitung sind gering anfällige Sorte bei der Anbauplanung unbedingt zu bevorzugen. Als eher ergänzende Maßnahme gegenüber *Fusarium* spp. muss die Fungizidbehandlung angesehen werden, da eine mykotoxinmindernde Wirkung maßgeblich vom Applikationszeitpunkt des Fungizids abhängig ist.

Literatur

- ABRAMSON, D., CLEAR, R.M. & D.M. SMITH, 1993: Trichothecene production by *Fusarium* spp. isolated from Manitoba grain. *Can. J. Plant Pathol.* **15**, 147-152.
- ANONYMUS, 1987: Autorenkollektiv. Einführung in die Methodik des Feldversuchs. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 273-276.
- ANONYMUS, 1993-2002: DWD. Monatlicher Witterungsbericht. Zentralamt Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach am Main.
- ANONYMUS, 2000: Sortenempfehlungen Winterweizen 2000. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- ANONYMUS, 2001: Bundessortenamt. Beschreibende Sortenliste 2001 – Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte. Landbuch-Verlag, Hannover.
- ANONYMUS, 2002: Düngeempfehlung zur EUF-Bodenuntersuchung. SZ AG Mannheim/Ochsenfurt.
- ANONYMUS 2004: Höchstmengen für Mykotoxine in Speisegetreide. *top agrar* 1, 12.
- ARNOLD-REIMER, K., 1994: Einfluß konservierender Bodenbearbeitung auf Pflanzenkrankheiten und Unkräuter im Getreide und Konsequenzen für einen gezielten Pflanzenschutz. Diss., Göttingen.
- BAI, G.-H., L.F. CHEN & G. SHANER, 2003: Breeding for Resistance to *Fusarium* Head Blight of Wheat in China. In: LEONARD, H.-J. & W. BUSHNELL [Hrsg.]: *Fusarium* Head Blight of Wheat and Barley, APS Press, 296-317.
- BECK, R. & J. LEPSCHY, 2000: Ergebnisse aus dem *Fusarium*-Monitoring 1989-1999 – Einfluss der produktionstechnischen Faktoren Fruchtfolge und Bodenbearbeitung. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau **4** (3), 39-47.
- BUCHENAUER, H. & Z. KANG, 2001: Cytologische Studien zur Infektion und Ausbreitung von *Fusarien* in Weizenähren sowie Abwehrreaktionen in Ähren resistenter und anfälliger Weizensorten. In: *Fusarium*-Befall und Mykotoxinbelastung von Getreide – Ursachen, Auswirkungen, Vermeidungsstrategien. 13. Wissenschaftliche Fachtagung, 07. Nov. 2001, Uni. Bonn, 45-54.

BUSHNELL, W.R., B.E. HAZEN & C. PRITSCH, 2003: Histology and Physiology of Fusarium Head Blight. In: LEONARD, K.J. & W.R. BUSHNELL [Hrsg.]: Fusarium Head Blight of Wheat and Barley. APS Press, 44-68.

COOK, R.J. & G.W. BRUEHL, 1968: Relative significance of parasitism versus saprophytism in colonization of wheat straw by *Fusarium roseum* „Culmorum“ in the field. *Phytopathology* **58**, 306-308.

DILL-MACKY, R. & R.K. JONES, 2000: The Effect of Previous Crop Residues and Tillage on Fusarium Head Blight of Wheat. *Plant Disease* **4**, 71-75.

DOMSCH, K.H., W. GAMS & E. WEBER, 1968: Der Einfluß verschiedener Vorfrüchte auf das Bodenpilzspektrum in Weizenfeldern. *Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde* **119**, 134-149.

EUDES, F., A. COMEAU, S. RIOUX & J. COLLIN, 2001: Impact of trichothecenes on *Fusarium* head blight [*Fusarium graminearum*] development in spring wheat (*Triticum aestivum*)¹. *Can. J. Plant Pathol.* **23**, 318-322.

FA. BAYER CROPSCIENCE, 2000. Produktliste 2000. Bayer AG, Leverkusen.

FORRER, H.-R., A. HECKER, C. KÜLLING, P. KESSLER, E. JENNY & H. KREBS, 2000: Fusarienbekämpfung mit Fungiziden? *AgrarForschung* **7** (6), 258-263.

GRAF, A. & C. ORTSEIFEN, 1995: Statistische und grafische Datenanalyse mit SAS. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford.

HÄNI, F., 1980: Über Getreidefusariosen in der Schweiz: Saatgutbefall, Ährenbefall und Bodenkontamination. *Z. PflKrankh. PflSchutz* **87**, 257-280.

HEITEFUSS, R., K. KÖNIG, A. OBST & M. RESCHKE, 1993: Pflanzenkrankheiten und Schädlinge im Ackerbau. DLG-Verlag, Frankfurt.

HERMANN, W., E. KÜBLER & W. AUFHAMMER, 1998: Ährenbefall mit Fusarien und Toxingehalt im Korngut bei verschiedenen Wintergetreidearten. *Pflanzenbauwissensch.* **2** (3), 97-107.

HILTON, A.J., P. PENKINSON, T.W. HOLLINS & D.W. PARRY, 1999: Relationship between cultivar height and severity of Fusarium ear blight in wheat. *Plant Pathology* **48**, 202-208.

- HÖHN, D., A. ROSENBERGER, H.-P. KAUL, E. KÜBLER & W. AUFHAMMER, 2002: Ährenfusariumbefall (*F. culmorum*) und Deoxynivalenol-Akkumulation im Kornausbildungsvorgang abreifedifferenzierter Winterweizenbestände. *Pflanzenbauwissenschaft* **6** (1), 1-8.
- JENKINSON, P. & D.W. PARRY, 1994a: Splash dispersal of conidia of *Fusarium culmorum* and *Fusarium avenaceum*. *Mycological Research* **98** (5), 506-510.
- JENKINSON, P. & D.W. PARRY, 1994b: Isolation of *Fusarium* species from common broad leaved weeds and their pathogenicity to winter wheat. *Mycological Research* **98** (7), 776-780.
- JENNY, E., A. HECKER, P. KESSLER, C. KÜLLING & H.-R. FORRER, 2000: Getreidefusariosen: Sortenresistenz und Toxingehalte. *Agrarforschung* **7** (6), 270-273.
- KANG, Z. & H. BUCHENAUER, 1999: Immunocytochemische Lokalisation von Fusarium-Toxinen in infizierten Weizenähren durch *Fusarium culmorum*. *Physiol. Mol. Pl. Pathol.* **55** (5), 275-288.
- KANG, Z., L. HUANG, U. KRIEG, A. MAULER-MACHNIK & H. BUCHENAUER, 2001: Effects of tebuconazole on morphology, structure, cell wall components and trichothecene production of *Fusarium culmorum* in vitro. *Pest Management Science* **57** (6), 491-500.
- KLINGENHAGEN, G. & J. FRAHM, 2001: Unterschiedliche Anbauintensitäten und Fusariumbelastung. In: *Fusarium-Befall und Mykotoxinbelastung von Getreide – Ursachen, Auswirkungen, Vermeidungsstrategien – 13. Wissenschaftliche Fachtagung*, 07. Nov. 2001, Uni. Bonn, 32-44.
- KREBS, H., D. DUBOIS, C. KÜLLING, H.-R. FORRER, B. STREIT, S. RIEGER & W. RICHNER, 2000: Fusarien- und Toxinbelastung des Weizens bei Direktsaat. *AgrarForschung* **7** (6), 264-268.
- KREYE, H., V. GARBE, G. BARTELS & H.-H. HOPPE, 2000: Intensität der Grundbodenbearbeitung und Schaderregerauftreten in einer Zuckerrüben-Weizen-Weizen-Fruchtfolge. *Zuckerindustrie* **125** (9), 741-745.
- LACEY, J., G. L. BATEMANN & C. J. MIROCHA, 1999: Effects of infection time and moisture on development of ear blight and deoxynivalenol production by *Fusarium* spp. in wheat. *Annals of Applied Biology* **134**, 277-283.

LEPSCHY, J., 1992: Fusarientoxine in Getreide – ihre Entstehung und Vorbeugungsmaßnahmen. *Gesunde Pflanzen*, **44** (2), 35-39.

LEPSCHY, J., 2000: Die häufigsten Fusariumtoxine in Getreide – Analytik, Toxikologie, Grenzwerte. Risiken durch den Ährenparasiten *Fusarium graminearum*. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 27-32.

LIENEMANN K., E.-C. OERKE & H.-W. DEHNE, 2003: Infektion und Ausbreitung von *Fusarium* spp. an Weizen in Abhängigkeit der Anbaubedingungen im Rheinland. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL, **104**.

MASTEL, K. & P. HARMUTH, 2000: Ährenfusariosen des Getreides – die Bekämpfung beginnt vor der Aussaat. Landesanstalt für Pflanzenbau, Baden-Württemberg. Merkblätter für die Umweltgerechte Landbewirtschaftung **18**, 1-6.

MATEO, J.J., R. MATEO, M.J. HINOJO, A. LLORENS, & M. JIMÉNEZ, 2002: Liquid chromatographic determination of toxigenetic secondary metabolites produced by *Fusarium* strains. *J. Chromatogr. A*. **955**, 245-256.

MATTHIES, A. & H. BUCHENAUER, 2000: Effect of tebuconazole (Folicur[®]) and prochloraz (Sportak[®]) treatments of *Fusarium* head scab development, yield and deoxynivalenol content in grains of wheat following artificial inoculation with *Fusarium culmorum*. *Z. PflKrankh. PflSchutz* **107**, 35-52.

MATTHIES, A., B.-H. MENCK & H. BLEIHOLDER, 2000: Untersuchungen zur Wirksamkeit von Strobilurinhaltigen Fungiziden im Vergleich zu Azolen auf den Gehalt an Deoxynivalenol (DON) in Weizenproben des Erntejahres 1999 – Erste Erkenntnisse –. *Gesunde Pflanzen*, **52** (1), 26-32.

MAULER-MACHNIK, A. & K. ZAHN, 1994: Ährenfusariosen an Weizen – neue Erkenntnisse zur Epidemiologie und zur Bekämpfung mit Folicur[®] (Tebuconazole). *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* **47** (2), 133-160.

MCCORMICK, S., 2003: The role of DON in Pathogenicity. In: LEONARD, K.J. & W.R. BUSHNELL [Hrsg.]: *Fusarium Head Blight of Wheat and Barley*. APS Press, 165-183.

MENNITI, A.M. D. PANCALDI, M. MACCAFERRI & L. CASALINI, 2003: Effect of fungicides on *Fusarium* head blight and deoxynivalenol content in durum wheat grain. *European Journal of Plant Pathology* **109**, 109-115.

MESTERHÁZY, Á. & T. BARTÓK, 1996: Bekämpfung von Ährenfusariosen des Weizens durch Fungizide und deren Effekt auf die Toxinverseuchung der Körner. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer **49** (2) 187-206.

MESTERHÁZY, Á., T. BARTÓK & C. LAMPER, 2003: Influence of Wheat Cultivar, Species of *Fusarium*, and Isolate Aggressiveness on the Efficacy of Fungicides for Control of Fusarium Head Blight. Plant Disease **87** (9), 1107-1115.

MICHELS, K. & K. MASTEL, 2000: „Dauerbrenner“ Fusarium. In: Tätigkeitsbericht 1999 und 2000. Staatliche Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg, 101-108.

MIEDANER T., B. SCHNEIDER & H.H. GEIGER, 2003: Deoxynivalenol (DON) Content and Fusarium Head Blight Resistance in Segregating Populations of Winter Rye and Winter Wheat. Crop Science **43**, 519-526.

MIELKE, H., B. RODEMANN, G. BARTELS & F. ELLNER, 2000: Ährenfusariosen im Weizenanbau. Getreide **6** (2), 104-108.

OBST, A., 2000: Pflanzenschutzstrategien gegen Schwarzbeinigkeit und Ährenfusariosen. DLG-Wintertagung 10.-12. Januar 2000, München. Manuskripte der öffentl. Veranstaltungen zur Pflanzenproduktion, 53-56.

OBST, A. & A. BECHTEL, 2000: Witterungsvoraussetzungen für den Ährenbefall des Weizens mit *Fusarium graminearum*. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau **4** (3), 81-88.

OERKE, E., 2001. Achtung Ährenfusarien: Schutz gegen Pilzgifte nutzen. Dlz **2**, 44-48.

OERKE, E.-C., A. MEIER, K. LIENEMANN, G. MEYER, J. MUTHOMI, A. SCHADE-SCHÜTZE, U. STEINER & H.-W. DEHNE, 2001: Auftreten und Bekämpfung von *Fusarium*-Arten im Rheinland. In: *Fusarium*-Befall und Mykotoxinbelastung von Getreide – Ursachen, Auswirkungen, Vermeidungsstrategien – 13. Wissenschaftliche Fachtagung, 07. Nov. 2001, Uni. Bonn, 32-44.

OFFENBÄCHER, G., 2001: Zur Analytik von *Fusarium*-Mykotoxinen. In: *Fusarium*-Befall und Mykotoxinbelastung von Getreide – Ursachen, Auswirkungen, Vermeidungsstrategien - 13. Wissenschaftliche Fachtagung, Bonn, 4-13.

OLDENBURG, E., J. WEINERT & G.A. WOLF, 1999: Einfluß von Pflanzenschutzmaßnahmen auf den Fusariumtoxin-Gehalt in Weizen. Proceedings 21. Mycotoxin-Workshop, 7.-9 Juni 1999, Jena, 30-34.

PARRY, D.W., P. JENKINSON & L MCLEOD, 1996: *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals. A review. Plant Pathology. **44**, 207-238.

PAWELZIK, E., H.H. PERMADY, J. WEINERT & G.A. WOLF, 1998: Untersuchungen zum Einfluß einer Fusarien-Kontamination auf ausgewählte Qualitätsmerkmale von Weizen. Getreide Mehl und Brot **52**, 264-266.

PESTKA, J.J., M.A. MOORMANN & R.L. WARNER, 1989: Dysregulation of IgA production and IgA nephropathy induced by the trichothecene vomitoxin. Food Chem. Toxicol. **27** (6), 361-368.

PRINGAS, C. & H.-J. KOCH, 2004: Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf Ertrag und Qualität von Winterweizen nach unterschiedlichen Vorfrüchten – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen. Pflanzenbauwissensch. **8** (1), 24-33.

RODEMANN, B., 2002 : Welche Sorten sind gesund? DLG-Mitteilungen **3**, 54-58.

ROSENBERGER A., D. HÖHN, H.-P. KAUL, E. KÜBLER & W. AUFHAMMER, 2001: Ährenfusariumbefall und Mykotoxinproduktion im Kornausbildungsverlauf von Winterweizen unter kontrollierten Klimabedingungen. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. **13**, 190-191.

ROTTER, B., D.B. PRELUSKY & J.J. PESTKA, 1996: Toxicology of deoxynivalenol (vomitoxin). J. Toxicol. Environ. Health **48**, 1-34.

SIEGFRIED, R., 2002: Zum Vorkommen und zur Beurteilung von Deoxynivalenol (DON) – mehrjährige Untersuchungsergebnisse aus Baden-Württemberg. Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten. Jahrestagung 2002, Klosterneuburg, 339-340.

