



Das Lebensministerium



Erosionsminderung in der Landwirtschaft

Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Heft 2/2009

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

**Maßnahmen zur Erosionsminderung im konventionellen und ökologischen Landbau
unter Einbeziehung der teilschlagspezifischen Bodenbearbeitung**

Ellen Müller, Uwe Becherer, Martin Hänsel

Inhaltsverzeichnis

Ellen Müller, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Teilprojekt I

1

Optimierung des Erosionsschutzes durch kleinräumige Steuerung der Bodenbearbeitungstiefe im Rahmen konservierender Bodenbearbeitungsverfahren

Uwe Becherer, Bioland Beratung Ost

Martin Hänsel, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

39

Teilprojekt II

Erosionsmindernde Maßnahmen im ökologischen Landbau

Teilprojekt I

Optimierung des Erosionsschutzes durch kleinräumige Steuerung der Bodenbearbeitungstiefe im Rahmen konservierender Bodenbearbeitungsverfahren

1	Einleitung	1
2	Material und Methoden.....	2
2.1	Versuchsstandorte.....	2
2.1.1	Versuch in Niederranschütz.....	4
2.1.2	Versuch in Littdorf.....	4
2.1.3	Versuche in Mockritz.....	5
2.2	Allgemeiner Methodenteil	6
2.2.1	Niederranschütz/Mockritz	6
2.2.2	Littdorf.....	9
3	Ergebnisse	19
3.1	Niederranschütz	19
3.2	Littdorf.....	19
3.2.1	Zugkraftbedarf	19
3.2.2	Kraftstoffverbrauch.....	21
3.2.3	Evaluierung des Arbeitsgeräts hinsichtlich der autonomen Variation der Bearbeitungstiefe	23
3.3	Mockritz	26
3.3.1	Ergebnisse Beregnungsversuche	26
3.3.2	Ertragsparameter 2006/2007	33
4	Diskussion.....	35
4.1	Niederranschütz	35
4.2	Littdorf.....	35
4.3	Mockritz	36
5	Zusammenfassung	37
6	Literaturverzeichnis.....	38

Abkürzungsverzeichnis

AB	Arbeitsbreite
csv	Colon Separated Values
dbf	Database Facility
dGPS	Differential Global Positioning System
ECE-R24	Europäische Norm zur Messung der Nettoleistung von Motoren
FS	Flügelschar
GIS	Geografisches Informationssystem
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
kN	Kilo Newton
kW	Kilo Watt
LED	Light Emitting Diode
lfd.	laufende
MEMS	Micro-Electro-Mechanical-System
min	Minimal
NAVSTAR	Navigation Satellite using Time and Range
NN	Normal Null
NMEA	National Marine Electronics Association
OB	Ohne Bearbeitung
PS	Pferdestärke (ca. 0,74 kW)
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Service
RTK	Real Time Kinematik
RS 232	Recommended Standard 232 (Standardisierte serielle Schnittstelle)
SE	Scheibenegge
TDR	Time Domain Reflectory
UTM	Universal Transverse Mercator
V	Volt
WS	Wendelschar
WGS 84	World Geodetic System 1984

Abkürzungen in Formeln

Abkürzung	Einheit	Beschreibung
A_n	ha/h	Flächenleistung
b	m	Arbeitsbreite
$B'_{H;t}$	l/h	Dieselmotorkraftstoffverbrauch pro Stunde unter Berücksichtigung von V und b
b_{em}	g/kWh	spezifischer Kraftstoffverbrauch
$B_{H;t}$	kg/h	zeitbezogener Kraftstoffverbrauch
F	kN	Zugkraft
P	kW	Leistung
P_{Motor}	kW	Motorleistung bei Zugkraft F
P_{Nenn}	kW	Motorleistung bei Nenndrehzahl
v	m/s	Geschwindigkeit
ρ	kg/l	Dichte

1 Einleitung

Konservierende Bodenbearbeitung kann Erosionsschutz mit günstigen wirtschaftlichen Aspekten verbinden und findet somit eine wachsende Verbreitung in der Praxis. Es besteht aber weiterhin der Bedarf von präziseren Handlungsempfehlungen und Gerätesteuern, um die Arbeitsgänge zur Bodenbearbeitung hinsichtlich des Bodenschutzes abzusichern.

Bodenerosion auf Ackerflächen lässt sich zum Beispiel mit einer Auflage von Stoppeln und Stroh wirksam vermeiden. Bei zunehmender Dichte der Mulchaufgabe treten jedoch technische Probleme bei der Aussaat und nachfolgend physiologische Schwierigkeiten beim Keimen der Kulturpflanzen auf. Es ist damit zu rechnen, dass die Erntereste einen ausreichenden Bodenkontakt zum Saatkorn verhindern und somit auch die Wasserzufuhr zur Saat behindert ist. Deswegen muss versucht werden, einen Kompromiss in der Intensität der Einarbeitung des Strohs in den Boden zu finden. Mindestens 30 % Bodenbedeckungsgrad über das Mulchmaterial sollten dabei für den Bodenschutz erhalten bleiben (Abbildung 1).

Unterschiede in der Bonität der Ackerfläche führen jedoch zu variablen Mengen von Ernterückständen. Es erscheint somit sinnvoll, die Bearbeitungsintensität teilflächenspezifisch auszuführen, um den Erosionsschutz durchgängig abzusichern. Dies steht vor allem in steilen Hangbereichen von Ackerschlägen im Vordergrund. Gleichzeitig lässt sich mit diesem Ansatz eine unspezifisch intensive und damit energieaufwändige Bodenbearbeitung vermeiden.

Während die grundsätzlichen technischen Voraussetzungen für die Ansteuerung und Umsetzung einer ortsspezifischen Bodenbearbeitung durch das GPS bzw. Hydrauliksysteme gegeben sind, müssen Prüfungen derartiger Systeme im Feld die Effektivität des gesamten Ansatzes noch belegen. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim wurden Feldversuche auf verschiedenen Ackerflächen im sächsischen Lößhügelland zur Optimierung des Erosionsschutzes durch kleinräumige Steuerung der Bodenbearbeitungstiefe in den Jahren 2005 – 2007 durchgeführt.

Die Beschreibung dieses Vorhabens stützt sich maßgeblich auf Bachelor-Arbeiten von DINGELDEY (2005), GALL (2006) und JENNER (2006), die Masterarbeit von WEISSERT (2007) sowie Kurzberichte von WALTHER und SCHULE (2006) vom Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim.

