

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 Massenauftreten 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