SIEVERT, M., 2000: Aspekte des Pflanzenschutzes in Winterraps, Winterweizen und Wintergerste bei nichtwendender Bodenbearbeitung. Diss., Göttingen.

SUTY, A. & A. MAULER-MACHNIK, 1996: Ährenfusariose an Weizen – Neue Erkenntnisse zur Epidemiologie und Bekämpfung von *Gibberella zeae*, der Hauptfruchtform von *Fusarium graminearum* mit Folicur[®]. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer **49** (1), 55-70.

WEINERT, J. & G.A. WOLF, 1994: Ursache unterschiedlicher Sortenanfälligkeit gegenüber der partiellen Taubährigkeit (*Fusarium* spp.) Mitt. A. d. Biol. Bundesanstalt **301**, 277.

WEINERT, J. & G.A. WOLF, 1995: Gegen Ährenfusarien helfen nur resistente Sorten. Pflanzenschutz-Praxis **2**, 30-32.

WEGENER, M., 1996: Verbreitung, Artenspektrum und Bekämpfungsmöglichkeiten von Halmbasiskrankheitserregern an Winterweizen unter besonderer Berücksichtigung der Gattung *Fusarium* Lk. Diss., Göttingen.

WEGENER, U., 2001: Dauerhafte Bodenbearbeitungsverfahren in Zuckerrübenfruchtfolgen – Ertragsbildung, Rentabilität, Energiebilanz und Bodenerosion im Vergleich. Diss., Göttingen.

WEGENER, M. & G.A. WOLF, 1995: Halmbasiskrankheiten auch durch Fusarien. Pflanzenschutzpraxis **1**, 27-29.

YI, C., H.-P. KAUL, E. KÜBLER, K. SCHWADORF & W. AUFHAMMER, 2001: Head blight (*Fusarium graminearum*) and deoxynivalenol concentration in winter wheat as affected by pre-crop, soil tillage and nitrogen fertilization. Z. PflKrankh. PflSchutz **108** (3), 217-230.

YI, C., H.-P. KAUL, E. KÜBLER & W. AUFHAMMER, 2002: Populations of *Fusarium graminearum* on crop residues as affected by incorporation depth, nitrogen and fungicide application. Z. PflKrankh. PflSchutz **109** (3), 252-263.

ZIMMERMANN, G., 2000: Züchterische Konzepte zur Bekämpfung von Weizenkrankheiten. DLG-Wintertagung, 10.-12.01.2000 München. Manuskripte der öffentlichen Veranstaltungen zur Pflanzenproduktion, 41-52.

ZINKERNAGEL, V., B. ADOLF & J. HABERMEYER, 2000: Ähreninfektionen bei Weizen durch *Fusarium graminearum*. Gesunde Pflanzen **52** (7/8), 228-233.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. agr. Christodulos Pringas, Dr. Heinz-Josef Koch, Prof. Dr. Bernward Märländer, Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstraße 77, D-37079 Göttingen

V Epilog

Der Grundgedanke der **nachhaltigen Entwicklung** ist, den ökonomischen, ökologischen und sozialen Bedürfnissen unserer Gesellschaft gerecht zu werden, ohne die Entwicklungschancen nachfolgender Generationen zu beeinträchtigen (WCED 1987). Eine nachhaltige Entwicklung für alle Bereiche der Gesellschaft wird in der Agenda 21 beschrieben (UNCED 1992, ANONYMUS 1992). Darauf aufbauend wurde 1999 von der EU die Agenda 2000 als Programm zur politischen Reform beschlossen. Ein wesentlicher Teil dieser Reform ist die gemeinsame Agrarpolitik (EGGERS & HAGEDORN 1998). Diese beinhaltet eine hohe Wettbewerbsfähigkeit der landwirtschaftlichen Produktion, die Erzielung von stabilen Einkommen der landwirtschaftlichen Betriebe und die Garantie einer hohen Lebensmittelqualität und -sicherheit bei gleichzeitiger Beachtung umweltschonender Produktionsverfahren. Eine ideale Voraussetzung für das Erreichen einer nachhaltigen Entwicklung in der Landwirtschaft ist eine ausgewogene Berücksichtigung von ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten (CHRISTEN 1996). Diese müssen in einem gemeinsamen Kontext auch oder gerade dann Berücksichtigung finden, wenn sie z. B. zur Bewertung pflanzlicher Produktionsverfahren im Widerspruch stehen (MÄRLÄNDER et al. 2003). Dabei ist zu beachten, dass ein bestimmtes System, welches alle Ziele gleichermaßen berücksichtigt und allgemeine Gültigkeit in Zeit und Raum besitzt, im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung – betrachtet als stetigem Prozess – nicht existieren kann.

Soziale Aspekte sind von besonderer Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung des ländlichen Raums und der landwirtschaftlichen Betriebe. Voraussetzung dafür sind profitable Produktionsverfahren, deren Intensität in direktem Bezug zum umweltschonenden Anspruch der Produktion steht (GELDERMANN & KOGEL 2002). Vor dem Hintergrund eines wachsenden Umweltbewusstseins der Gesellschaft werden heute in landwirtschaftlichen Produktionsabläufen neben ökonomischen Vorgaben zunehmend auch ökologische Aspekte wie der Schutz des Bodens vor nutzungsbedingten Schäden gefordert. Am Beispiel des Produktionsfaktors Boden bedeutet dies für die Landwirtschaft konkret, Eutrophierung von Gewässern durch unerwünschten Nährstoffaustrag zu verhindern sowie oberflächliche Verschlammung, Erosion und Bodenverdichtung zu vermeiden.

Erreicht werden soll dieses Ziel durch eine landwirtschaftliche Nutzung des Bodens im Sinne der guten fachlichen Praxis (BBODSCHG 1998). Diese beinhaltet eine standortangepasste Bodenbearbeitung, welche die Vermeidung von Bodenverdichtung und Bodenabtrag zum langfristigen Erhalt und der Verbesserung der Bodenstruktur anstrebt. Hieraus folgt, Bodennutzungsverfahren zu etablieren, die den Anforderungen einer nachhaltigen Entwicklung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion gerecht werden können. In diesem Zusammenhang gilt es zu untersuchen, welchen Beitrag Verfahren mit verringerter Bodenbearbeitungsintensität zum Bodenschutz und insgesamt zu einer nachhaltigen Entwicklung in der Landwirtschaft leisten können.

Verfahren mit verringerter **Bodenbearbeitungsintensität** ohne Pflugeinsatz werden in Deutschland seit den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts in zahlreichen Versuchen auf ihre pflanzenbauliche Eignung hin untersucht (BAEUMER et al. 1971, MÄRLÄNDER 1978, TEBRÜGGE 1988, SOMMER & ZACH 1993, FRIELINGHAUS et al. 1997, EHLERS 1992, BECKER & MÄRLÄNDER 1998, SOMMER 1999, WAGNER 2001). Die überwiegende Anzahl dieser Untersuchungen umfasste jedoch nur wenige Jahre bis etwa 2 Rotationen.

Vor diesem Hintergrund wurde 1994 ein Projekt initiiert mit dem Ziel, die Auswirkungen pflugloser Bodenbearbeitung auf pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Kenngrößen für einen Zeitraum von etwa 2 Dekaden zu untersuchen. Die Versuchsanlage wurde auf **Großflächen** (Mindestgröße 12 ha) des Geschäftsbereiches Landwirtschaft der Südzucker AG mit praxisüblicher Technik auf 10 Standorten in ackerbaulichen Regionen Süd- und Ostdeutschlands durchgeführt. Ziel war, gleichermaßen wissenschaftlichem Anspruch und einer belastbaren Interpretation der Ergebnisse für die Praxis gerecht zu werden. Im Projektzeitraum 2000-2002 stand neben der Untersuchung pflanzenbaulicher und ökonomischer Aspekte die Analyse von **Krankheiten** und **Schädlingen** im Vordergrund.

In Winterweizen trat nach Ährenbefall mit *Fusarium* spp. getrennt nach Einzelfaktoren (Witterung, Vorfrucht und Sorte) der niedrigste DON-Gehalt im Bodenbearbeitungsverfahren Pflug auf (PRINGAS et al. 2004). Geringfügig höhere Mykotoxinwerte wiesen die Verfahren Locker und Mulch auf und signifikant höhere die Direktsaat.

Insbesondere Witterung und Sortenwahl beeinflussten den DON-Gehalt maßgeblich und führten bei befallsfördernden Bedingungen (Niederschläge, befallsfördernde Vorfrucht, hoch anfällige Sorte) in allen Bodenbearbeitungsverfahren zu einer Überschreitung des gesetzlichen Grenzwertes für DON. Lediglich Winterweizen nach Vorfrucht Zuckerrübe wies in allen Bodenbearbeitungsverfahren eine äußerst geringe Mykotoxinbelastung auf.

In Zuckerrüben variierte die Befallsintensität mit *Cercospora beticola* Sacc. erheblich zwischen Standort und Jahr. Innerhalb eines Standortes lag jedoch, entgegen üblicher Meinung, die Befallsintensität in den Bodenbearbeitungsverfahren ohne Pflug nicht über dem Niveau mit Einsatz des Pfluges (PRINGAS et al. 2003c, PRINGAS & MÄRLÄNDER 2004). Diese erstmals in Zuckerrüben systematisch durchgeführte Untersuchung zum Einfluss der Bodenbearbeitung auf das Auftreten von *Cercospora beticola* lässt darauf schließen, dass der Erreger in dreijähriger Fruchtfolge nicht unmittelbar von der Bodenbearbeitungsintensität beeinflusst wird.

Aus pflanzenbaulicher Sicht war der Ertrag bei konservierender Bodenbearbeitung nach 3 Rotationen für Zuckerrüben (PRINGAS & MÄRLÄNDER 2004) und Winterweizen (PRINGAS & KOCH 2004) ähnlich hoch wie bei Einsatz des Pfluges. Nur bei vollkommenem Verzicht auf Bodenbearbeitung (Direktsaat) wurde für Weizen ein geringerer und für Zuckerrüben ein markant geringerer Ertrag festgestellt.

Die Qualitätsparameter von Winterweizen wurden nur unwesentlich von der Bodenbearbeitung beeinflusst (PRINGAS & KOCH 2004). Lediglich Rohproteingehalt und Sedimentationswert wiesen in den Verfahren mit pflugloser Bodenbearbeitung geringere Werte auf. Der Zuckergehalt von Zuckerrüben war in allen Bodenbearbeitungsverfahren nahezu gleich. Hinsichtlich des Standardmelasseverlustes wiesen die Bodenbearbeitungsverfahren Direktsaat und Pflug tendenziell höhere Werte als Mulch und Locker auf.

Im Produktionsverfahren **Zuckerrübe** führten die Bodenbearbeitungsverfahren Pflug, Locker und Mulch bedingt durch den vergleichbaren Rübenertrag zu ähnlicher Marktleistung (Abb. 1). Demgegenüber verursachte der deutlich niedrigere Rübenertrag im Bodenbearbeitungsverfahren Direktsaat einen deutlichen Rückgang der

Marktleistung. Die variablen Kosten waren auch in den Verfahren Pflug, Locker und Mulch nahezu gleich. Lediglich in Direktsaat stiegen diese, verursacht durch den höheren Herbizidaufwand, geringfügig an. Arbeitskosten und feste Maschinenkosten nahmen mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität kontinuierlich ab. Nach Abzug sämtlicher Kosten wurde der höchste Vergleichsdeckungsbeitrag in den Bodenbearbeitungsverfahren Locker und Mulch erreicht. Dagegen war die **Rentabilität** im Bodenbearbeitungsverfahren Direktsaat deutlich niedriger.

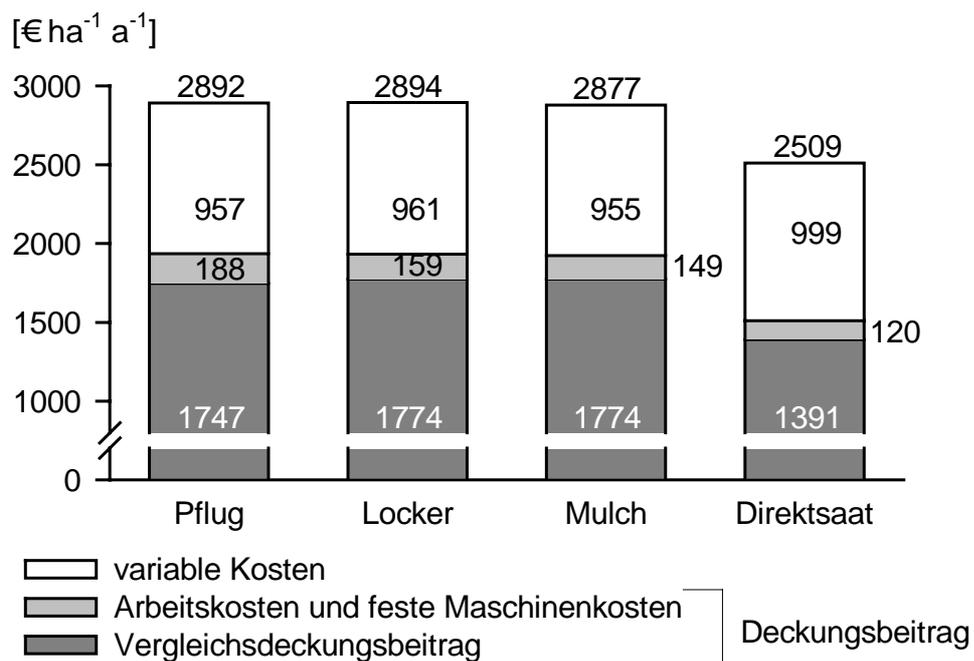


Abb. 1: Marktleistung, Kosten und Deckungs- bzw. Vergleichsdeckungsbeitrag des Produktionsverfahrens Zuckerrübe bei dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung, Mittel über 10 Standorte, 1994-2002, n = 24

Winterweizen nach Zuckerrübe wies im Bodenbearbeitungsverfahren Pflug die höchste Marktleistung auf mit nur geringen Unterschieden gegenüber den übrigen Bodenbearbeitungsverfahren (Abb. 2). Die variablen Verfahrenskosten nahmen durch den geringeren Treibstoffverbrauch bei geringerer Bodenbearbeitungsintensität kontinuierlich ab, ebenso die Arbeits- und festen Maschinenkosten. Die Aufwendungen im Bodenbearbeitungsverfahren Direktsaat wurden dabei gegenüber dem Verfahren Pflug mehr als halbiert. Der Vergleichsdeckungsbeitrag war bei Bodenbearbeitung mit dem Pflug am niedrigsten und stieg mit Verringerung der Bodenbearbeitungsintensität bis zur Direktsaat an.