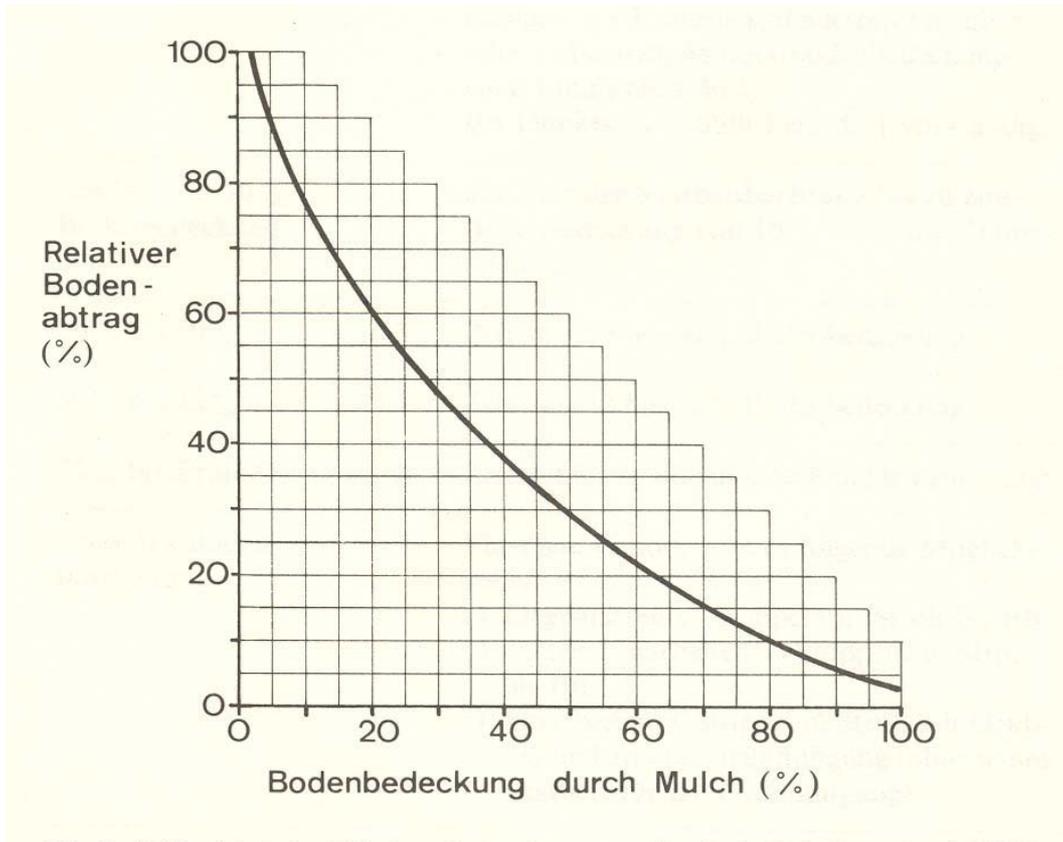


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen der Bodenbedeckung mit Mulchmaterial und dem relativen Bodenabtrag (SCHWERTMANN et al. 1987)

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsstandorte

Ziel des zweijährigen Versuches war es, die Wirkung verschiedener Arbeitstiefen eines Grubbers auf Parameter des Bodens, der Pflanzenentwicklung sowie des Zugkraftbedarfes zu beschreiben.

Im ersten Jahr wurden drei feste Tiefeneinstellungen (5 cm, 10 cm und 15 cm) in zwei Parzellenversuchsanlagen geprüft. Im zweiten Versuchsjahr wurde variabel entsprechend eines Regelalgorithmus mit ortsspezifischer Tiefenführung experimentiert. Zu Vergleichszwecken wurde auch im zweiten Versuchsjahr mit fixen Bearbeitungstiefen gearbeitet.

Als Versuchsflächen wurden zwei Ackerflächen des Mittelsächsischen Lößhügellandes in Mockritz und Niederranschütz ausgewählt. Aus Gründen der Flächenorganisation konnte der Versuch in Niederranschütz 2006 nicht fortgeführt werden, so dass ein Wechsel nach Littdorf stattfand.

Die Bodenart der Versuchsflächen war überwiegend Lößlehm (Ut3 – Ut4). Die Flächen wiesen Ackerzahlen zwischen 70 und 80 auf. In der Tabelle 1 sind die Versuchsstandorte und die jeweiligen Untersuchungen aufgelistet.

Tabelle 1: Übersicht zu den Versuchsstandorten

Standort	Jahr	
	2005/2006	2006/2007
Nieder-ranschütz	<ul style="list-style-type: none"> - fixe Bearbeitungstiefen - Erfassung pflanzenbaulicher Parameter und Ertrag 	-
Littdorf	-	<ul style="list-style-type: none"> - ortsspezifische Bodenbearbeitung - Messung Zugkraftbedarf
Mockritz	<ul style="list-style-type: none"> - fixe Bearbeitungstiefen - Erfassung pflanzenbaulicher Parameter und Ertrag - Erosions- und Infiltrationsmessungen 	<ul style="list-style-type: none"> - fixe Bearbeitungstiefen - Erfassung pflanzenbaulicher Parameter und Ertragskennwerte - Erosions- und Infiltrationsmessungen

Auf allen Versuchsstandorten wurde vor der Grundbodenbearbeitung eine Stoppelbearbeitung mit einer Kurzscheibenegge (Lemken Rubin; Arbeitstiefe = 5 cm) diagonal zur Saattrichtung der Vorfrucht durchgeführt. Die Aussaat erfolgte mit einer gezogenen Mulchsaatmaschine von John Deere, Typ 770A, die mit Hohlscheibenelementen zur Einebnung und flacheren Bearbeitung ausgerüstet ist.

Zusätzlich zur betriebsüblichen Grundbodenbearbeitung, einer einmaligen Überfahrt mit dem Grubber bei einer Arbeitstiefe von etwa 15 – 20 cm (Grubber tief), wurden zwei weitere Grubbervarianten mit 5 - 10 cm (Grubber flach) und 10 - 15 cm (Grubber mittel) sowie 2005 eine Direktsaatvariante angelegt. Hierbei handelte es sich aber nicht um eine „echte“ Direktsaat im Sinne der Definition, da durch die zweireihigen Scheibenelemente vor den eigentlichen Säscharen der Mulchsaatmaschine eine Bodenbearbeitung, vergleichbar mit der Wirkungsweise einer Kurzscheibenegge, erfolgte.

In Mockritz wurden zusätzlich zwei Pflugvarianten angelegt. In einer Variante wurde mit einem Stoppelpflug (Ecomat) der Boden 10 cm tief gewendet, in der anderen Variante mit einem Zweischichtenpflug der Boden 10 cm gewendet und auf 20 cm Tiefe gelockert. Im zweiten Jahr wurde der Zweischichtenpflug durch einen herkömmlichen Pflug ersetzt und damit der Boden 20 cm tief gewendet. Die Pflugfurchen wurden vor der Saat mit einer Scheibenegge und nachgeführter Keilringwalze eingeebnet und rückverfestigt.

Die Ernte der Feldfrüchte erfolgte im Hochdruschverfahren mit anschließendem Mulchereinsatz (Schlegelmulchgerät Pegasus 7000, Hersteller: Sauerburger).

2.1.1 Versuch in Niederranschütz

In Niederranschütz wurde 2005 eine randomisierte Blockanlage mit drei Wiederholungen angelegt. Die Direktsaat wurde nur zweifach wiederholt. Die Parzellen hatten die Größe 12 m x 250 m.

Nach der Bodenbearbeitung wurde Triticale ausgesät. Erfasst wurden der Feldaufgang, der Bestockungsgrad und die Anzahl ährentragender Halme. Nach der Ernte wurden der Kornertrag und das Tausendkorngewicht (TKG) ermittelt.

2.1.2 Versuch in Littdorf

Ziel der Untersuchungen in Littdorf war es, die Funktionsfähigkeit einer GPS-gesteuerten, teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung zu evaluieren. Neben fest vorgegebenen Arbeitstiefen ging auch die Hangneigung als Steuerungsgröße in den Regelalgorithmus ein. Außerdem wurde der Zugkraftbedarf für unterschiedliche Arbeitstiefen gemessen und der daraus resultierende Kraftstoffverbrauch berechnet.

Der Versuch wurde 2006 auf einem ca. 70 ha großen Schlag angelegt. Innerhalb der 5 ha großen Versuchsfläche waren sowohl flache Abschnitte (Hangrücken, Hangfuß) als auch steilere Stücke enthalten.

Für den Bodenbearbeitungsversuch standen zwei Teilbereiche zur Verfügung. Der eine Bereich wurde mit der Kurzscheibenegge bearbeitet. Auf dem zweiten Bereich wurde keine Bodenbearbeitung durchgeführt.

Die Teilfläche ohne Bearbeitung sowie eine Hälfte des mit der Kurzscheibenegge bearbeiteten Bereiches wurden mit Flügelscharen (Breite: 170 mm) gegrubbert. Die andere Hälfte des gegrubberten Teilbereiches wurde mit Wendelscharen (Breite: 75 mm) bearbeitet. Das Wendelschar konnte entgegen der ursprünglichen Planung nicht auf dem unbearbeiteten Bereich eingesetzt werden. Vorversuche ergaben eine nicht zufriedenstellende Arbeitsweise des Wendelschars in diesem Bereich. Es kam zu Verstopfungen des Geräts bei tiefer Bearbeitung und ein unzureichend ebenes Saatbett wurde hinterlassen.