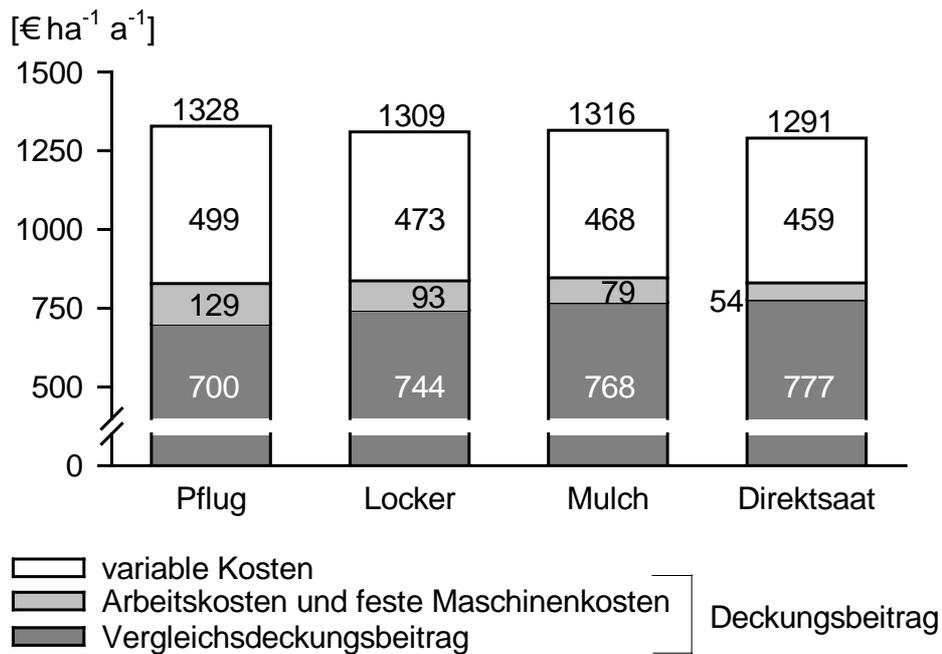


Abb. 2: Marktleistung, Kosten und Deckungs- bzw. Vergleichsdeckungsbeitrag des Produktionsverfahrens Winterweizen nach Vorfrucht Zuckerrübe bei dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung, Mittel über 10 Standorte, 1994-2002, n = 24

Die Marktleistung von **Winterweizen nach Winterweizen** war im Bodenbearbeitungsverfahren Pflug am höchsten mit geringfügigen Unterschieden zu Locker und Mulch und geringen Unterschieden zur Direktsaat (Abb. 3). Die variablen Kosten waren in allen Bodenbearbeitungsverfahren ähnlich. Arbeitskosten und feste Maschinenkosten sanken mit abnehmender Intensität der Bodenbearbeitung. Der Vergleichsdeckungsbeitrag war bei Bodenbearbeitung mit dem Pflug am niedrigsten und stieg leicht mit Verringerung der Bodenbearbeitungsintensität bis zum Bodenbearbeitungsverfahren Mulch an. Bei weiterer Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität nahm die Rentabilität nach Direktsaat geringfügig ab.

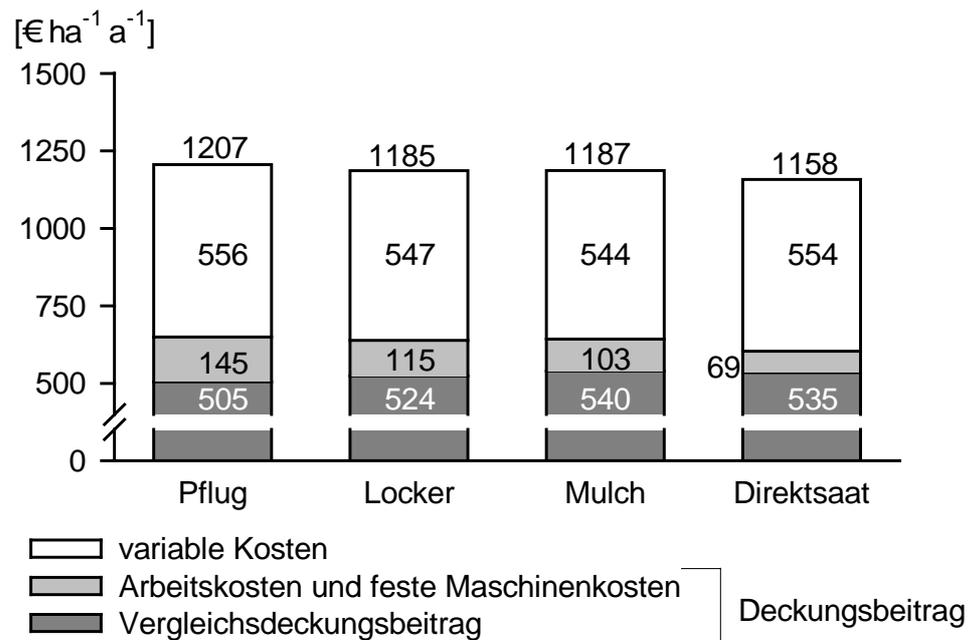


Abb. 3: Marktleistung, Kosten und Deckungs- bzw. Vergleichsdeckungsbeitrag des Produktionsverfahrens Winterweizen nach Vorfrucht Winterweizen bei dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung, Mittel über 10 Standorte, 1994-2002, n = 12

Die mittlere, jährliche Marktleistung der gesamten **Fruchtfolge** war nahezu gleich zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren Pflug, Locker und Mulch mit geringfügigen Vorteilen bei Bodenbearbeitung mit dem Pflug (Tab. 1). Die Direktsaat wies die deutlich niedrigste Marktleistung auf. Bei den variablen Kosten traten für Saatgut keine Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren Pflug, Locker und Mulch auf. Die leicht höheren Kosten nach Direktsaat wurden durch die geringe Ablageentfernung bei der Aussaat von Zuckerrüben hervorgerufen. Kosten für Düngemittel sowie Zinsanspruch und Lohnmaschinen waren in allen Verfahren gleich. Die Pflanzenschutzkosten waren mit Pflugeinsatz am niedrigsten und stiegen mit Verringerung der Bodenbearbeitungsintensität bis zur Direktsaat an. Die höheren Kosten bei Pflugverzicht insbesondere im Bodenbearbeitungsverfahren Direktsaat sind vor allem durch einen höheren Herbizidaufwand im Produktionsverfahren Zuckerrüben entstanden. Der durch Pflugverzicht hervorgerufene Mehraufwand an Pflanzenschutz wurde jedoch durch geringere Aufwendungen an variablen Maschinenkosten sowie festen Maschinen- und Arbeitskosten mehrfach kompensiert, so dass die Summe aller Kosten mit abnehmender Intensität der Bodenbearbeitung ebenfalls abnahm.

Für die Rentabilität der Bodenbearbeitungsverfahren ergibt sich daher folgende zusammenfassende Bewertung in der Rotation: Durch annähernd gleiche Marktleistung bei deutlich geringeren Gesamtkosten wurde für die konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren Mulch und Locker gegenüber dem konventionellen Verfahren Pflug ein höherer Vergleichsdeckungsbeitrag erreicht. Im Bodenbearbeitungsverfahren Direktsaat wurde hingegen der deutlich niedrigste Vergleichsdeckungsbeitrag erzielt. Die Kosteneinsparungen konnten sich aufgrund der gravierend niedrigeren Marktleistung im Produktionsverfahren Zuckerrübe nicht positiv auf die Rentabilität der gesamten Fruchtfolge auswirken.

Tab. 1: Mittlere jährliche Marktleistung, Kosten und Vergleichsdeckungsbeitrag einer Fruchtfolge aus Zuckerrüben, Winterweizen und Winterweizen bei dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung, Mittel über 10 Standorte, 1994-2002, n = 62

Bodenbearbeitungsverfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
	[€ ha ⁻¹ a ⁻¹]			
Marktleistung	1910	1899	1894	1735
Saatgut	119	119	119	124
Düngemittel	140	140	140	140
Pflanzenschutzmittel	181	194	194	219
Zinsanspruch	20	21	21	22
Lohnmaschinen	148	148	148	148
variable Maschinenkosten	81	56	51	34
feste Maschinenkosten	97	79	73	55
Arbeitskosten	59	43	38	27
Gesamtkosten	845	800	784	770
Vergleichsdeckungsbeitrag	1065	1100	1111	966

Pflanzenbau als angewandte **Wissenschaftsdisziplin** muss sich an der praktischen Realität orientieren und sich mit ihr auch messen lassen können. Eine Quantifizierung der Wirkung veränderter Bodenbearbeitungsintensität auf Ertrag und Rentabilität kann deshalb nur in Dauerversuchen auf unterschiedlichen Standorten erfolgen. Aufgrund der Komplexität des methodischen Ansatzes und der Wechselwirkung zu Standort und Jahr ist eine klare Quantifizierung der Wirkung der Bodenbearbeitungsintensität oft erst nach mehreren Rotationen möglich. Eine auf pflanzenbauliche Parameter aufbauende ökonomische Analyse erfordert zudem den Einsatz praxisüblicher Maschinen auf Großflächen.

Auch aus versuchstechnischer und organisatorischer Sicht erfordert die Durchführung von Dauerversuchen einen hohen Aufwand. Aggregierte Aussagen zu langfristigen Auswirkungen der Bodenbearbeitungsintensität beruhen deshalb überwiegend auf Kalkulationen oder Schätzungen aus mehreren Versuchsserien. BAEUMER (1990) formulierte auf mehr als 2 Jahrzehnten Erfahrung im Versuchswesen eine Einschätzung der langfristigen ökonomischen und ökologischen Auswirkung unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren. Darauf Bezug nehmend können nach 9-jähriger Laufzeit aus der vorliegenden Untersuchung Pflanzenertrag und ökonomische Kenngrößen quantifiziert und um das Bodenbearbeitungsverfahren Direktsaat als auch den Primärenergieaufwand ergänzt werden (Abb. 5).

Zur Beurteilung, ob Ziele einer nachhaltigen Entwicklung praktische Umsetzung finden, bedarf es der Nutzung von Indikatoren, geeigneter Mess- oder Schätzmethoden, die Aussagen über den gegenwärtigen Stand einer nachhaltigen Entwicklung und sich abzeichnende Trends ermöglichen (ZIESCHNANK 2002). Bei komplexen Zusammenhängen können Indikatoren teilweise ein nur vereinfachtes Bild wiedergeben, da oftmals die interessierenden Sachverhalte schwer messbar sind (GUTSCHE 1997). Wichtig ist jedoch, dass Indikatoren einfach zu erheben, leicht verständlich und umsetzbar sind.

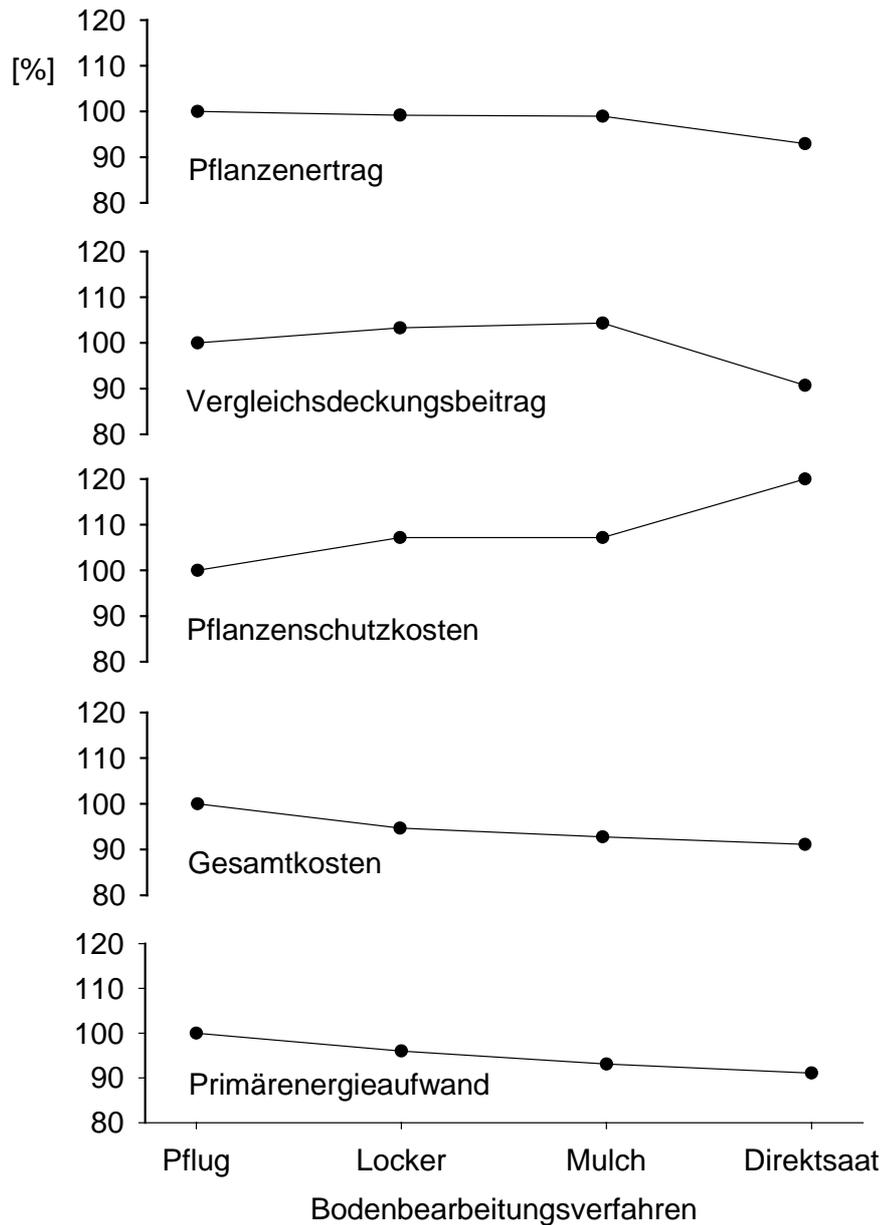


Abb. 5: Auswirkungen dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung auf Pflanzenertrag und ökonomische Kenngrößen einer Fruchtfolge aus Zuckerrüben-Winterweizen-Winterweizen, 1994-2002; relativ, Pflug = 100, n = 62

Der wichtigste Indikator für die ökonomische Bewertung eines Produktionsverfahrens ist der Deckungsbeitrag. Mit konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren, insbesondere Mulchsaat, wurde ein geringfügig höherer Deckungsbeitrag als nach Einsatz des Pfluges erzielt. Dagegen war der Deckungsbeitrag nach Direktsaat deutlich niedriger. Ursache dafür war ein erheblich niedrigerer Ertrag, der durch kontinuierlich sinkende Produktionskosten nicht mehr kompensiert werden konnte. Aus ökonomischer Sicht haben deshalb konservierende Bodenbearbeitungsverfahren mit Mulchsaat hohe Vorzüglichkeit.

Eine ökologische Bewertung unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren kann nur durch mehrere Indikatoren erfolgen. Mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität bis hin zur Direktsaat erhöht sich der Schutz vor flächiger Bodenerosion. Mit zunehmender Hangneigung und Schlaglänge muss deshalb die Bodenbearbeitungsintensität vermindert werden. Es könnte deshalb in ebenem Gelände der Einsatz des Pfluges erfolgen, bei geringer Hangneigung müsste jedoch konservierende Bodenbearbeitung Vorrang haben. In diesem Kontext bleiben Aspekte des Bodenschutzes im Sinne einer Verbesserung von Bodenstruktur und Tragfähigkeit noch unberücksichtigt, da dazu bisher nur erste Ergebnisse vorliegen (BRUNOTTE et al. 2001). Im Fokus zukünftiger Untersuchungen sollte deshalb eine Bewertung dieser Effekte durch unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren stehen (DIECKMANN et al. 2003).