Das Versuchsfeld wurde außerdem in Bereiche mit fest vorgegebenen Arbeitstiefen und in Bereiche mit nach Hangneigung geregelten Arbeitstiefen gegliedert (siehe Abbildung 2).

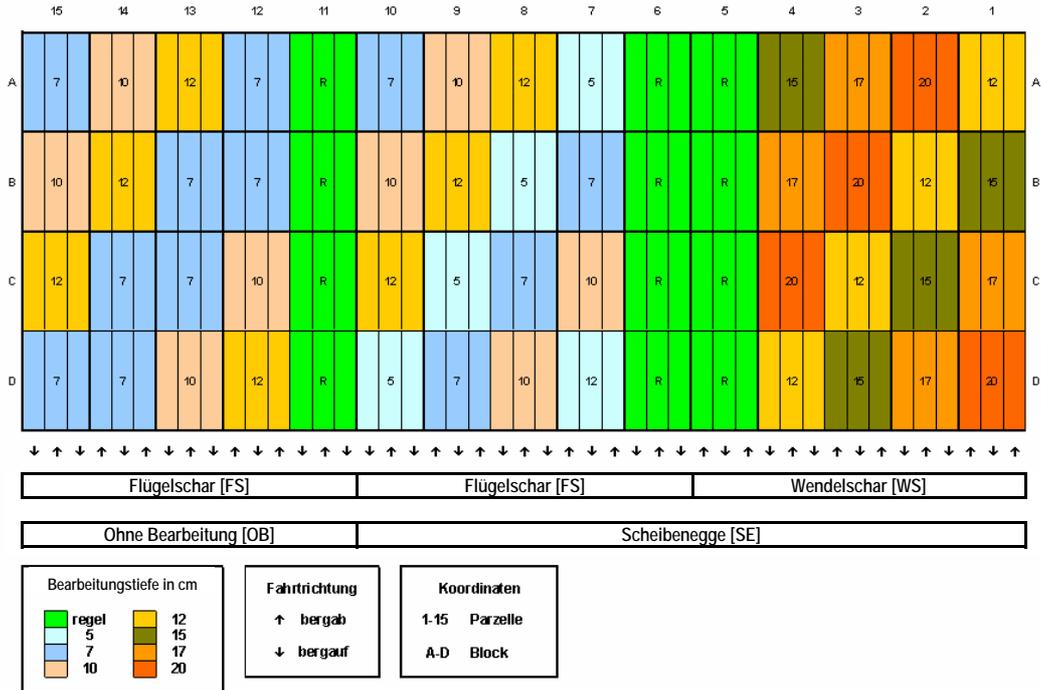


Abbildung 2: Versuchsplan Littdorf (GALL 2006)

Vorfrucht war Körnermais. Einen Tag vor Versuchsbeginn wurde der Körnermais mit ca. 33 % Gutfeuchte gedroschen. Danach wurden die Maisstoppln abgemulcht.

2.1.3 Versuche in Mockritz

Der Versuch wurde 2005 auf einem ca. 40 ha großen Schlag angelegt. Vorfrucht war Winterweizen. Zur Aussaat kam Winterraps. 2006 fanden die Untersuchungen nach Winterraps zur Vorbereitung einer Winterweizenaussaat statt.

Die Versuchsanlage bestand aus drei Blöcken, die jeweils 75 m breit und 360 m lang waren. In jedem Block wurden fünf Varianten à 15 m angelegt. Die jährliche Ausführung der Versuche ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Direktsaat im Jahr 2005 wurde nur mit zwei Wiederholungen angelegt.

Tabelle 2: Bodenbearbeitungsvarianten Mockritz

Variantenbezeichnung		Arbeitstiefe [cm]	
		2005	2006
Gubber	Flach	5	5
	Mittel	10	10
	Tief	15	15
Direktsaat		-	entfällt
Zweischichtenpflug (2005)		10 (wenden) 20 (lockern)	entfällt
Pflug (2006)		entfällt	20 (einschichtig wenden)
Stoppelpflug		10	10

2.2 Allgemeiner Methodenteil

Zur besseren Verständlichkeit werden zuerst die Versuchsgeräte und die einzelnen Untersuchungsmethoden der Standorte Niederranschütz und Mockritz beschrieben und im Anschluss die im Versuch in Littdorf angewandten Geräte und Methoden.

2.2.1 Niederranschütz/Mockritz

2.2.1.1 Gerätetechnik

Pflug

Der 4-Schar Vollandpflug Albatros der Firma Rabe dient zur tiefen wendenden Bodenbearbeitung. Er hat geschlossene Streichbleche und Vorschäler. Die Arbeitsbreite beträgt ca. 1,60 m, die Arbeitstiefe ca. 25 cm und das Gewicht ca. 1117 kg. Aufgrund des hohen Zugkraftbedarfs bei vergleichsweise geringer Flächenleistung kommt er nur dort zum Einsatz, wo unbedingt ernterückstandsfreie Bodenoberflächen benötigt werden.

Zweischichtenpflug (Abbildung 3):

Hersteller:	Gassner
Eingesetztes Gerät:	4-Schar Wendepflug
Arbeitsbreite:	1,60 m
Arbeitstiefe:	10-25 cm (wendend)
Gewicht:	ca. 1 300 kg
Fahrgeschwindigkeit:	bis 8 km/h
Werkzeuge je Seite:	4 Pflugkörper 4 Vorschäler 4 Tiefenlockerer
Tiefenführung:	über Schlepper- hydraulik und Tastrad
erforderliche Schlepper- leistung:	ab 80 kW/ 110 PS



Abbildung 3: Zweischichtenpflug

Der Zweischichtenpflug wendet den Boden je nach Einstellung nur flach bis mäßig tief und lockert die darunter liegende Bodenschicht je nach Einstellung bis weit unter den Pflughorizont. Dabei sichern die Lockerungsschare gleichzeitig eine stabile Tiefenführung des Pflugkörpers, so dass die Bodenwendung auch auf 10 cm begrenzt werden kann. Bei der Bodenbearbeitung wird in der nur flachen Furche gefahren und die nachfolgenden Lockerungsschare lockern die befahrene Furche wieder auf. Durch die Arbeitsweise des Zweischichtenpfluges wird eine Pflugsohlenverdichtung vermieden und Oberflächenwasser kann besser infiltrieren als bei einem herkömmlichen Pflug.

Stoppelpflug Ecomat (Abbildung 4):

Hersteller:	Kverneland
Eingesetztes Gerät:	6-Schar Wendepflug
Arbeitsbreite:	2,25 m
Arbeitstiefe	6-18 cm
Gewicht:	2030 kg
Fahrgeschwindigkeit:	8-12 km/h
Werkzeuge je Seite:	6 Pflugkörper mit Streichschiene
Tiefenführung:	Schlepper- hydraulik und Tastrad
erforderliche Schlepper- leistung:	ab 80 kW/ 110 PS



Abbildung 4: Stoppelpflug

Der Stoppelpflug arbeitet im Prinzip wie ein Pflug. Die gesamte Bauform lässt jedoch eine besonders flache und gleichmäßige Bodenwendung selbst im Bereich von weniger als 10 cm zu. Tiefere Bodenschichten werden dabei nicht aufgelockert. Sowohl die Form als auch die steile Anstellung der Streichbleche zur Fahrtrichtung versprechen eine intensivere Durchmischung von z. B. Strohresten mit Bodenmaterial gegenüber dem Standardpflug. Im Vergleich zum herkömmlichen Pflug ist der Zugkraftbedarf wesentlich geringer und die Schlagkraft höher.