Abnehmende Bodenbearbeitungsintensität ist mit einer stetig sinkenden Nutzung fossiler Energieträger verbunden (WEGENER 2001), gleichzeitig steigt kontinuierlich die Bodenruhe. Daraus kann eine Erhöhung der Artenvielfalt von Flora und Fauna resultieren (GARBE 1987). Die Stabilität von Agrarökosystemen im Sinne der Biodiversität nimmt deshalb mit sinkender Bodenbearbeitungsintensität zu und wird aus gesellschaftlicher Sicht gefordert. Aus Sicht der agrarischen Produktion könnte dagegen eine Erhöhung der floristischen Artenvielfalt auch mit einer Erhöhung des Unkrautdrucks verbunden sein. Dessen Regulierung zieht dann eine höhere Intensität des Pflanzenschutzmitteleinsatzes nach sich, die ökologisch nicht erwünscht ist. Zusammenfassend erscheint deshalb aus ökologischer Sicht der Verzicht auf Direktsaat zu Gunsten von Mulchsaat vertretbar zu sein.

Aus gesellschaftlicher Sicht gewinnt die Produktion unbelasteter Nahrungsmittel zunehmend an Bedeutung. Bei der Produktion von Weizen hat die Kontamination mit Fusarientoxinen hohe Aktualität. Aber auch bei Mulchsaat ist die Produktion unbelasteten Weizens möglich. Dazu ist eine Anpassung der Fruchtfolge (kein Weizen nach Weizen) und die Wahl resistenter Sorten erforderlich.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen zusammenfassend, dass mit Mulchsaat als konservierender Bodenbearbeitung die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion gleichermaßen ökologisch vertretbar und ökonomisch sinnvoll gestaltet werden kann. Für einen fairen Ausgleich zwischen gesellschaftspolitischen Forderungen und betriebswirtschaftlicher Notwendigkeit sollte daher Mulchsaat weitere Verbreitung in der landwirtschaftlichen Praxis erfahren.

Die umfassende Einführung von Mulchsaat in die landwirtschaftliche Praxis erfordert im Vergleich zur Bodenbewirtschaftung mit dem Pflug ein höheres Engagement und breites Wissen des Landwirts bezüglich der höheren Komplexität von Agrarökosystemen mit reduzierter Bodenbearbeitungsintensität. Die Betriebsleiterfähigkeit und dessen Ausbildung beinhaltet somit auch eine soziale Komponente und stellt eine grundlegende Voraussetzung dar, die Ziele einer nachhaltigen Entwicklung der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion in die Praxis umzusetzen.

Abschließend ist deshalb kritisch zu hinterfragen, ob der Anteil Mulchsaat an der Ackerfläche nicht als hoch aggregierter Indikator für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion angesehen werden kann.

VI Literaturverzeichnis

- ANONYMUS, 1988: KTBL-Arbeitsgruppe: Bodenbearbeitung und Bestellung. Definition und Einordnung von Bodenbearbeitungsverfahren. *Landtechnik* **43**, 421-424.
- ANONYMUS, 1992: Umweltpolitik, Agenda 21, Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung. Juni 1992, Rio de Janeiro.
- ANONYMUS, 2000: Grundbuch für eine Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft. Die deutsche Land- und Forstwirtschaft als Modell einer nachhaltigen Entwicklung. Deutscher Bauernverband.
- ARNOLD-REIMER, K., 1994: Einfluß konservierender Bodenbearbeitung auf Pflanzenkrankheiten und Unkräuter im Getreide und Konsequenzen für einen gezielten Pflanzenschutz. Diss., Göttingen.
- BAEUMER, K., 1990: Verfahren und Wirkungen der Bodenbearbeitung. In: DIERCKS, R. & R. HEITFUß [Hrsg.]: Integrierter Landbau – Systeme umweltbewußter Pflanzenproduktion, Grundlagen, Praxiserfahrungen, Entwicklungen. BLV Verlagsgesellschaft, München, 68 - 87.
- BAEUMER, K. & G. PAPE, 1972: Ergebnisse und Aussichten des Anbaus von Zuckerrüben im Ackerbausystem ohne Bodenbearbeitung. *Zucker* **25** (22), 711-718.
- BAEUMER, K., W. EHLERS & G. PAPE, 1971: Erste Erfahrungen im Ackerbau ohne Bodenbearbeitung in Göttingen. *Landw. Forschung*, SH **26/1**, 264-272.
- BBODSCHG, 1998: Gesetz zum Schutz des Bodens. *Bundesgesetzblatt*, Teil I Nr.16, 502-510.
- BBODSCHV, 1999: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. *Bundesgesetzblatt*, Teil I Nr.36, 1554-1582.
- BECKER, C., 1997: Dauerhaft pfluglose Bodenbearbeitungssysteme und Betriebsgröße – eine pflanzenbaulich-ökonomische Analyse –. Diss. Göttingen.
- BECKER, C. & B. MÄRLÄNDER, 1998: Ertrag und Qualität von Zuckerrüben in dauerhaft pfluglosen Bodenbearbeitungssystemen – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen. *Pflanzenbauwissensch.* **2**, 7-15.
- BOARDMAN, J., I.D.L. FOSTER & J.A. DEARING, 1990: Soil erosion on agricultural land. 4. Series.

- BRÄUTIGAM, V., 1990: Einfluß langjährig reduzierter Bearbeitung auf die Unkrautentwicklung und -bekämpfung. Z. Pflanzenkrankh. Pflsch. SH **12**, 219-227.
- BRÄUTIGAM, V., 1994: Einfluß verschiedener Bodenbearbeitungssysteme auf Halm-basiskrankheiten des Getreides und die Unkrautentwicklung. In: TEBRÜGGE, F. & M. DREIER [Hrsg.]: Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristigen Auswirkungen auf den Boden. Fachverlag Fleck, 225-232.
- BRUNOTTE, J., M. WAGNER & C. SOMMER, 2001: Bodenschutz und Kosteneinsparung. Landtechnik **56** (3), 132-133.
- CAMARA, K.M., W.A. PAYNE & P.E. RASMUSSEN, 2003: Long-term effects of tillage, Nitrogen, and rainfall on winter wheat yields in the pacific northwest. Agron.J. **95**, 828-835.
- CANNELL, R.Q., 1985: Reduced Tillage in North-West Europe – A Review. Soil & Tillage Research **5**, 129-177.
- CARTER, M.R., 1994: A review of conservation tillage strategies for humid temperate regions. Soil & Tillage Research **31**, 289-301.
- CHRISTEN, O., 1996: Nachhaltige Landwirtschaft („Sustainable agriculture“) Ideengeschichte, Inhalte, Konsequenzen für Forschung, Lehre und Beratung. Berichte über Landwirtschaft **74**, 66-86.
- DIECKMANN, J., O. TOMANOVÁ, H. MILLER & H.-J. KOCH, 2003: Influence of continuous minimum tillage on soil erodibility. Proceedings of the joint colloquium on Sugar Beet Growing and Modelling, September 12th, 2003, Lille (F).
- DIEZ, T., J. KREITMAYR & H. WEIGELT, 1988: Einfluß langjähriger pflugloser Ackerbewirtschaftung (System HORSCH) auf Pflanzenwachstum, Wirtschaftlichkeit und Boden. Bayer. Landwirtsch. Jb. **65**, 789-812.
- ECCLESTONE, P., 2001: Minimal tillage. Options for economic sugar beet production. British Sugar Beet Review **69** (3), 24-29.
- EGGERS, J. & K. HAGEDORN, 1998: Umwelteffekte und agrarumweltpolitische Ansätze der „Agenda 2000“. Agrarwirtschaft 47 (12), 482-491.
- EHLERS, W., 1992: Reduzierte Bodenbearbeitung – Ökologische Folgen und ackerbauliche Grenzen. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongreßband 1992, 35-58.

- EHRENBERG, P., 1951: Die ersten deutschen ausführlichen Hinweise über Bodenabtrag (Erosion) im landwirtschaftlichen Sinne. Z. Pflernährung, Düngung und Bodenkunde **53** (1), 63-64.
- EICHHORN, H. & W. GRUBER, 1991: Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren – ökonomisch betrachtet. Landtechnik **46**, (1/2), 39-42.
- EL TITI, A., 1997: Die Nicht-wendende Bodenbearbeitung und der Pflanzenschutz. Auswirkungen auf Pflanzenkrankheiten. LU Journal, März 1997, 3-10.
- FRIELINGHAUS, M., G. HÖFLICH, M. JOSCHKO, H. ROGASIK & H. SCHÄFER, 1997: Auswertung eines Langzeitexperimentes zur Konservierenden Bodenbearbeitung von Sandböden und Einschätzung des Erfolgs. Arch. Acker- Pfl. Boden **41**, 383-402.
- FRIELINGHAUS, M., R. BRANDHUBER & W.-A. SCHMIDT, 2001: Vorsorge gegen Boden-erosion im Bodenschutzrecht. Wasser & Boden **53** (9) 25-31.
- GARBE, V., 1987: Verunkrautung und Auftreten von Schädlingen bei unterschiedlichen Systemen der Bodenbearbeitung zu Zuckerrüben. Diss. Göttingen.
- GARBE, V., 1994: Reduzierte Bodenbearbeitung: Wenig Pflanzenschutzprobleme? Pflanzenschutz-Praxis **2**, 25-28.
- GARBE, V., T.-F. PAPE & R. HEITEFUß, 1989: Nach Zuckerrüben-Mulchsaat mehr Col-lembohlen und Wurzelbrand? Pflanzenschutz-Praxis (1), 15-17.
- GEBHARDT, M.R., T.C. DANIEL, E.E. SCHWEITZER & R.R. ALLMARAS, 1985: Conservati-on tillage. Science **230**, 625-630.
- GELDERMANN, U. & K.-H. KOGEL, 2002: Nature's Concept. The 'New agriculture' amidst Ecology, Economy and the Demythologization on the Gene. J. Agronomy & Crop Science **188**, 368-375.
- GROHSE, B., 1950: Bodenerosionskartierung eines typischen Bereiches im mitteldeutschen Lössgebiet. Z. Acker- u. Pflanzenbau **92**, 238-260.
- GROTHAUS, H.-P., E. LADEWIG & W. LÜCKE, 1996: Vergleich von Anbauverfahren mit und ohne Pflug bei Zuckerrüben anhand von Schlagkarteidaten und Anbaustatistiken. Anbautechnik. KTBL- Arbeitspapier **233**, 43-49.
- GUTSCHE, V., 1997: Pflanzenschutzbezogene Indikatoren einer nachhaltigen Landwirtschaft – Probleme und Lösungsansätze. In: ZELLER 1997 [Hrsg.]: Umweltverträg-

liche Pflanzenproduktion: Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen; Fachtagung am 11. und 12. Juli 1996 in Wittenberg, 568-580.

HAMMOND, R.B. & B.R. STINNER, 1987: Seed corn maggots (Diptera: Anthomyiidae) and slugs in conservation tillage systems in Ohio: *Journal of economic Entomology*, **80**, 680-684.

HAMMOND, R.B., 1996: Conservation tillage and slugs in the U.S. corn belt. *BCPC Symposium Proceedings* **66**, 31-38.

KAHNT, G., 1969: Ergebnisse zweijähriger Direktsaatversuche auf drei Bodentypen. *Z. Acker-Pflanzenbau* **129**, 277-295.

KNAB, W. & K. HURLE, 1986: Einfluß der Grundbodenbearbeitung auf die Verunkrautung. – Ein Beitrag zur Prognose der Verunkrautung. – *Proc. EWRS Sympos., Economic Weed Control (Stuttgart-Hohenheim)*, 309-316.

KREYE, H., V. GARBE, G. BARTELS & H.-H. HOPPE, 2000: Intensität der Grundbodenbearbeitung und Schaderregerauftreten in einer Zuckerrüben-Weizen-Weizen-Fruchtfolge. *Zuckerindustrie* **125** (12), 741-745.

LINKE, C., 1995: Pfluglos 100 Hektar am Tag bestellen. *Neue Landwirtschaft*, **5**, 74-76.

MÄRLÄNDER, B., 1978: Wirkung reduzierter Grundbodenbearbeitung auf die Ertragsbildung von Zuckerrüben. *Diss., Göttingen*.

MÄRLÄNDER, B., 1991: Zuckerrüben. Optimierung von Anbauverfahren – Züchtungsfortschritt – Sortenwahl. Ute Bernhardt-Pätzold, Stadthagen.

MÄRLÄNDER, B., C. HOFFMANN, H.-J. KOCH, E. LADEWIG, R. MERKES, J. PETERSEN & N. STOCKFISCH, 2003: Environmental Situation and Yield Performance of the Sugar Beet Crop in Germany: Heading for Sustainable Development. *J. Agronomy & Crop Science* **189**, 201-226.

MERKES, R., M. KRÖHL, H. MUGELE & M. SAUER, 2001: Produktionstechnik zu Zuckerrüben im Jahr 2000 – Kostensenkung, Umweltschonung, Nachhaltigkeit. *Zuckerindustrie* **126** (10), 804-811.

MERKES, R., H. COENEN, F. HESSE & G. SCHÜTZ, 2003: Stand der Produktionstechnik zu Zuckerrüben – Ergebnisse der Umfrage 2002. *Zuckerindustrie* **128** (6), 425-433.

- NEUBAUER, W., 2003: Dauerhafter Pflugverzicht auf Sandböden. Landwirtschaft ohne Pflug (3), 10-15.
- PALLUTT, B., 2002: Maßnahmen zur Unkrautbekämpfung. In: ZWERGER, P. & H.U. AMMON: Unkraut – Ökologie und Bekämpfung. Verlag Eugen Ulmer, 105-117.
- PESANT, A.R., J.L. DIONNE & J. GENEST, 1987: Soil and nutrient losses in surface runoff from conventional and No-till corn systems. Can. J. Soil Sci. **67**, 835-843.
- PRINGAS, C. & H.-J. KOCH, 2004: Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf Ertrag und Qualität von Winterweizen nach unterschiedlichen Vorfrüchten – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen. Pflanzenbauwissensch. **8** (1), 24-33.
- PRINGAS, C. & B. MÄRLÄNDER, 2004: Einfluss konservierender Bodenbearbeitung auf Ertrag, Qualität, Rentabilität und Cercosporabefall von Zuckerrüben – Ergebnisse einer Versuchsserie auf Großflächen. Pflanzenbauwissensch. **8** (2), 84-92.
- PRINGAS, C., H.-K. KOCH & H. MILLER, 2001: Konservierende Bodenbearbeitung – Einfluss auf die Herbizidwirksamkeit? Deutsche Zuckerrübenzeitung **37** (4), 10.
- PRINGAS, C., J. SCHERER & H.-K. KOCH, 2003a: Fusarium, DTR und Ackerschnecken. Getreidemagazin **8** (3), 162-165.
- PRINGAS, C., J. SCHERER & H.-K. KOCH, 2003b: Pfluglose Bodenbearbeitung – Probleme mit Schnecken? Deutsche Zuckerrübenzeitung **39** (3), 9.
- PRINGAS, C., J. SCHERER & H.-K. KOCH, 2003c: Cercospora in Zuckerrüben – Höherer Befall bei pflugloser Bodenbearbeitung? Deutsche Zuckerrübenzeitung **39** (4), 12.
- PRINGAS, C., H.-J. KOCH & B. MÄRLÄNDER, 2004: Einfluss konservierender Bodenbearbeitung in Abhängigkeit von Jahr, Vorfrucht, Sorte und Fungizideinsatz auf den Ährenbefall mit *Fusarium* spp. und den Deoxynivalenolgehalt im Korn von Winterweizen (Publikation vorgesehen).
- RUSSELL, E.W. & B.A. KEEN, 1941: Studies in soil cultivation, X. The results of a six-year cultivation experiment. J. Agric. Sci. Cambridge **31**, 326-347.
- SCHWIND, R., 1938: Der Einfluß von Grubber, Pflug, Klausing-Pflug und Fräse auf Wachstumsbedingungen und Erträge unserer Kulturpflanzen; ein sechsjähriger Bodenbearbeitungsversuch. Landwirtschaftliche Jahrbücher – Z. wiss. Landw. **86**, 928-988.