Grubber (Abbildung 5):

Hersteller:	Amazone-BBG
Eingesetztes Gerät:	Centaur 3002
Arbeitsbreite:	3,0 m
Transportbreite:	3,0 m
Gewicht:	3.105 kg
Fahrgeschwindigkeit:	bis 15 km/h
Werkzeuge:	Reifenpacker, 15 Federzinken mit Schmalschar, Hohlscheiben, Keilringwalze
Tiefenführung:	Reifenpacker vorn, Keilringwalze hinten
erforderliche Schlepperleistung:	ab 90 kW / 120 PS



Abbildung 5: Grubber

Der Grubber Centaur der Firma Amazone-BBG wurde speziell für die konservierende Bodenbearbeitung entwickelt. Das breite Einsatzfeld umfasst die extrem flache Stoppelbearbeitung, die intensive Mischung von Pflanzenrückständen und Boden bei mittlerer Arbeitstiefe sowie die krumentiefe Bodenlockerung. Die Kombination mit Werkzeugen zur Einebnung und Rückverfestigung ermöglichen eine umgehende Aussaat nach der Bodenbearbeitung. Eine detaillierte Gerätebeschreibung erfolgt im Kapitel 2.2.2.2.

Mobile Beregnungsanlage

Die Beregnungsversuche in Mockritz wurden mit einem Niederschlagssimulator zur Beregnung von 1 m² Grundfläche durchgeführt (Abbildung 6). Dieses Gerät ist mit einer schwenkbaren Flachstrahldüse (VeeJet 80/100) ausgestattet. Hiermit werden nahezu natürliche Niederschläge hinsichtlich Verteilung und Tropfenspektrum sowie kinetischer Energie der Tropfen bei Aufschlag auf die Bodenoberfläche simuliert. Mit der Anlage kann die Wasserinfiltration bzw. der Oberflächenabfluss und der damit verbundene Bodenabtrag in Abhängigkeit von Verschlammung und Makroporenfluss erfasst werden.



**Abbildung 6: Niederschlagssimulator;
Windschutz zum Teil ab-
genommen**

2.2.1.2 Untersuchungsmethoden

Die Bestimmung der Aggregatstabilität erfolgte im Nasssiebverfahren nach MURER et. al. (1993).

Der Bedeckungsgrad der Versuchspartzen wurde mit Hilfe der Zählmethode nach WINNIGE et al. 1998 ermittelt.

Die Hangneigung der zu beregnenden Flächen wurde mit einer Wasserwaage gemessen. Sie betrug 2005 9 % und 2006 7,5 %.

Die Messung der Bodenfeuchte erfolgte vor und nach den Beregnungsversuchen mit einer TDR-Sonde (Time Domain Reflectometry). Auf jeder Variante wurden zwei Beregnungsversuche durchgeführt. Die Beregnungen fanden eine Woche nach der Aussaat statt. Beregnet wurde 20 min lang mit einer Intensität von 1,9 mm/min, was einem Gesamtniederschlag von 38 mm entspricht.

Der Pflanzenaufwurf pro m² wurde in jeder Versuchspartzen über vier 0,1 m² große Teilflächen bestimmt.

Vor der Ernte 2007 erfolgte in Mockritz die Ermittlung der Bestandesdichte (ährentragende Halme) des Weizens. Sie wurde über vier 0,5 m² große Teilflächen je Versuchspartzen ermittelt.

2.2.2 Littdorf

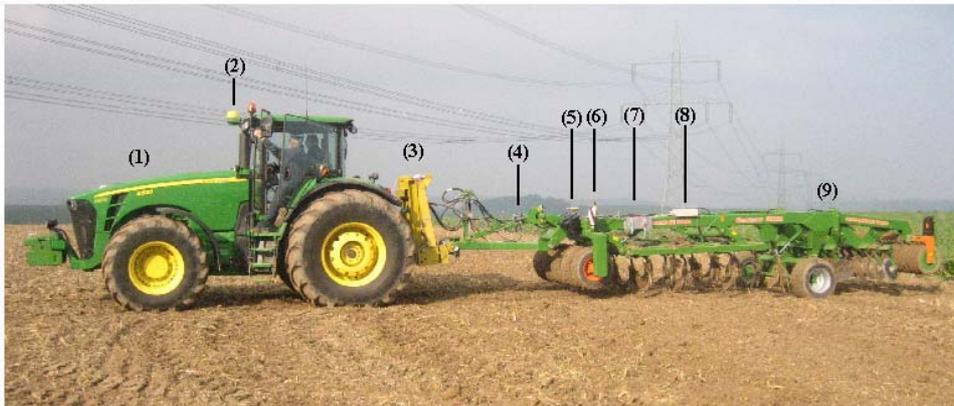
2.2.2.1 GPS-Basisstation

Zur exakten Positionsbestimmung wurde eine GPS Referenzstation aufgestellt. Diese wurde so positioniert, dass sie möglichst direkten Sichtkontakt zu den Empfängern hatte und leicht wieder zu finden war. Auf einem ca. 70 cm erhöhten Betonschachtdeckel wurde der Dreifuß mit GPS Emp-

fänger und dGPS Antenne installiert. Somit befand sich die Basisstation in einer Höhe von ca. 2,70 m und hatte direkten Sichtkontakt zu der Empfängerantenne auf dem Bodenbearbeitungsgerät.

2.2.2.2 Gerätekombination für den Bodenbearbeitungsversuch

In Abbildung 7 ist die Gerätekombination für den Bodenbearbeitungsversuch in Littdorf dargestellt.



- | | |
|--|---|
| (1) John Deere 8530 | (6) dGPS Antenne Centaur 3002 |
| (2) GPS Antenne Traktor | (7) RTK GPS Empfänger |
| (3) Sechs-Komponenten Zugkraftmessrahmen | (8) Elektrische Steuerungseinheit mit integriertem Neigungssensor |
| (4) Elektrisch ansteuerbares Hydraulikventil | (9) Amazone Centaur 3002 |
| (5) GPS Antenne Centaur 3002 | |

Abbildung 7: Gerätekombination für die Bodenbearbeitungsversuche

Die einzelnen Komponenten werden im Folgenden näher beschrieben.

Zugmaschine

Zur Versuchsdurchführung wurde ein John Deere 8530 mit AutoTrac und AutoPowr-Getriebe verwendet. Die Leistungsdaten des Motors: Nennleistung (ECE-R24) 350 PS (258 kW), Nenndrehzahl 2100 U/min (JOHN DEERE 2006). Zwischen der Zugmaschine und dem Bodenbearbeitungsgerät wurde ein Zugkraftmessrahmen an der Dreipunktaufhängung angebaut.

Zugkraftmessrahmen

Für die Untersuchungen zum Zugkraftbedarf wurde der am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim vorhandene Sechs-Komponenten-Kraftmessrahmen mit Kraftmessdosen der Firma Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM) eingesetzt (Abbildung 8). Dieser Messrahmen ist in der Lage, Zug- und Seitenkräfte zwischen Schlepper und Gerät zu messen.

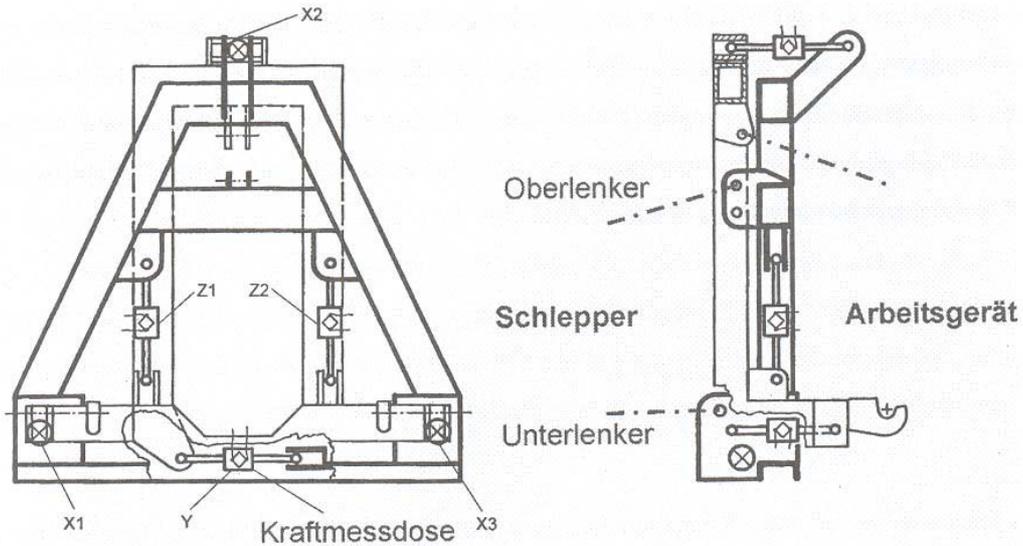


Abbildung 8: Sechs-Komponenten-Kraftmessrahmen (x, y, z: Messachsen; SCHUTTE 2005)

Eine Übersicht der technischen Daten des verwendeten Kraftmessrahmens wird in Tabelle 3 gegeben.