SKIDMORE, E.L. & F. H. SIDDOWNAY, 1978: Crop residue Requirements to control wind erosion. Crop residue management systems, 17-33.

SOMMER, C., 1999: Konservierende Bodenbearbeitung – ein Konzept zur Lösung agrarrelevanter Bodenschutzprobleme. Bodenschutz **3** (1), 15-25.

SOMMER, C. & M. ZACH, 1993: Grundbodenbearbeitung mit nichtwendender Lockerung. In: KTBL-Arbeitspapier 190: Ergebnisse von Versuchen zur Bodenbearbeitung und Bestellung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt, 35-42.

SOMMER, C., M. ZACH & K. KORTE, 1987: Mit konservierender Bodenbearbeitung mehr Bodenschutz im Zuckerrübenanbau. Die Zuckerrübe **36** (1), 58-63.

SOUKUP, J. & L. HORÁK, 1998. Auswirkungen reduzierter Bodenbearbeitung auf Unkrautflora und Ertrag in Zuckerrüben. Z. PflKrankh. PflSchutz, SH **6**, 581-586.

TEBRÜGGE, F., 1988: Bodenbearbeitungssysteme im mehrjährigen Vergleich. Landtechnik **43** (9), 364-366.

TEBRÜGGE, F. & A. BÖHRNSEN, 1995: Direktsaat. Auswirkungen auf bodenökologische Faktoren und Ökonomie. Landtechnik **50** (1), 6-7.

TEBRÜGGE, F. & H. EICHHORN, 1992: Die ökologischen und ökonomischen Aspekte von Bodenbearbeitungssystemen. In: FRIEBE, B. [Hrsg.]: Wechselwirkungen von Bodenbearbeitungssystemen auf das Ökosystem Boden; Beiträge zum 3. Symposium vom 12.-13. Mai 1992 in Gießen. Wissenschaftl. Fachverlag Dr. Fleck, 7-20.

UNCED, 1992: Agenda 21 [online] <<http://www.un.org/esa/sustdev/agenda21text.htm>>.

VOß, M., 1997: Einfluß einer reduzierten Bodenbearbeitung und Direktsaat auf das Auftreten von Ackerschnecken, die Verunkrautung sowie den Befall mit der Wurzelhals- und Stengelfäule in Winterraps. Diss. Göttingen.

WAGNER, M., 2001: Bodenschutz und Kosteneinsparung – Einführung technischer Lösungskonzepte zur Minderung und Vorbeugung von Bodenschutzproblemen in der Pflanzenproduktion. Diss. Gießen.

WCED - THE WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987: Our Common Future (Brundtland-Commission). Oxford University Press.

WEGENER, U., 2001: Dauerhafte Bodenbearbeitungsverfahren in Zuckerrübenfruchtfolgen – Ertragsbildung, Rentabilität, Energiebilanz und Bodenerosion im Vergleich. Diss. Göttingen.

ZIESCHNANK, R., 2002: Umweltindikatoren im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung. Eine kritische Bestandsaufnahme internationaler und bundesdeutscher Ansätze. ZfU **4**, 477-514.

ANHANG

Der folgende Anhang enthält Angaben, auf die in den vorangegangenen Manuskripten nicht hingewiesen wurde. Im Detail handelt es sich um Informationen zur Fruchtfolge des Bodenbearbeitungsversuchs (Anh. 1), zur Datengrundlage für die ökonomische Auswertung nach KTBL 2002/2003 (Anh. 2 - 4), zur ökonomischen Auswertung für Winterweizen (getrennt nach Vorfrucht Winterweizen und Zuckerrübe) (Anh. 5 - 6) und zu pflanzenbaulichen Kenngrößen von Zuckerrüben und Winterweizen (Anh. 7 - 8). Ebenfalls werden alle pflanzenbauliche Maßnahmen von 2000-2002 (Anh. 9 - 33) sowie die Ergebnisse der DON-Untersuchung aus dem Groß- und Kleinparzellenversuch (Anh. 34 – 35) vorgestellt.

Anh. 1: Fruchtfolge an den Standorten des Bodenbearbeitungsversuchs (1994-2002)
(fett gedruckte Versuche wurden bei der Auswertung berücksichtigt)

Standort	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Gieshügel	WW	Trit.	ZR	WW	WW	ZR	WW	WW	ZR
Grombach	ZR	WW	Kö.E	ZR	WW	SG	ZR	WW	WW
Einsiedel	ZR	WW	Trit.	ZR	WW	WW	ZR	WW	WW
Insultheim	WW	ZR	WW	SG	ZR	WW	WW	ZR	WW
Sailtheim	SG	ZR	WW	WW	ZR	SW	WW	ZR	WW
Tüchelhausen	Still.	ZR	WW	SG	ZR	SW	-	-	-
Friemar	ZR	WW	Kö.E	ZR	WW	SG	ZR	WW	WW
Lüttewitz	AB	WW	ZR	WW	SG	ZR	WW	WW	ZR
Salzmünde	WW	Kö.E	ZR	WW	WW	ZR	WW	WW	ZR
Zschortau				WW	Trit.	ZR	WW	WG	ZR

ZR = Zuckerrüben, WW = Winterweizen, SW = Sommerweizen, SG = Sommergerste, Trit. = Triticale
Kö.E = Körnererbsen, AB = Ackerbohnen, Still. = Flächenstilllegung

Anh. 2: Variable Kosten verschiedener Maschinen und Geräte an den Standorten Grombach und Einsiedel (Schlaggröße 5 ha) nach KTBL (2002).

Gerät	Leistungs-		Sh- Bedarf	variable Maschinenkosten			
	AB	bedarf		Schlepper		Gerät	gesamt
	[m]	[kW]	[Sh ha ⁻¹]	[EUR Sh ⁻¹]	[EUR ha ⁻¹]	[EUR ha ⁻¹]	[EUR ha ⁻¹]
Scheibenegge	4,0	120	0,48	13,78	6,61	6,50	13,11
Spatenrollegge	4,5	120	0,30	13,78	4,13	4,50	8,63
Schwergrubber	4,0	140	0,42	15,32	6,43	5,00	11,43
Tiefenlockerer	3,0	120	0,83	13,78	11,44	3,50	14,94
Pflug	1,4	119	1,64	13,78	22,60	11,00	33,60
Saatbettkombination	5,0	100	0,35	12,19	4,27	4,00	8,27
Kreiselegge	4,0	120	0,63	13,78	8,68	6,00	14,68
Kreiselegge mit Drillma.	4,0	120	0,80	13,78	11,02	9,39	20,41
Dutzigerät	3,0	120	0,86	13,78	11,85	5,00	16,85
Drillmaschine	4,0	70	0,65	9,06	5,89	2,50	8,39
Direktsaatmaschine	3,0	72	0,40	9,06	3,62	12,00	15,62
Walze	6,0	72	0,37	9,06	3,35	1,50	4,85
Einzelkornsäugerät	5,4	65	0,53	9,06	4,80	9,00	13,80
Pflanzenschutzspritze	24,0	90	0,16	10,54	1,69	0,50	2,19
Düngerstreuer	24,0	90	0,09	10,54	0,95	0,70	1,65
Mulchgerät	3,0	90	0,60	10,54	6,32	5,20	11,52

Anh. 3: Variable Kosten verschiedener Maschinen und Geräte an den Standorten Gieshügel, Insultheim und Sailtheim (Schlaggröße 5 ha) nach KTBL (2002).

Gerät	Leistungs-		Sh- Bedarf [Sh ha ⁻¹]	variable Maschinenkosten			
	AB [m]	bedarf [kW]		Schlepper		Gerät	gesamt
			[EUR Sh ⁻¹]	[EUR ha ⁻¹]	[EUR ha ⁻¹]	[EUR ha ⁻¹]	
Scheibenegge	4,0	120	0,53	13,78	7,30	6,50	13,80
Spatenrollegge	4,5	117	0,33	13,78	4,55	4,50	9,05
Schwergrubber	4,0	140	0,46	15,32	7,05	5,00	12,05
Tiefenlockerer	3,0	120	0,91	13,78	12,54	3,50	16,04
Pflug	1,4	119	1,80	13,78	24,80	11,00	35,80
Saatbettkombination	5,0	100	0,39	12,19	4,75	4,00	8,75
Kreiselegge	4,0	120	0,69	13,78	9,51	6,00	15,51
Kreiselegge mit Drillma.	4,0	120	0,88	13,78	12,13	9,40	21,53
Dutzigerät	3,0	120	0,95	13,78	13,09	5,00	18,09
Drillmaschine	4,0	70	0,72	9,06	6,52	2,50	9,02
Direktsaatmaschine	3,0	72	0,44	9,06	3,99	12,00	15,99
Walze	6,0	72	0,41	9,06	3,71	1,50	5,21
Einzelkornsäugerät	5,4	65	0,53	9,06	4,80	9,00	13,80
Pflanzenschutzspritze	24,0	90	0,16	10,54	1,69	0,50	2,19
Düngerstreuer	24,0	90	0,09	10,54	0,95	0,70	1,65
Mulchgerät	3,0	90	0,60	10,54	6,32	5,20	11,52

Anh. 4: Variable Kosten verschiedener Maschinen und Geräte an den Standorten Friemar, Lüttewitz, Salzmünde und Zschortau und Einsiedel (Schlaggröße 20 ha) nach KTBL (2002).

Gerät	Leistungs-		Sh- Bedarf [Sh ha ⁻¹]	variable Maschinenkosten			
	AB [m]	bedarf [kW]		Schlepper		Gerät	gesamt
			[EUR Sh ⁻¹]	[EUR ha ⁻¹]	[EUR ha ⁻¹]	[EUR ha ⁻¹]	
Scheibenegge	6,0	180	0,29	18,66	5,41	6,50	11,91
Spatenrollegge	6,5	156	0,19	17,02	3,23	4,50	7,73
Schwergrubber	6,0	180	0,25	18,66	4,67	5,00	9,67
Tiefenlockerer	3,0	120	0,79	13,78	10,89	3,50	14,39
Pflug	2,5	168	0,93	18,66	17,35	11,00	28,35
Saatbettkombination	8,0	160	0,20	17,02	3,40	4,50	7,90
Kreiselegge	6,0	180	0,39	18,66	7,28	6,00	13,28
Kreiselegge mit Drillma.	6,0	180	0,50	18,66	9,33	8,38	17,71
Dutzigerät	4,0	160	0,61	17,02	10,38	5,00	15,38
Drillmaschine	6,0	105	0,41	12,19	5,00	2,50	7,50
Direktsaatmaschine	6,0	144	0,25	15,32	3,83	12,00	15,83
Walze	12,0	144	0,18	15,32	2,76	1,50	4,26
Einzelkornsäugerät	5,4	65	0,53	9,06	4,80	9,00	13,80
Pflanzenschutzspritze	24,0	90	0,16	10,54	1,69	0,50	2,19
Düngerstreuer	24,0	90	0,09	10,54	0,95	0,70	1,65
Mulchgerät	3,0	90	0,60	10,54	6,32	5,20	11,52

Anh. 5: Marktleistung, Kosten und Deckungsbeitrag des Produktionsverfahrens Winterweizen nach Vorfrucht Winterweizen bei dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung, Mittel über 10 Standorte, 1994 – 2002, n = 12

Bodenbearbeitungsverfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
	[EUR ha ⁻¹ a ⁻¹]			
Marktleistung	1207	1185	1199	1158
Saatgut	69	69	69	79
Düngemittel	136	136	136	136
Pflanzenschutzmittel	146	159	161	180
Zinsanspruch	15	16	16	17
Lohnmaschinen	112	112	112	112
variable Maschinenkosten	77	54	49	28
feste Maschinenkosten	89	75	68	48
Arbeitskosten	56	40	35	21
Gesamtkosten	702	661	648	623
Vergleichsdeckungsbeitrag	505	524	540	535

Anh. 6: Marktleistung, Kosten und Deckungsbeitrag des Produktionsverfahrens Winterweizen nach Vorfrucht Zuckerrübe bei dauerhaft differenzierter Bodenbearbeitung, Mittel über 10 Standorte, 1994 – 2002, n = 24

Bodenbearbeitungsverfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
	[EUR ha ⁻¹ a ⁻¹]			
Marktleistung	1328	1309	1316	1291
Saatgut	66	66	66	66
Düngemittel	134	134	134	134
Pflanzenschutzmittel	105	106	107	111
Zinsanspruch	14	14	14	14
Lohnmaschinen	112	112	112	112
variable Maschinenkosten	68	42	35	21
feste Maschinenkosten	80	61	53	37
Arbeitskosten	49	32	26	17
Gesamtkosten	628	565	548	513
Vergleichsdeckungsbeitrag	700	744	768	777

Anh. 7: Mulchdeckungsgrad (MDG) [%], Bestandesdichte (BD) [1000 Pfl. ha⁻¹], Rübenertrag (RE) [t ha⁻¹], Zuckergehalt (ZG) [%], Kalium (K) [mmol kg⁻¹ R.], Natrium (Na) [mmol kg R.⁻¹], Amino-Stickstoffgehalt (AmN) [mmol kg R.⁻¹], Standardmelasseverlust (SMV) [%] und Bereinigter Zuckerertrag (BZE) [t ha⁻¹] von Zuckerrüben an unterschiedlichen Standorten bei langjährig differenzierter Bodenbearbeitung, 2000-2002

Jahr	Standort	BBV	MDG	BD	RE	ZG	K	Na	AmN	SMV	BZE
2000	Grombach	Pflug	0,7	77	71,8	16,9	35,6	5,5	7,9	1,2	10,8
		Locker	7,4	89	80,9	16,8	34,4	5,7	8,7	1,2	12,1
		Mulch	11,7	96	82,2	16,9	33,8	5,4	8,8	1,2	12,4
		Direktsaat	25,6	92	76,5	16,9	36,6	5,6	9,2	1,2	11,5
2000	Friemar	Pflug	0,6	86	71,1	18,2	29,6	5,9	10,4	1,2	11,7
		Locker	10,3	90	65,5	18,8	27,6	5,0	10,0	1,1	11,2
		Mulch	12,0	82	63,4	18,8	27,5	5,3	10,4	1,1	10,8
		Direktsaat	40,6	63	53,9	18,5	31,8	5,8	13,5	1,3	9,0
2001	Insultheim	Pflug	1,0	101	47,4	16,7	31,5	9,4	8,0	1,2	7,1
		Locker	21,0	91	50,2	16,7	35,8	11,2	9,1	1,3	7,4
		Mulch	20,0	87	44,8	16,9	36,1	9,5	9,5	1,3	6,7
		Direktsaat	30,0	74	42,8	16,9	37,1	9,5	9,5	1,3	6,4
2001	Sailtheim	Pflug	2,0	84	49,0	17,4	37,6	5,9	20,2	1,5	7,5
		Locker	11,0	64	50,0	17,5	44,1	6,7	19,1	1,6	7,7
		Mulch	13,0	74	51,0	17,3	42,3	8,2	14,6	1,4	7,8
		Direktsaat	35,0	66	45,8	17,1	49,5	7,4	18,8	1,6	6,8
2002	Gieshügel	Pflug	1,0	96	69,6	19,3	40,7	3,2	7,8	1,2	12,1
		Locker	7,0	91	66,5	19,3	37,8	3,8	9,0	1,2	11,6
		Mulch	8,0	87	67,3	19,3	37,3	3,4	8,5	1,2	11,8
		Direktsaat	27,0	83	56,4	19,3	42,5	3,1	8,8	1,2	9,8
2002	Lüttewitz	Pflug	1,0	110	63,3	17,3	36,5	4,3	11,8	1,3	9,8
		Locker	9,0	94	65,7	17,9	37,9	3,6	16,4	1,4	10,4
		Mulch	11,0	87	64,8	17,6	34,5	3,8	17,6	1,4	10,1
		Direktsaat	30,0	82	60,4	17,4	35,3	4,3	14,3	1,3	9,4
2002	Zschortau	Pflug	1,0	103	68,7	18,2	40,5	4,0	16,9	1,4	11,1
		Locker	11,0	101	70,8	18,4	40,9	3,0	14,3	1,4	11,5
		Mulch	11,0	100	73,7	18,4	41,1	3,0	14,0	1,4	12,1
		Direktsaat	30,0	69	56,1	17,9	39,2	4,5	16,9	1,4	8,9

Anh. 8: Pflanzendichte (PD) [Pfl. m⁻²], Kornertrag (KE) [t ha⁻¹], Ährendichte (ÄD) [Ähren m⁻²], Kornzahl pro Ähre (KÄ) [Kö. Ähre⁻¹], Tausendkornmasse (TKM) [g 1000⁻¹ Kö.], Proteingehalt (Pro) [%], Sedimentationswert (Sed) und Fallzahl (Fal) [s] von Winterweizen an unterschiedlichen Standorten bei langjährig differenzierter Bodenbearbeitung, 2000-2002

Jahr	Standort	BBV	PD	KE	ÄD	KÄ	TKM	Pro	Sed	Fal
2000	Gieshügel	Pflug	255	6,8	444	30	51,0	13,0	54	308
		Locker	260	6,8	410	36	45,9	13,7	48	263
		Mulch	251	7,2	437	31	53,1	13,2	50	306
		Direktsaat	201	6,2	384	35	45,8	13,9	57	261
2000	Insultheim	Pflug	164	6,9	380	36	50,0	11,1	36	298
		Locker	162	7,0	356	41	48,0	10,2	30	280
		Mulch	136	7,1	378	39	47,6	9,6	n.g.	283
		Direktsaat	123	6,4	322	40	49,0	10,5	31	273
2000	Sailtheim	Pflug	274	6,6	431	29	51,9	9,9	32	161
		Locker	265	6,7	463	28	52,0	9,8	32	183
		Mulch	297	6,9	453	30	50,7	9,5	31	262
		Direktsaat	239	6,8	462	28	51,5	11,2	33	283
2000	Lüttewitz	Pflug	263	8,9	482	29	63,8	11,6	35	231
		Locker	263	8,4	475	28	62,8	11,8	39	198
		Mulch	258	8,3	436	31	62,2	12,4	38	168
		Direktsaat	214	8,0	433	29	64,2	12,2	40	214
2000	Salzmünde	Pflug	297	4,7	483	23	42,1	14,9	80	317
		Locker	294	4,8	465	23	44,0	13,9	64	284
		Mulch	289	4,7	449	25	42,7	14,0	65	311
		Direktsaat	267	5,0	430	27	43,2	13,9	66	301
2000	Zschortau	Pflug	191	8,3	479	36	48,4	12,4	38	226
		Locker	204	8,7	466	41	45,6	11,7	32	230
		Mulch	186	8,7	486	38	47,0	11,4	31	242
		Direktsaat	167	8,3	488	37	45,7	11,9	33	197
2001	Gieshügel	Pflug	243	8,2	457	38	47,3	13,9	37	295
		Locker	221	7,7	443	43	40,5	14,2	34	243
		Mulch	221	7,7	438	39	45,7	13,8	34	272
		Direktsaat	201	7,1	385	42	44,0	14,3	43	261
2001	Grombach	Pflug	236	9,2	384	52	46,2	12,0	46	360
		Locker	248	8,8	404	45	48,0	10,5	31	396
		Mulch	251	8,8	390	48	47,2	10,6	33	392
		Direktsaat	230	8,2	375	44	49,4	11,2	37	374

Fortsetzung Anh. 8

Jahr	Standort	BBV	BD	KE	ÄD	KÄ	TKM	Pro	Sed	Fal
2001	Einsiedel	Pflug	246	9,5	442	43	49,9	13,0	41	353
		Locker	229	9,0	424	41	51,1	12,2	36	328
		Mulch	239	9,1	463	37	52,6	12,4	38	328
		Direktsaat	213	8,9	447	37	53,2	12,7	41	324
2001	Friemar	Pflug	335	8,6	454	41	46,2	13,0	44	410
		Locker	323	8,8	473	38	49,1	12,5	40	381
		Mulch	331	9,2	474	42	46,2	12,6	40	401
		Direktsaat	282	8,6	464	41	44,9	12,0	36	378
2001	Lüttewitz	Pflug	197	7,7	466	32	51,4	12,8	32	345
		Locker	166	7,3	444	35	47,4	12,6	34	326
		Mulch	175	7,5	423	37	48,5	13,0	28	358
		Direktsaat	152	7,1	383	38	48,7	13,6	31	362
2001	Salzmünde	Pflug	261	7,8	527	31	47,8	12,6	45	376
		Locker	257	6,8	446	35	44,0	12,7	43	375
		Mulch	254	6,8	433	35	44,3	12,2	42	361
		Direktsaat	260	7,3	474	33	46,8	12,4	42	334
2002	Grombach	Pflug	186	6,4	434	33	44,3	13,4	40	299
		Locker	163	7,1	386	41	44,2	12,6	37	314
		Mulch	159	6,6	386	40	43,0	12,2	35	323
		Direktsaat	102	6,1	352	41	42,2	12,8	36	337
2002	Einsiedel	Pflug	277	8,3	444	41	45,0	13,8	39	279
		Locker	266	7,3	371	43	45,5	13,5	38	270
		Mulch	274	7,2	392	44	42,2	13,2	38	273
		Direktsaat	222	7,1	390	42	43,5	13,5	41	300
2002	Insultheim	Pflug	263	7,5	442	38	44,4	12,6	40	287
		Locker	259	7,6	435	38	45,6	12,8	39	334
		Mulch	234	7,6	413	44	42,2	12,4	36	252
		Direktsaat	252	7,6	424	39	46,1	11,3	34	225
2002	Sailtheim	Pflug	275	7,7	398	38	50,2	12,3	38	289
		Locker	270	8,2	380	43	50,2	11,5	37	307
		Mulch	258	7,8	413	38	49,0	11,0	35	301
		Direktsaat	279	7,4	354	50	41,3	11,5	33	293
2002	Friemar	Pflug	303	5,4	493	27	41,1	15,8	50	85
		Locker	250	6,4	465	34	40,0	14,9	45	149
		Mulch	265	6,5	497	30	43,4	15,0	48	121
		Direktsaat	225	6,5	437	34	43,3	14,5	41	212

Anh. 9: Standort Gieshügel, Ackerschlagkartei 2000
 Fruchtart: Winterweizen (Sorte Ibis), Vorfrucht Zuckerrüben
 Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 07.10.1999	Dutzi 11.10.1999	--	--
Saatbettbereitung:	Rototiller 08.11.1999	--	--	--
Saatbettbereitung:	Kreiselegge (KE) 11.10.1999	--	Horsch-Grubber 11.10.1999	--
Aussaat: 330 Kö. m ⁻²	KE/Drillma.	KE/Drillma. 12.10.1999	KE/Drillma.	Amazone NT
Düngung:	17.03.2000	70 kg N (KAS)		
	28.04.2000	51 kg N (KAS)		
	25.05.2000	55 kg N (KAS)		
Pflanzenschutz:	200 g Husar + 03.04.2000	10 g Hoestar + 27.03.2000	1 l Duplosan KV + 03.04.2000	0,7 l CCC 720 27.03.2000
	03.05.2000	2 l Duplosan DP + 0,5 l Starane		
	08.05.2000	0,75 l Juwel Top + 0,25 l Corbel + 0,40 l Topik		
Ernte:	10.08.2000			

Anh. 10: Standort Insultheim, Ackerschlagkartei 2000

Fruchtart: Winterweizen (Sorte Ibis), Vorfrucht Winterweizen

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:	Grubber 02.08.1999	Grubber, tief 02.08.1999	Grubber 02.08.1999	--
Stoppelnachbearbeitung:	--	Grubber 14.10.1999	--	--
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 15.09.1999	--	--	--
Aussaats: 330 Kö. m ⁻²	KE/Drillma.	KE/Drillma. 15.10.1999	KE/Drillma.	Kuhn-DSM
Nachsaat: 330 Kö. m ⁻²	--	--	--	Kuhn-DSM 16.11.1999
Düngung	17.03.2000 07.04.2000 04.05.2000	41kg N (Harnstoff) 46 kg N (Harnstoff) 15 kg N (Harnstoff)		
Pflanzenschutz:	30.08.1999	2 l Roundup Ultra		
	07.04.2000	30 g Hoestar + 20 g Pointer + 0,3 l CCC 720		
	09.03.2000	7,8 kg Pro-Limax (Molluskizid)		
	04.05.2000	1 l Sportak alpha		
	18.05.2000	0,6 l Amistar + 0,6 l Gladio+ 0,21 l E 605 forte		
Ernte:		23.07.2000		

Anh. 11: Standort Sailtheim, Ackerschlagkartei 2000

Fruchtart: Winterweizen (Sorte Aristos), Vorfrucht Winterweizen

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:	Scheibenegge 25.08.1999	Kurzgrubber, tief 25.08.1999	Scheibenegge 25.08.1999	--
Stoppelnachbearbeitung:	--	Scheibenegge 24.09.1999	--	--
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 24.09.1999	--	--	--
Saatbettbereitung:	Kreiselegge 24.9.1999	--	--	--
Aussaat: 320 Kö. m ⁻²	KE/Drillma.	KE/Drillma. 29.9.1999	KE/Drillma.	Amazone NT
Düngung:	06.03.2000 20.04.2000 16.05.2000	51 kg N (KAS) 51 kg N (KAS) 43 kg N (KAS)		
Pflanzenschutz:	21.03.2000	--	1 kg Casit F 2 kg Casit F	4 kg Casit F nesterweise Applikation per Hand (Gesamtmenge)
	05.04.2000	--	--	15 kg Casit F nesterweise Applikation per Hand (Gesamtmenge)
	10.04.2000		0,82 kg Platform S + 30,9 g Refine extra	
	17.04.2000		0,4 l Topik + 0,7 l CCC 720	
	19.04.2000		0,5 l Amistar + 0,4 l Gladio	
	23.05.2000		0,55 l Amistar + 0,55 l Gladio + 0,15 l Karate	
Ernte:		10.08.2000		

Anh. 12: Standort Lüttewitz, Ackerschlagkartei 2000

Fruchtart: Winterweizen (Sorte Asketis), Vorfrucht Zuckerrüben

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 19.10.1999	Grubber, tief 20.10.1999	--	--
Saatbettbereitung:	Grubber 20.10.1999	--	Grubber 20.10.1999	--
Aussaat: 300 Kö. m ⁻²		J.-Deere 750 A 20./21.10.1999		
Düngung:				
	07.04.2000	44 kg N (AHL)		
	29.04.2000	50 kg N (AHL)		
	19.05.2000	59 kg N (AHL)		
	02.06.2000	11 kg N (AHL)		
Pflanzenschutz:				
	07.04.2000	45 g Concert + 20 g Hoestar + 1,2 l CCC 720		
	02.06.2000	0,75 l Juwel Top + 0,15 l Karate		
Ernte:		14.08.2000		

Anh. 13: Standort Salzmünde, Ackerschlagkartei 2000

Fruchtart: Winterweizen (Sorte Aristos), Vorfrucht Zuckerrüben

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Blatteinarbeitung:	--	--	2 x Grubber 23.10.1999	--
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 23.10.1999	Dutzi 23.10.1999	--	--
Saatbettbereitung:	2 x Germinator 23.10.1999	--	Germinator 23.10.1999	--
Aussaat: 380 Kö. m ⁻²		Horsch-Airseeder 23.10.1999		
Düngung:				
	23.03.2000	46 kg N (KAS)		
	13.04.2000	46 kg N (KAS)		
	11.05.2000	45 kg N (KAS) 6 kg N (Harnstoff)		
Pflanzenschutz:				
	10.04.2000	1 l CCC 720 + 20 g Hoestar + 0,18 l Hydra		
Ernte:		26.07.2000		

Anh. 14: Standort Zschortau, Ackerschlagkartei 2000

Fruchtart: Winterweizen (Sorte Bandit), Vorfrucht Zuckerrüben

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 13.10.1999	Grubber, tief 13.10.1999	--	---
Saatbettbereitung:	2 x Spatenrollegge Grubber 13.10.1999	--	Grubber 13.10.1999	--
Aussaat: 300 Kö. m ⁻²		Väderstad-Rapid 13.10.1999		
Düngung:	22.03.2000 03.05.2000 05.04.2000		54 kg N (KAS) 41 kg N (KAS) 20 kg N (Harnstoff)	
Pflanzenschutz:	05.04.2000	1,5 l IPU + 15 g Hoestar + 0,15 l Lotus + 1 l CCC 720		
	16.05.2000	0,5 l Juwel Top		
	25.05.2000	0,5 l Juwel Top + 0,15 l Karate		
Ernte:		08.08.2000		