Tabelle 3: Technische Daten des Kraftmessrahmens zur Zugkraftbestimmung zwischen Schlepper und Gerät (SCHUTTE 2006)

Sechs-Komponenten-Kraftmessrahmen	
Verwendete Kraftmessdosen	Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH 6 x Wägezellen U2A
Nennlast	+/- 100 kN
Bruchlast	> 300 kN
Nennkennwert	2 mV/V
Genauigkeitsklasse	G2, entspricht 0,5 % Genauigkeit der Kraft
Trägerfrequenzmessverstärker	HKM - Messtechnik GmbH
Letzte Kalibrierung	Prüfstandskalibrierung von ausgebauten Kraftmessdosen und Messverstärkern am 19.05.2003 HKM GmbH
Ausgangssignal	+/- 5 V
Spannungsversorgung	12 V
Versatz zwischen Schlepper und Gerät	Wahlweise zwischen 580 mm oder 640 mm
Gesamtgewicht des Kraftmessrahmens	~ 900 kg

Die Zugkräfte wirkten nur in Zugrichtung, da der eingesetzte Grubber aufgesattelt war.

Bodenbearbeitungsgerät

Der Amazone Centaur 3002 (siehe Abbildung 5) ist eine Kombination von Grubber und Scheibenegge. Das Gerät ist in vier Arbeitsbereiche unterteilt: Vorverdichtung, Grubber, Scheibenegge und Rückverfestigung.

Die sichere Tiefenführung über die gesamte Arbeitsbreite wird durch die Abstützung des Rahmens auf eine vorlaufende Reifenpackerwalze und einer nachlaufenden Keilringwalze gewährleistet. Die Werkzeugrahmen sind im Parallelogramm geführt. Der Geräterahmen trägt das vierreihige hydraulisch verstellbare Zinkenfeld. Beim Centaur 3002 mit drei Meter Arbeitsbreite sind es 15 Federstahlzinken mit einem Strichabstand von 200 mm. Die Federzinken können mit unterschiedlichen Scharen ausgerüstet werden. Im Bodenbearbeitungsversuch in Littdorf wurden das Flügel- (Breite: 170 mm) und das Wendelschar (Breite: 75 mm) benutzt.

Als Planierelement dienen zwei Reihen mit je acht schräg zur Fahrtrichtung angesetzten Hohl-scheiben mit einem Durchmesser von 460 mm. Ihre Aufgabe ist es, Pflanzenrückstände und Boden intensiv zu mischen und zusätzlich die Bodenoberfläche zu planieren. Die hintere Keilringwalze hat einen Durchmesser von 580 mm und verfestigt den Boden streifenweise (AMAZONE BBG 2006).

Für die Durchführung der ortsspezifischen Bodenbearbeitung musste das von der Firma Amazone zur Verfügung gestellte Seriengerät modifiziert werden. Das Zinkenfeld des Standardgerätes Centaur 3002 konnte über die Schlepperhydraulik in der Höhe verstellt werden. Zur Orientierung der Einstelltiefe diente eine Tiefenskala (AMAZONE BBG 2006). Die manuelle Einstellung der Arbeitstiefe sollte im Projekt von einer elektronischen Steuerung übernommen werden. Um die Arbeitstiefe des Zinkenfeldes zu ermitteln, wurde ein elektronischer Weggeber parallel zum Hydraulikzylinder angebracht und kalibriert.

Zur ortsspezifischen Tiefenvariation wurde eine Mischung aus on- und offline-Verfahren verwendet. Zum einen wurden fixe Applikationskarten hinterlegt. Zusätzlich wurde aber auch ein Sensor eingesetzt, der die Arbeitstiefe steuerte. Abbildung 9 zeigt den schematischen Aufbau der Steuerungseinheit.

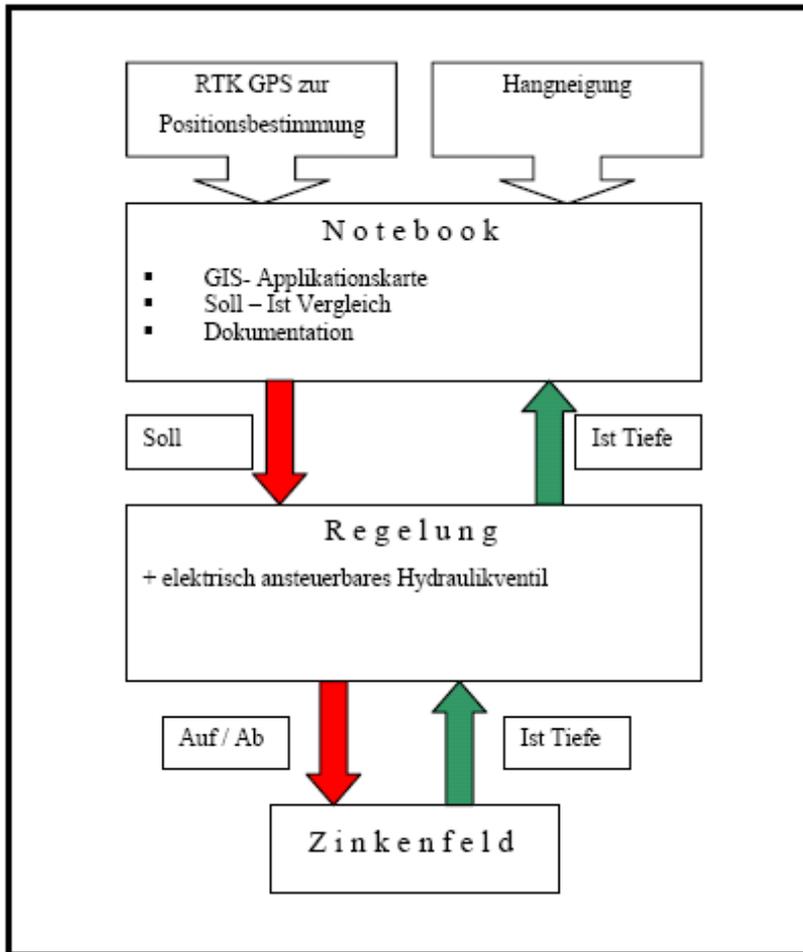


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Gerätesteuerung (GALL 2006)

Das Notebook bekam als Input das RTK-GPS Signal sowie die durch den Neigungssensor gemessene Hangneigung. Diese Daten wurden verarbeitet und mit dem hinterlegten Algorithmus verglichen. Aus der resultierenden Information wurde der Soll-Wert berechnet und mit dem Ist-Wert verglichen. Stimmt Soll- und Ist-Tiefe nicht überein, wurde über ein elektrisch ansteuerbares Hydraulikventil das Zinkenfeld des Grubbers auf oder ab bewegt. Der Weggeber registrierte die Ist-Tiefe und sendete diese zum Notebook. Die einzelnen zur Gerätesteuerung benötigten Elemente werden im Folgenden näher erläutert.

Neigungssensor

Zur Messung der Hangneigung wurde der zweiachsige Neigungssensor CXTA 02 der Firma Crossbow verwendet (Abbildung 10). Und zwar mittels MEMS Sensorelement, das die Neigung gegenüber der Erdanziehungskraft misst.