Anh. 15: Standort Gieshügel, Ackerschlagkartei 2001

Fruchtart: Winterweizen (Sorte History), Vorfrucht Winterweizen

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Grundboden- bearbeitung:	Pflug 12.09.2000	--	--	--
Einebnung:	Dutzi 14.09.2000	--	--	--
Stoppelbearbeitung:	--	Grubber, tief 14.09.2000	Grubber	--
Saatbettbereitung:	Kreiselegge 20.09.2000	--	--	--
Saatbettbereitung:	Kreiselegge 05.10.2000	--	--	--
Aussaat: 330 Kö. m ⁻²	Drillmaschine	Drillmaschine 23.-24.10.2000	Drillmaschine	DSM
Düngung:	02.04.2001 08.05.2001 29.05.2001	71 kg N (KAS) 57 kg N (KAS) 52 kg N (KAS)		
Pflanzenschutz:	31.08.2000	4 l Durano + 0,5 l Starane		
	05.10.2000	--	--	3 l Roundup Ultra
	24.10.2000	--	--	6 kg Schne- ckenkorn
	20.04.2001	15 g Hoestar + 30 g Refine Extra + 0,15 l Lotus + 0,75 l CCC 720		
	21.05.2001	0,6 l Amistar + 0,6 l Gladio + 0,3 l Camposan Extra		
Ernte:	02.08.2001			

Anh. 16: Standort Grombach, Ackerschlagkartei 2001
 Fruchtart: Winterweizen (Sorte Dekan), Vorfrucht Zuckerrübe
 Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 15.10.2000	--	--	--
Stoppelbearbeitung:	--	Grubber, tief 15.10.2000	Grubber	--
Aussaat: 300 Kö. m ⁻²	KE/Drillma.	KE/Drillma. 24.10.2000	KE/Drillma.	DSM 23.10.00
Düngung:				
03.04.2001		72 kg N (KAS)		
05.05.2001		43 kg N (KAS)		
06.06.2001		59 kg N (KAS)		
Pflanzenschutz:				
04.04.2001	3 l IPU 40 g Concert 20 g Hoestar 0,6 l CCC	60 g Lexus Class 0,3 l Topik -- 0,6 l CCC	60 g Lexus Class 0,3 l Topik -- 0,6 l CCC	3 l IPU 40 g Concert 20 g Hoestar 0,6 l CCC
15.05.2001		0,5 l Juwel Top + 0,25 l CCC 720		
30.05.2001	0,8 l Starane 1,2 l U 46 M	-- --	-- --	0,8 l Starane 1,2 l U 46 M
01.06.2001	0,5 l Juwel Top + 0,5 l Matador 300 + 150 g Karate WG			
Ernte:	27.07.2001			

Anh. 17: Standort Einsiedel, Ackerschlagkartei 2001

Fruchtart: Winterweizen (Sorte Ludwig), Vorfrucht Zuckerrübe

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 22.10.2000	--	--	--
Stoppelbearbeitung:	--	Grubber, tief 20.10.2000	Grubber	--
Aussaart: 400 Kö. m ⁻²	KE/Drillma.	KE/Drillma. 23.-24.10.2000	KE/Drillma.	DSM
Düngung:				
02.04.2001		60 kg N (KAS)		
03.05.2001		42 kg N (KAS)		
21.05.2001		70 kg N (KAS)		
Pflanzenschutz:				
18.04.2001		60 g Concert 20 g Hoestar 0,1 l Lotus 0,5 l CCC 720		60 g Concert 20 g Hoestar 0,1 l Lotus, 2 l IPU 0,5 l CCC 720
25.05.2001		0,75 l Juwel Top + 0,2 l Camposan Extra		
Ernte:		09.08.2001		

Anh. 18: Standort Friemar, Ackerschlagkartei 2001

Fruchtart: Winterweizen (Sorte Aron), Vorfrucht Zuckerrübe

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Bodenbearbeitung:	Pflug	Grubber, tief 23.10.2000	Grubber	-- --
Aussaart: 360 Kö. m ⁻²	KE/Drillma.	KE/Drillma. 24.10.2000	KE/Drillma.	DSM
Düngung:				
20.03.2001		80 kg N (KAS)		
30.04.2001		43 kg N (KAS)		
05.06.2001		70 kg N (KAS)		
Pflanzenschutz:				
12.04.2001		78 g Concert + 20 g Hoestar + 1 l CCC 720		
30.04.2001		0,44 l CCC 720		
06.06.2001		0,7 l Amistar + 0,3 l Juwel Top + 0,3 l Corbel + 0,12 l Camposan Extra + 0,25 l CCC 720		
Ernte:		25.08.2001		

Anh. 19: Standort Lüttewitz, Ackerschlagkartei 2001

Fruchtart: Winterweizen (Sorte Petrus), Vorfrucht Winterweizen

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:		Grubber 16.08.2000		--
Stoppelnachbearbeitung:	-	Grubber, tief 27.09.2000	Grubber	--
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 27.09.2000	--	--	--
Aussaat: 280 Kö. m ⁻²		DSM 29.09.2000		
Neuaussaat (Teilfläche): 350 Kö. m ⁻²	--	--	--	DSM 30.11.2000
Düngung:				
05.04.2001		40 kg N (AHL)		
20.04.2001		20 kg N (KAS)		
26.04.2001		60 kg N (AHL)		
30.05.2001		60 kg N (AHL)		
Pflanzenschutz				
15.09.2000		4,5 l Glyphos		
05.04.2001	50 g Concert + 15 g Hoestar + 0,1 l Lotus + 1,2 l CCC 720			
26.04.2001		0,5 l CCC 720		
27.04.2001		0,3 l Juwel Top + 0,3 l Unix		
17.05.2001	0,5 l Amistar + 0,5 l Juwel Top + 0,15 l Camposan Extra			
Ernte:		16.08.2001		

Anh. 20: Standort Salzmünde, Ackerschlagkartei 2001
 Fruchtart: Winterweizen (Sorte Asketis), Vorfrucht Winterweizen
 Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:		Grubber 26.07.2000		--
Stoppelbearbeitung:	--	Grubber, tief 28.09.2000	Grubber	--
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 28.09.2000	--	--	--
Saatbettbereitung:	Germinator	Spatenrollegge 29.09.2000	Spatenrollegge	--
Aussaat: 300 Kö. m ⁻²		Horsch-Airseeder 29.09.2000		
Düngung:				
	04.04.2001	31 kg N (KAS)		
	02.04.2001	10,12 kg N (Harnstoff)		
	11.04.2001	55 kg N (KAS)		
	10.05.2001	4 kg N (Harnstoff)		
Pflanzenschutz:				
	15.09.2000	3 l Roundup Ultra + 0,5 l Rako Binol		
	02.04.2001	12 g Hoestar + 0,22 l Lotus + 1,1 l Duplosan DP + 0,85 l CCC 720		
	10.05.2001	0,57 l Amistar + 0,57 l Simbo + 14,9 g Pointer + 15 g Hoestar + 0,34 l CCC 720 + 0,21 l Camposan Extra		
Ernte:		16.08.2001		

Anh. 21: Standort Zschortau, Ackerschlagkartei 2001
 Fruchtart: Wintergerste (Sorte Sahara), Vorfrucht Winterweizen
 Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:		Spatenrollegge 09.08.2000		--
Stoppelnachbearbeitung:		Grubber 08.09.2000		--
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 20.09.2001	--	--	--
Saatbettbereitung:	Germinator	Grubber, tief 21.09.2001	Grubber	--
Aussaat: 300 Kö. m ⁻²		Väderstad 21.09.2000		
Düngung:	19.03.2001 20.04.2001 19.05.2001	40 kg N (KAS) 20 kg N (Harnstoff) 40 kg N (KAS)		
Pflanzenschutz:	18.09.2000 20.04.2001 09.05.2001	3 l Roundup Ultra 0,5 l Opus Top + 0,5 l Amistar 0,5 l Camposan Extra + 0,5 l Amistar + 0,3 l Juwel Top		
Ernte:		18.07.2001		

Anh. 22: Standort Grombach, Ackerschlagkartei 2002

Fruchtart: Winterweizen (Sorte Petrus), Vorfrucht Winterweizen

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:		Spatenrollegge 27.07.2001		--
Stoppelbearbeitung:	--	Grubber (tief) 29.10.2001	Grubber	--
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 29.10.2001	--	--	--
Aussaat: 300 Kö. m ⁻² in P, L und M 350 Kö. m ⁻² in D	KE/Drillma.	KE/Drillma. 29.10.2001	KE/Drillma.	DSM
Düngung:				
07.03.2002		76 kg N (KAS)		
12.04.2002		47 kg N (KAS)		
06.06.2002		58 kg N (KAS)		
Pflanzenschutz:				
10.10.2001	--		5 l Clinic	
03.04.2002	--	80 g Attribut	80 g Attribut	3 l IPU
26.04.2002		25 g Pointer + 0,1 l Primus + 1 l CCC 720		
31.05.2002		0,5 l Acanto + 1 l Opera + 0,8 l Starane + 75 ml Karate Zeon		
27.07.2002	5 l Clinic (Teilfläche) 27.07.02	--	--	--
Ernte:		16.08.2002		

Anh. 23: Standort Einsiedel, Ackerschlagkartei 2002

Fruchtart: Winterweizen (Sorte Petrus), Vorfrucht Winterweizen

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:	Grubber	Grubber (tief) 20.08.2001	Grubber	--
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 14.09.2001	--	--	--
Stoppelnachbearbeitung:	--	Grubber (tief) 05.10.2001	Grubber	--
Aussaat: 340 Kö. m ⁻² in P, L und M 400 Kö. m ⁻² in D	KE/Drillma.	KE/Drillma. 05.10.2001	KE/Drillma.	DSM
Düngung:	09.03.2002 11.04.2002 26.05.2002	69 kg N (KAS) 55 kg N (KAS) 60 kg N (KAS)		
Pflanzenschutz:				
07.09.2001	--		3 l Clinic	
28.09.2001	--	--	--	3 l Clinic
19.10.2001	0,5 l Bacara --	0,5 l Bacara --	0,5 l Bacara --	0,5 l Bacara 0,1 l Lotus
03.04.2002		1 l IPU + 100 ml Primus + 1 l CCC 720		
26.04.2002	1 l Sportak Alpha 0,5 l Opera -- --	1 l Sportak Alpha 0,5 l Opera 75 ml Primus 25 g Pointer	1 l Sportak Alpha 0,5 l Opera 75 ml Primus 25 g Pointer	1 l Sportak Alpha 0,5 l Opera -- --
30.05.2002		1 l Opera + 75 ml Karate		
14.06.2002		0,75 l Acanto + 0,3 l Agent		
Ernte:	06.08.2002	30.07.2002		06.08.2002

Anh. 24: Standort Insultheim, Ackerschlagkartei 2002

Fruchtart: Winterweizen (Sorte Magnus), Vorfrucht Zuckerrübe

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:	--	Grubber (tief) 31.10.2001	Grubber	--
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 31.10.2001	--	--	--
Saatbettbereitung:	Kreiselegge 31.10.2001	--	--	--
Aussaat: 340 Kö. m ⁻²	KE/Drillma.	KE/Drillma. 31.10.2001	KE/Drillma.	DSM
Düngung:				
11.03.2002		50 kg N (KAS)		
23.04.2002		60 kg N (KAS)		
27.05.2002		60 kg N (KAS)		
Pflanzenschutz:				
30.03.2002	30 g Hoestar + 25 g Pointer + 0,1 l Lotus + 0,6 l CCC 720			
15.04.2001	--	--	0,5 l Topik	--
28.05.2002	0,75 l Opera + 0,25 l Corbel + 0,35 l Orefa Ethefon + 50 ml Karate Zeon			
Ernte:	29.07.2002			

Anh. 25: Standort Sailtheim, Ackerschlagkartei 2002
 Fruchtart: Winterweizen (Sorte Ludwig), Vorfrucht Zuckerrübe
 Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:	--	Scheibenegge (tief) 12.10.2001	Scheibenegge	--
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 12.10.2001	--	--	--
Saatbettbereitung:	Kreiselegge	Kreiselegge 15.10.2001	Kreiselegge	--
Aussaat: 280 Kö. m ⁻²	KE/Drillma.	KE/Drillma. 17.10.2001	KE/Drillma.	DSM
Walzen:		Cambridge-Walze 19.10.2001		--
Düngung:				
13.03.2002		75 kg N (NPK-Dünger 20/8/8)		
10.04.2002		43 kg N (NPK-Dünger 20/8/8)		
03.06.2002		43 kg N (KAS)		
12.04.2002		25 g Pointer + 0,1 l Primus + 1 l CCC 720		
30.04.2002	--	2 l Duplosan DP + 20 g Pointer		--
01.06.2002		1,2 l Opera + 0,45 l Ethefon + 75 ml Karate Zeon		
Ernte:		16.08.2002		

Anh. 26: Standort Friemar, Ackerschlagkartei 2002

Fruchtart: Winterweizen (Sorte Petrus), Vorfrucht Winterweizen

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:		Grubber 04.09.2001		--
Stoppelbearbeitung:	--	Grubber (tief) 01.10.2001	Grubber	--
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 01.10.2001	--	--	--
Aussaat: 330 Kö. m ⁻² in P, L und M 400 Kö. m ⁻² in D		DSM 10.10.2001		
Düngung:		66 kg N (NPK-Dünger 20/8/8)		
08.03.2002				
23.04.2002		62 kg N (KAS)		
21.05.2002		67 kg N (KAS)		
18.06.2002		33 kg N (KAS)		
Pflanzenschutz:				
29.10.2001		3,5 l Clinic		
04.04.2002		75 g Concert + 30 g Hoestar + 1,1 l CCC 720		
13.05.2002		0,5 l Opus Top + 0,3 kg Unix + 0,5 l CCC 720		
29.05.2002		0,5 l Acanto		
17.06.2002		0,36 l Opera + 0,3 l Cerone		
Ernte:		26.08.2002		

Anh. 27: Standort Grombach, Ackerschlagkartei 2000

Fruchtart: Zuckerrübe (Sorte Tatjana), Vorfrucht Sommergerste

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:	Horsch-Grubber	Rabe-Grubber 04.08.1999	Horsch-Grubber	--
Zwischenfruchtaussaat: Senf (25 kg)	KE/Drillma.	KE/Drillma. 18.08.1999	KE/Drillma.	J.-Deere 750 A
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 30.11.1999	--	--	--
Senf mulchen am:	--		24.01.2000	
Frostbearbeitung:	--	Flachgrubber 25.01.2000		--
Saatbettbereitung:		Kreiselegge 10.4.2000		
Aussaat, Tatjana (G.+T.) U (Ablageentfernung):		EK-Sägerät 1,17 (19 cm) 10.04.2000		
Düngung:	13.08.1999 19.04.2000		44 kg N (KAS) 108 kg N (KAS)	
Pflanzenschutz:		2,5 l Roundup Ultra 16.8.99		3 l Roundup U. 11.8.99
	27.03.2000	--	2 l Roundup Ultra	
	28.04.2000	1 kg Goltix + 1 l Betanal Progress OF + 1 l Rebell		
	09.05.2000	1,5 kg Goltix + 1 kg Betanal Progress OF + 30 g Debut + 0,25 l FHS		
	16.05.2000	--	--	1,5 l Fusilade MS
	23.05.2000	1,5 kg Goltix + 1 l Powertwin + 30 g Debut + 0,25 l FHS		
	07.08.2000	1 l Juwel		
Ernte:		13.10.2000		