Abbildung 10: Neigungssensor (CMT GMBH 2006)

Eingesetzte GPS Positionierungssysteme

Das Bodenbearbeitungsgerät wurde mit einem Topcon RTK-GPS Empfänger ausgestattet (Tabelle 4). Dieser bestand aus einer GPS Antenne, einer dGPS Antenne und einem Empfängergerät (Receiver; Abbildung 11). Die GPS Antenne wurde über der vorderen Reifenpackerwalze in der Mitte des Arbeitsgerätes installiert, die dGPS Antenne seitlich am Arbeitsgerät. Der GPS Empfänger wurde ebenfalls am Gerät angebracht. Zusammen mit der auf dem Centaur befindlichen Steuerungselektronik und einem Laptop stellte diese Anordnung ein geschlossenes Arbeitssystem dar.



Abbildung 11: Receiver - Topcon Legacy E/H (TOPCON EUROPE 2006)

Auf dem Laptop wurde zusätzlich eine Orientierungshilfe programmiert. Hiermit konnte abgelesen werden, in welcher Versuchsparzelle sich das Gerät zum jeweiligen Zeitpunkt befand.

Tabelle 4: Technische Daten des verwendeten RTK – GPS Systems (SCHUTTE 2005)

Hersteller	Topcon
Bezeichnung	Legacy E
Systembestandteile	GPS- Empfänger Referenzstation Funkmodem Sender (0,5 W) Akku (12 V) Referenzstation GPS- Empfänger Mobil Funkmodem Empfänger
Aktualisierungsrate	20 Hz
Maximaler Abstand Referenzstation – Mobilempfänger	2- 3 km
Schnittstellen	jeweils 2 x RS 232
Positionsbestimmung durch Nutzung der Signale von	GPS, GLONASS
Genutzte Frequenzen	L1/L2, C/A, P
Unterstützte Datenformate	RTCM, NMEA 0183, JPS
Statusanzeige	LED
Konfiguration	Via Notebook- PC + RS 232

Auf dem Traktor wurde das vorhandene automatische Lenksystem AutoTrac genutzt. Durch das von der Firma John Deere zur Verfügung gestellte StarFire II-Korrektursignal war eine sehr hohe Spurtreue des Systems gewährleistet.

Mit Hilfe der automatischen Getriebesteuerung AutoPowr konnte eine konstante Fahrgeschwindigkeit von 12 km/h eingestellt werden, so dass annähernd gleichmäßige Arbeitsgeschwindigkeiten realisiert wurden.

Wegaufnehmer

Um die exakte Position des Zinkenfeldes zu bestimmen, wurde am Centaur ein potentiometrischer Wegaufnehmer der Firma Novotechnik mit der Bezeichnung LWG 360 installiert (Abbildung 12). Dieser besitzt einen definierten elektrischen Messbereich von 360 mm (NOVOTECHNIK 2006).

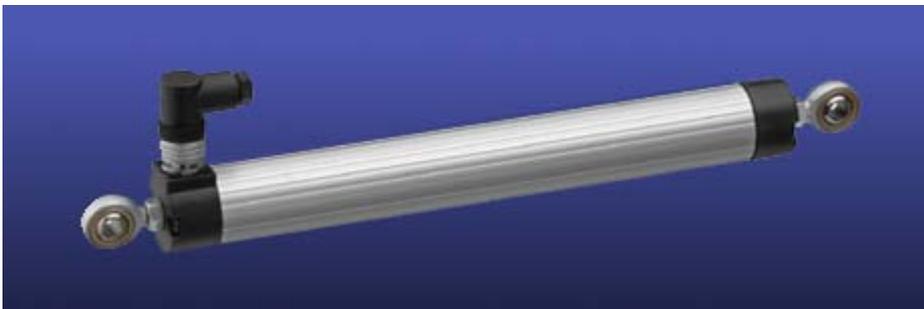


Abbildung 12: Wegaufnehmer LWG 360 (NOVOTECHNIK 2006)

2.2.2.3 Datenerhebung und Messgenauigkeit

Der Topcon Receiver sendete die GPS-Daten. Die Neigungswerte wurden vom Neigungssensor übermittelt, die Soll- und Ist- Tiefe vom Wegaufnehmer. Der Sechs-Komponenten-Kraftmessrahmen ermittelte die momentan erforderliche Zugkraft. Alle erfassten Daten (siehe Tabelle 5) wurden im dbase (dbf) Format gespeichert und konnten graphisch im GIS (ESRI ArcView 3.2) dargestellt werden.

Tabelle 5: Je Messpunkt empfangene und aufgezeichnete Daten (GALL 2006)

lfd.	Identifikationsnummer
UTM_Time	Universal Transverse Mercator, Zeit
GGA_Nord	WGS 84 Höhe
GGA_OST	WGS 84 Breite
GK_R_GPS	Gauß- Krüger Koordinaten rechts
GK_H_GPS	Gauß- Krüger Koordinaten hoch
Höhe_NN	Höhe über Normal Null
Speed	Geschwindigkeit in km/h
Track_Deg	Bewegungsrichtung in Grad
HDOP	Horizontal Dilution of Precision
QualIndex	GPS Qualitätsangabe
Sat_in_vi	Anzahl zur Berechnung verwendeter Satelliten
AO0	Output Satellitensignal
AI0- AI bis AI15	Input Satellitensignal
Neigung X, Neigung Y, Neigung Ges	Neigung in X-/ Y- Richtung, resultierende Neigung
Zugkraft X	Erforderliche Zugkraft in kN
Soll-Tiefe	Zielvorgabe Arbeitstiefe
Ist-Tiefe	Tatsächliche Arbeitstiefe
Leistung	Erforderliche Zugleistung in kW

Die Rate der Messwiederholungen lag bei 0,5 Sekunden. Als zusätzliche Informationen wurde den Daten ihre Position im vorgegebenen Raster, die Art der Vorbearbeitung, der verwendete Schartyp und die Art der Regelung (fix oder automatisch) zugewiesen. Außerdem wurde die Fahrtrichtung (bergauf oder bergab) berücksichtigt.

2.2.2.4 Berechnung des Kraftstoffbedarfs

Der Kraftstoffverbrauch bei Feldarbeiten ist abhängig vom Zugleistungsbedarf (SCHREIBER 2006). Der Zugleistungsbedarf (P) setzt sich aus Zugkraftbedarf (F) und Fahrgeschwindigkeit (v) zusammen (Gleichung 1).

$$P = F \cdot v \quad (1)$$

Zur Ermittlung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs wurde ein modellierter, spezifischer Kraftstoffverbrauch b_{eM} herangezogen. Dabei handelt es sich vereinfacht ausgedrückt um eine Annäherung an das optimale Motorkennfeld durch ein Polynom dritten Grades. Der spezifische Kraftstoffverbrauch b_{eM} in g/kWh ist abhängig von dem tatsächlichen Leistungsbedarf P_{Motor} und dem Leistungsbedarf P_{Nenn} bei Nenndrehzahl. P_{Motor} ist der erhobene Zugleistungsbedarf. P_{Nenn} wurde der Produktbeschreibung des Traktorherstellers entnommen. Daraus folgen Gleichung (2) und (3).

$$b_{eM} = 457 - 980 \cdot \frac{P_{Motor}}{P_{Nenn}} + 1260 \cdot \left(\frac{P_{Motor}}{P_{Nenn}} \right)^2 - 523 \cdot \left(\frac{P_{Motor}}{P_{Nenn}} \right)^3 \quad (2)$$

Der zeitbezogene Kraftstoffverbrauch $B'_{H;t}$ in kg/h berechnet sich nach:

$$B'_{H;t} = \frac{b_{eM} \cdot P_{Motor}}{1000} \quad (3)$$

Für die Umformung in Liter musste der erhaltene Wert durch die Dichte (ρ) des Kraftstoffs (Diesel $\rho = 0,82$) dividiert werden. So erhält man $B'_{H;t}$ in l/h. Unter Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeit (v) und der Arbeitsbreite (b) wird durch Gleichung (4) die Flächenleistung pro Stunde (A_h) ermittelt.

$$\begin{aligned} v &= 12 \frac{km}{h} = 3,33 \frac{m}{s} \\ b &= 3m \\ v \cdot b \cdot 3600 &= A_h = 3,6 \frac{ha}{h} \end{aligned} \quad (4)$$

Daraus ergibt sich nach Gleichung (5) der Kraftstoffverbrauch pro Hektar.

$$Kraftstoffverbrauch / ha = \frac{B'_{H;t}}{A_h} \quad (5)$$

2.2.2.5 Erstellung des digitalen Versuchsplans

Der Versuchsplan (Abbildung 2) wurde mit Hilfe einer Microsoft Excel Tabelle erstellt und anschließend in ein für das Steuerungsprogramm lesbares Format (csv) konvertiert.

Die Spalten stellen die jeweiligen Fahrspuren dar. Die Länge der Blöcke beträgt jeweils 50 m. Die zu bearbeitende Tiefe wurde als Zahlwert in Zentimeter eingegeben. Sollte das Gerät automatisch regeln, so wurde als Zahlwert 100 eingegeben - wobei hier wiederum die maximalen und minimalen Arbeitstiefen denen der jeweiligen Varianten entsprechen.

Der Regelalgorithmus in Abhängigkeit von der Hangneigung ist in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Regelalgorithmus zur automatischen Regelung der Arbeitstiefe (cm) nach der Hangneigung (GALL 2006)

Hangneigung	Variante		
	SE WS	SE FS	OB FS
0 - 2,5	20	12	12
2,5 - 5,5	17	10	10
5,5 - 10,5	15	7	7
> 10,5	12	5	7

SE WS: Vorbearbeitung mit Scheibenegge - Wendelschar; SE FS: Vorbearbeitung mit Scheibenegge - Flügelschar; OB FS: Ohne Vorbearbeitung - Flügelschar

3 Ergebnisse

Die statistische Auswertung der Versuchsdaten erfolgte mittels Varianzanalyse. Die Variantenunterschiede wurden mit dem LSD-Test bei $\alpha = 5\%$ beurteilt. Unterschiedliche Buchstaben in den Ergebnistabellen kennzeichnen signifikante Unterschiede.

3.1 Niederranschütz

Der Mittelwertvergleich der Varianten ergab (siehe Tabelle 7) keine signifikanten Unterschiede bezüglich Bestockung, Bestandesdichte und Ertrag. Im Hinblick auf den Feldaufgang der Triticale bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den Grubbervarianten und der Direktsaatvariante, die den geringsten Feldaufgang aufwies. Beim Vergleich der Tausendkorngewichte ergaben sich deutliche Unterschiede zwischen der flachen und der tiefen Grubbervariante. Das durchschnittliche Tausendkorngewicht der Direktsaatvariante war am geringsten und lag signifikant unter den Werten aller Grubbervarianten.

Tabelle 7: Wirkung verschiedener Bodenbearbeitungstiefen auf Ertragsparameter von Triticale (Niederranschütz 2005)

Variante	Arbeits-tiefe	Feldauf-gang [Pfl./ m ²]	Bestockung [Triebe/m ²]	Bestandes-dichte [Ähren / m ²]	Ertrag [dt/ha]	TKG [g]	
Grubber	Flach	5 cm	267 a	1057	567	95,2	43,45 b
	Mittel	10 cm	267 a	1038	548	98,0	44,84 a
	Tief	15 cm	273 a	1049	532	92,0	43,57 ab
Direktsaat	-	219 b	1052	553	98,9	41,68 c	
LSD		21	125	59	8,6	1,34	

3.2 Littdorf

3.2.1 Zugkraftbedarf

In Abbildung 13 sind die erforderlichen Zugkräfte zur Bodenbearbeitung dargestellt (siehe auch Versuchsplan Abbildung 2). Die Punktinformation Zugkraft ist als farbliche Abstufung des ansteigenden Zugkraftbedarfs von hellrot über rot bis dunkelrot dargestellt.

Der Zugkraftbedarf wurde über den gesamten Wertebereich in fünf gleichgroße Klassen mit gleicher Klassengröße (9,28 kN) eingeteilt. Der Wertebereich $< 19,62$ kN sowie $> 47,46$ kN wurde in jeweils einer Klasse zusammengefasst. Dabei ist ein Farbraster zu erkennen, das deckungsgleich mit den Tiefenvorgaben des Versuchsplans ist.

Weiter sind abwechselnd Streifen zu erkennen mit höherem hellen bzw. dunklen Farbanteilen. Die Streifen entstehen durch die abwechselnden Bergauf- bzw. Bergabfahrt. In der statistischen Auswertung wurde dies berücksichtigt, indem jeder Fahrspur die Fahrtrichtung als Information hinzugefügt wurde.

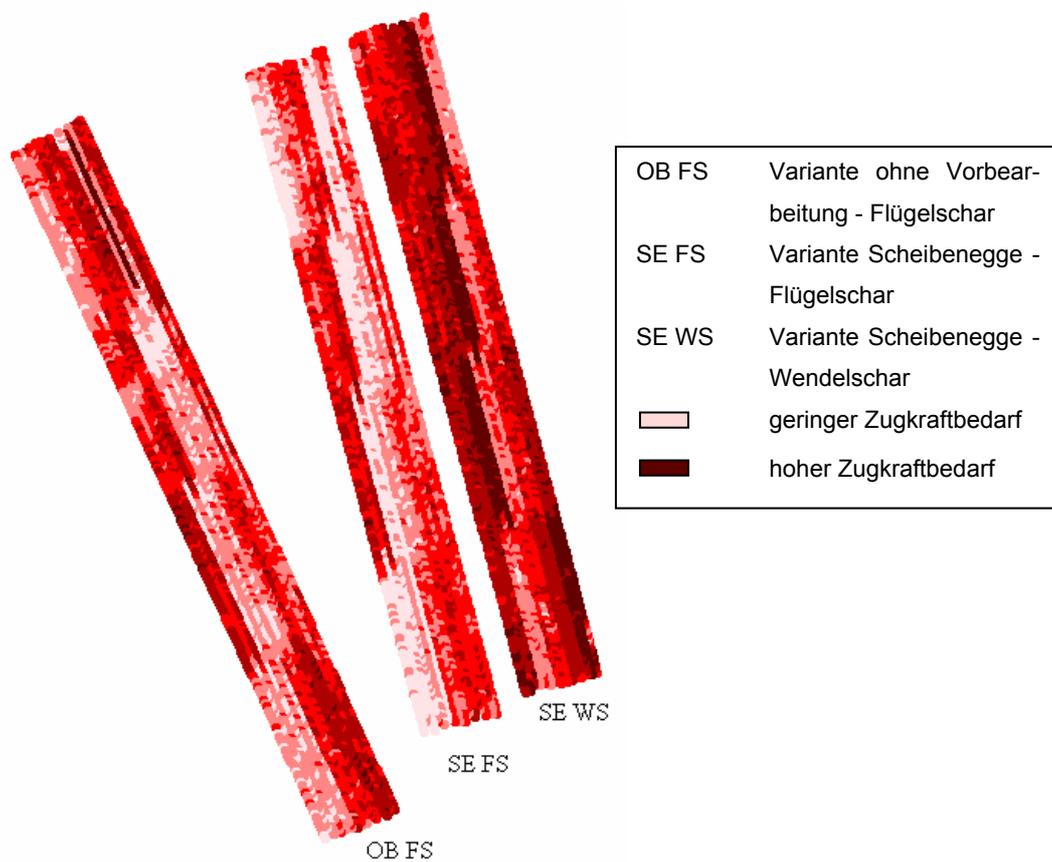


Abbildung 13: Zugkraftbedarf in den Bearbeitungsvarianten in Littdorf (GALL 2006)

Es war festzustellen, dass der Zugkraftbedarf bei allen Varianten mit der Arbeitstiefe zunahm (Abbildung 14). Weiterhin ist zu erkennen, dass die Vorbearbeitung bei der Flügelscharvariante [FS] erheblichen Einfluss auf den Zugkraftbedarf hatte. Dabei liegen die Werte mit Vorbearbeitung [SE] unter denen ohne Bearbeitung [OB]. Die Wendelschardaten [WS] ergaben eine deutliche Zunahme des Zugkraftbedarfs aufgrund der tieferen Bearbeitung.