Anh. 28: Standort Friemar, Ackerschlagkartei 2000

Fruchtart: Zuckerrübe (Sorte Granada), Vorfrucht Sommergerste

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:	Grubber 07.08.1999	--	Grubber 07.08.1999	--
Grundbodenbearbeitung:	--	Tiefenlockerer 12.08.1999	--	--
Aussaat Zwischenfrucht: Senf (20 kg)	KE/Drillma.	KE/Drillma. 24./25.09.1999	KE/Drillma.	DSM
Zwischenfruchtumbruch:	Scheibenegge 01.11.1999	--	--	--
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 01.11.1999	--	--	--
Frostbearbeitung:	--	Scheibenegge 21.02.2000	--	--
Saatbettbereitung:		Germinator 10.04.2000		Kreiselegge
Aussaat, Granada (C.+T.) U (Ablageentfernung):		EK-Sägerät 1,17 (19 cm) 10.04.2000		
Düngung:	16.04.2000	110 kg N (KAS)		
Pflanzenschutz:	18.10.1999	--	--	3 l Roundup
	03.04.2000	--	--	2,5 l Roundup
	28.04.2000	1 kg Goltix + 1 l Powertwin		
	08.05.2000	1,2 kg Goltix + 1 l Powertwin + 0,4 l Rako Binol		
	24.05.2000	1,8 kg Goltix + 1,25 l Powertwin + 0,5 l Rako Binol		
Ernte:	23.-24.10.2000			

Anh. 29: Standort Insultheim, Ackerschlagkartei 2001
 Fruchtart: Zuckerrübe (Sorte Impuls), Vorfrucht Winterweizen
 Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:		Grubber 27.07.2000		--
Stoppelbearbeitung:	Grubber	Grubber, (tief) 23.08.2000	Grubber	--
Aussaat Zwischenfrucht: Senf (20 kg)		Kreiselegge/Drillmaschine 24.08.2000		
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 16.11.2000	--	--	--
Senf mulchen:	--		18.01.2001	
Einebnung:	Kreiselegge 04.04.2001	--	--	--
Saatbettbereitung:	Kompaktor		Kreiselegge 04.05.2001	
Aussaat, Impuls (C.+T.) U (Ablageentfernung):		EK-Sägerät 1,17 (19 cm) 04.05.2001		
Düngung:	01.06.2001	121,5 kg N (KAS)		
Pflanzenschutz:	10.08.2000	--	--	1,5 l Roundup Ultra
	04.04.2001	--	2 l Glyphos	
	16.05.2001	1,4 l Powertwin, 1,0 l Goltix, 0,5 l Rako Binol		
	17.05.2001	--	5,5 kg Mesurool	
	22.05.2001	0,8 l Powertwin + 1,0 l Goltix + 0,5 l Rako Binol		
	22.05.2001	--	--	1 l Agil (Teilfläche)
	30.05.2001	0,8 l Powertwin + 1,0 l Goltix + 0,3 l Rako Binol		
	07.06.2001	0,8 l Powertwin + 1,0 l Goltix + 0,5 l Rako Binol		
	12.06.2001	0,8 l Powertwin + 1,0 l Goltix + 0,5 l Rako Binol + 0,5 l Agil		
	13.08.2001	1 l Spyräle		
Ernte:		30.10.2001		

Anh. 30: Standort Sailtheim, Ackerschlagkartei 2001

Fruchtart: Zuckerrübe (Sorte Impuls), Vorfrucht Winterweizen

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:		Scheibenegge/Spatenrollegge 31.08.2000		--
Stoppelbearbeitung:	Grubber	Grubber, (tief) 08.09.2000	Grubber	--
Aussaat Zwischenfrucht: Senf (19 kg)		Kreiselegge/Drillmaschine 09.09.2000		
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 25.11.2000	--	--	--
Einebnung:	Kreiselegge 17.04.2001	--	--	--
Saatbetbereitung:		Kreiselegge 02.05.2001		
Aussaat, Impuls (G.+T.) U (Ablageentfernung):	1,17 (19 cm)	1,17 (19 cm)	EK-Sägerät 1,17 (19 cm) 02.05.2001	1,30 (17 cm)
Walzen:	--		08.05.2001	
Düngung:	03.05.2001	121 kg N (NPK-Dünger 20/8/8)		
Pflanzenschutz:	24.08.2000		3,9 l Clinic	
	06.04.2001	--	2,8 l Durano	
	10.05.2001	1,4 l Betanal Progress OF + 1 kg Volcan WG + 1 l Rebell + 1 l Rako Binol		
	23.05.2001	1,4 l Betanal Progress OF + 1 kg Volcan WG + 1 l Rebell + 0,7 l Rako Binol		
	06.06.2001	1,3 l Betanal Progress OF + 2 kg Volcan WG + 1 l Rebell + 0,73 l Betosip + 0,21 l Norton 500 SC		
	12.06.2001	--	0,5 l Select 240 EC + 1 l Öl (Teilfläche)	
	13.06.2001		1,2 l Lontrel (Teilfläche)	
	04.07.2001	-	0,9 l Betosip + 0,6 l Norton 500 SC	--
Ernte:			06.10.01	

Anh. 31: Standort Gieshügel, Ackerschlagkartei 2002

Fruchtart: Zuckerrübe (Sorte Cyntia), Vorfrucht Winterweizen

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:		Grubber 24.08.2001		--
Stoppelbearbeitung:	Grubber	Grubber (tief) 06.09.2001	Grubber	--
Aussaat Zwischenfrucht: Senf (20 kg)	06.09.2001	Amazone-Drillmaschine 06.09.2001	13.09.2001	13.09.2001
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 11.12.2001	--	--	--
Einebnung:	Kreiselegge 11.12.2001	--	--	Kreiselegge 18.03.2002
Saatbettbereitung:		Kreiselegge 02.04.2002		--
Aussaat, Cynthia (G.+T.) U (Ablageentfernung):		EK-Sägerät 1,17 (19 cm) 03.04.2002		
Düngung:	14.03.2002	96,8 kg N (NPK-Dünger 20/8/8)		
Pflanzenschutz:	03.09.2001	3 l Durano + 10 kg SSA		
	12.03.2001	3,5 l Durano + 10 kg SSA		
P, L und M	08.05.2002	1,5 kg Goltix WG + 1 l Powertwin + 1 l Rebell, 0,5 l Oleo		
D	24.04.2002			
	15.05.2002	1,43 kg Goltix WG + 1,3 l Powertwin + 1 l Rebell + 0,5 l Oleo		
	12.06.2002	1,1 kg Goltix WG + 1,3 l Powertwin + 0,25 l FHS + 30 g Debut		
	19.06.2002	--	--	0,5 l Galant Super
Ernte:		13.10.2002		

Anh. 32: Standort Lüttewitz, Ackerschlagkartei 2002

Fruchtart: Zuckerrübe (Sorte Tatjana), Vorfrucht Winterweizen

Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:	Grubber	Grubber (tief) 16.08.2001	Grubber	--
Lockerung:	--	Tiefenlockerer 03.09.2001	--	--
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 29.10.2001	--	--	--
Aussaat Zwischenfrucht: Senf (20 kg)		Grubber mit aufgesetzten Düngerstreuer 04.09.2001		
Saatbettbereitung:		Flachgrubber 02.04.2002		
Aussaat, Tatjana (G.+T.) U (Ablageentfernung):		EK-Sägerät 1,23 (18 cm) 02.04.2002		
Düngung:	22.08.2001 19.03.2002	30 kg N (AHL) 70 kg N (NPK-Dünger 20/8/8)		
Pflanzenschutz:	--		3,5 l Clinic	
	25.04.2002	1 kg Goltix + 0,8 l Powertwin + 1 l Rebell		
	07.05.2002	1 kg Goltix + 1 l Powertwin + 1 l Rebell		
	24.05.2002	2 kg Goltix + 1,1 l Powertwin		
	09.05.2002	--	--	Schneckenkorn 4 kg (Teilfläche)
	12.06.2002	0,3 kg Pirimor		
Ernte:		13.-14.10.2002		

Anh. 33: Standort Zschortau, Ackerschlagkartei 2002
 Fruchtart: Zuckerrübe (Sorte Dorena), Vorfrucht Wintergerste
 Alle Mengenangaben beziehen sich auf 1 ha

Verfahren	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
Stoppelbearbeitung:		Spatenrollegge 02.08.2001		--
Grundbodenbearbeitung:	--	Tiefenlockerer 15.08.2001	--	--
Saatbettbereitung:		Spatenrollegge 31.08.2001		--
Aussaat Zwischenfrucht: Senf (15 kg)		Väderstadt 31.08.2001		
Grundbodenbearbeitung:	Pflug 12.11.2001	--	--	--
Einebnung:	--	--	Grubber 02.04.2002	
Saatbettbereitung:	Kreiselegge	Germinator 05.04.2002	Kreiselegge	
Aussaat, Dorena (G.+T.) U (Ablageentfernung):	1,17 (19 cm)	1,17 (19 cm)	1,17 (19 cm) 02.04.2002	1,30 (17 cm)
Düngung:	28.03.2002	62 kg N (KAS)		
Pflanzenschutz:	20.08.2001	3 l Glyphos, 10 kg SSA		
	12.03.2002	--	3 l Roundup Ultra	
	23.04.2002	2 kg Goltix + 1,5 l Betanal Progress OF		
	07.05.2002	1 kg Goltix + 1 l Betanal Progress OF + 1 l Rebell + 0,5 l Öl		
	24.05.2002	0,5 kg Goltix + 1 l Betanal Progress OF + 1,2 l Rebell + 1 l Öl		
	24.05.2002	1 l Lontrel (nesterweise Bekämpfung)		
	31.05.2002	0,8 kg Goltix + 0,9 l Betanal expert + 0,5 l Targa Super		
	07.08.2002	1 l Spyrale		
Ernte:		25.-28.10.2002		

Anh. 34: Einfluss von Jahr, Standort, Sorte und Bodenbearbeitung auf den Deoxynivalenolgehalt im Korn [mg kg^{-1}] von Winterweizen, 2001-2002, Großparzellenversuch

Jahr	Standort	Fusariumanfälligkeit der Weizensorte	Pflug	Locker	Mulch	Direktsaat
2001	Gieshügel	gering	0,05	0,05	0,05	0,05
2001	Grombach	gering	0,05	0,05	0,05	0,05
2001	Einsiedel	gering	0,08	0,06	0,06	0,05
2001	Friemar	mittel	0,12	0,10	0,09	0,29
2001	Lüttewitz	hoch	0,37	0,49	0,83	0,75
2001	Lüttewitz	gering	0,05	0,07	0,15	0,28
2001	Salzmünde	hoch	0,05	0,05	0,05	0,05
2001	Salzmünde	gering	0,05	0,05	0,05	0,05
2002	Grombach	hoch	0,22	0,22	0,21	0,39
2002	Grombach	gering	0,05	0,05	0,05	0,27
2002	Einsiedel	hoch	0,54	0,60	0,60	2,24
2002	Einsiedel	gering	0,05	0,13	0,10	0,52
2002	Insultheim	gering	0,06	0,05	0,05	0,05
2002	Sailtheim	gering	0,05	0,05	0,05	0,05
2002	Friemar	hoch	3,06	4,45	3,93	11,14
2002	Friemar	gering	0,65	1,64	1,11	1,99

Anh. 35: Einfluss von Jahr, Fungizidbehandlung, Sorte und Bodenbearbeitung auf den Deoxynivalenolgehalt [mg kg^{-1}] im Korn von Winterweizen, Göttingen 2001-2002, Kleinparzellenversuch

Jahr	Fungizid	Fusariumanfälligkeit der Weizensorte	Bodenbearbeitungsverfahren Pflug	Mulch
2001	mit	hoch	0,13	0,46
2001	mit	gering	0,05	0,07
2001	ohne	hoch	0,35	1,76
2001	ohne	gering	0,06	0,26
2002	mit	hoch	0,24	1,08
2002	mit	gering	0,10	0,27
2002	ohne	hoch	0,64	3,28
2002	ohne	gering	0,10	0,36

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen, die zum Gelingen der vorliegenden Arbeit direkt oder indirekt beigetragen haben, ganz herzlich danken:

Herrn Prof. Dr. B. Märländer für die Überlassung des Themas dieser Dissertation. Seine uneingeschränkte Unterstützung, konstruktive Zusammenarbeit, Überzeugungskraft und Engagement haben maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Herrn Prof. Dr. W. Lücke für die freundliche Bereitschaft, das Korreferat zu übernehmen.

Dem Kuratorium für Versuchswesen und Beratung im Zuckerrübenanbau, Ochsenfurt, für die finanzielle Unterstützung dieses Vorhabens. Zudem den Mitgliedern des Arbeitskreises Pflanzenbau und Bodenbearbeitung des Kuratoriums für ihr Interesse am Projekt und ihren konstruktiven Verbesserungsvorschlägen.

Dem Geschäftsbereich Landwirtschaft der Südzucker AG in Offenau. Insbesondere Herrn Direktor Miller für sein Engagement und seine uneingeschränkte Unterstützung. Den Herren Betriebsleitern des Geschäftsbereiches Landwirtschaft, ohne deren Unterstützung die Durchführung der Bodenbearbeitungsversuche nicht möglich gewesen wäre.

Allen Mitarbeitern des Instituts für Zuckerrübenforschung und besonders den Kollegen in der Abteilung Pflanzenbau für die überaus angenehme und harmonische Arbeitsatmosphäre.

Herrn Buddemeyer, Herrn Dr. BÜchse, Frau K. Busse, Frau Dr. Hoffmann, Frau Dr. Christine Kenter, Herrn Dr. H.-J. Koch, Herrn Dr. H.-P. König, Frau Dr. Stockfisch und Herrn Dr. Weinert für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und die vielen wissenschaftlichen Anregungen.

Den Eugen Ulmer Verlag für die Druckerlaubnis der beiden ersten bereits in der Zeitschrift Pflanzenbauwissenschaften veröffentlichten Artikeln.

Meinen Freunden für ihre stetige Unterstützung, Hilfe und Verständnis während der Erstellung dieser Arbeit.

Meiner Familie für ihre Unterstützung während des Studiums und der Promotion.

Lebenslauf

Christodulos Pringas
geboren am 13.06.1971
in Stadthagen/Schaumburg

Schulbildung

1978 - 1982	Grundschule in Stadthagen
1982 -1984	Orientierungsstufe in Helpsen
1984 - 1988	Realschule in Helpsen
1978 –1987	griechische Schule in Stadthagen
1988 - 1989	Höhere Handelsschule in Stadthagen
1989 - 1992	Ratsgymnasium in Stadthagen

Hochschulstudium

1992 - 1998	Studium der Agrarwissenschaften, Studienrichtung Pflanzenproduktion, an der Georg-August-Universität Göttingen
2000 - 2004	Promotionsstudium an der agrarwissenschaftlichen Fakultät der Georg-August-Universität in Göttingen

Landwirt. Praktikum

Aug. 1994 - Juli 1995	landwirtschaftliches Praktikum auf dem Betrieb von Cord-Heinrich Schweer in Stadthagen/Probsthagen
März 2002	Praktikum bei Hellenic Sugar in Thessaloniki/Griechenland

Berufliche Tätigkeit

1999 - 2000	Wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Zuckerrübenforschung
2000 - Dez. 2003	Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Zuckerrübenforschung
seit Feb. 2004	Leiter Agroservice/Nord Zuckerrübe bei der Kleinwanzlebener Saatzucht AG (KWS)