Die Regulierung der Arbeitstiefe nach der Hangneigung führte zu einem verminderten Zugkraftbedarf im Vergleich zu den größten fest eingestellten Bearbeitungstiefen (grüne Säulen, ohne konstante Arbeitstiefe).

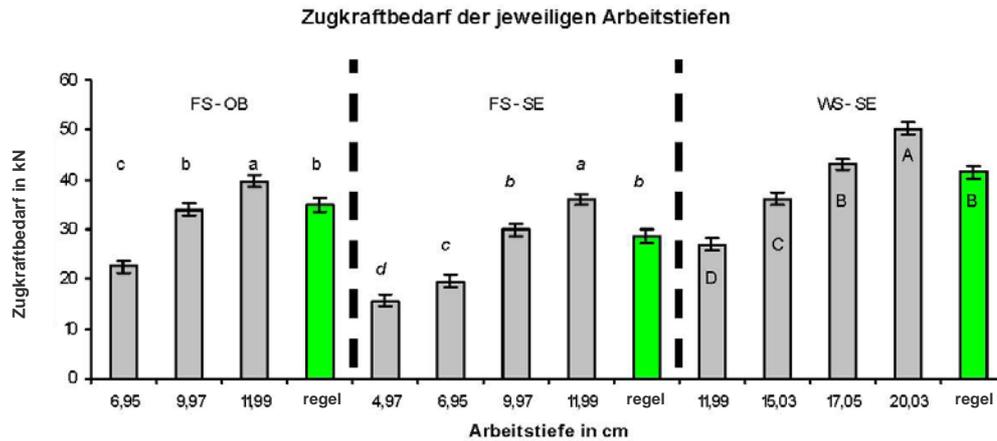


Abbildung 14: Zugkraftbedarf bei verschiedenen Arbeitstiefen (FS-OB: Flügelschar - ohne Vorbereitung, FS-SE: Flügelschar-Vorbereitung mit Scheibenegge, WS-SE: Wendelschar-Vorbereitung mit Scheibenegge; Mittelwerte und Standardfehler des Mittelwerts; Säulen mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant innerhalb einer Schar-Vorbereitungskombination (t-Test, $p = 5\%$) (GALL 2006)

3.2.2 Kraftstoffverbrauch

Der Kraftstoffverbrauch wurde anhand der Zugkraftwerte nach dem im Kapitel 2.2.2.4 beschriebenen Verfahren berechnet. Daraus ergab sich analog zu den Zugkraftwerten eine Zunahme des Kraftstoffbedarfs bei tieferer Bodenbearbeitung. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die in Tabelle 8 errechneten Werte allein den für die Bodenbearbeitung erforderlichen Kraftstoffverbrauch bzw. -bedarf darstellen.

In Abbildung 15 sind die in der Tabelle errechneten Werte für den Kraftstoffverbrauch (l/ha) dargestellt. Der Kraftstoffverbrauch schwankt innerhalb einer Vorbereitungs-Schar-Variante zwischen 6,50 - 9,47 l/ha [OB, FS], 5,23 - 8,77 l/ha [SE, FS] sowie zwischen 7,24 und 11,88 l/ha [SE, WS].

Tabelle 8: Berechnung des Kraftstoffverbrauchs für unterschiedliche Schare und Arbeitstiefen (GALL 2006)

VB	Sch	Tiefe cm	sys	Zug- kraft kN	P _{Motor} kW	b _{eM} g/kWh	B _{H,t} kg/h	B _{H,t} l/h	Ver- brauch l/ha
OB	FS	7	fix	22,47	74,83	256,28	19,18	23,39	6,50
OB	FS	10	fix	33,98	113,15	219,14	24,80	30,24	8,41
OB	FS	12	fix	39,65	132,03	211,52	27,93	34,06	9,47
OB	FS	7-12	regel	34,94	116,35	217,43	25,30	30,85	8,58
SE	FS	5	fix	15,63	52,05	296,54	15,43	18,82	5,23
SE	FS	7	fix	19,46	64,80	272,08	17,63	21,50	5,98
SE	FS	10	fix	29,84	99,37	228,71	22,73	27,71	7,71
SE	FS	12	fix	35,99	119,85	215,78	25,86	31,54	8,77
SE	FS	7-12	regel	28,58	95,17	232,41	22,12	26,97	7,50
SE	WS	12	fix	26,96	89,78	237,74	21,34	26,03	7,24
SE	WS	15	fix	36,11	120,25	215,60	25,93	31,62	8,79
SE	WS	17	fix	43,06	143,39	209,40	30,03	36,62	10,18
SE	WS	20	fix	50,29	167,47	209,17	35,03	42,72	11,88
SE	WS	15-20	regel	41,53	138,29	210,16	29,06	35,44	9,86

P _{Nenn}	V	AB (b)	ρ (Diesel)	A _F	A _n
kW	m/s	m	kg/l	m ²	ha/h
236	3,33	3,00	0,82	10 000	3,6

VB: Vorbearbeitung, Sch: Schare, sys: Regelsystem, OB: ohne Vorbearbeitung, SE: Scheibenegge, FS: Flügelschar, WS: Wendelschar

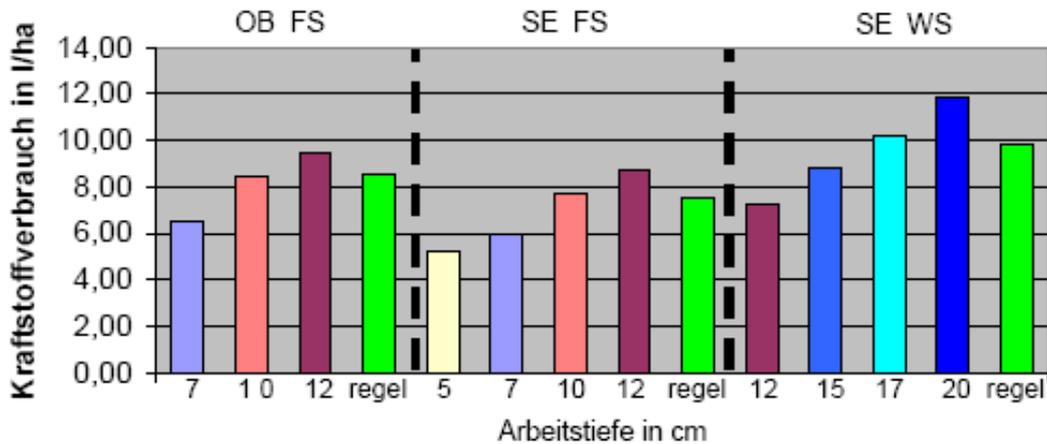


Abbildung 15: Kraftstoffverbrauch bei unterschiedlichen Arbeitstiefen (OB FS: ohne Vorbearbeitung-Flügelschar, SE FS: Scheibenegge-Flügelschar, SE WS: Scheibenegge-Wendelschar; GALL 2006)

3.2.3 Evaluierung des Arbeitsgeräts hinsichtlich der autonomen Variation der Bearbeitungstiefe

Ein Ziel der Versuche war es, grundsätzlich die Funktion und weiterhin die Genauigkeit des Grubbers zu testen, zu dokumentieren und zu bewerten. Zur Bewertung wurde eine graphische Darstellung der Ergebnisse gewählt. Dazu wurde exemplarisch eine Darstellung für eine Variante mit gezielt vorgegebenen Tiefen herausgegriffen und die Regelgeschwindigkeit berechnet (Abbildung 16). Die nach Hangneigung geregelten Bereiche wurden herausgenommen und extra betrachtet.

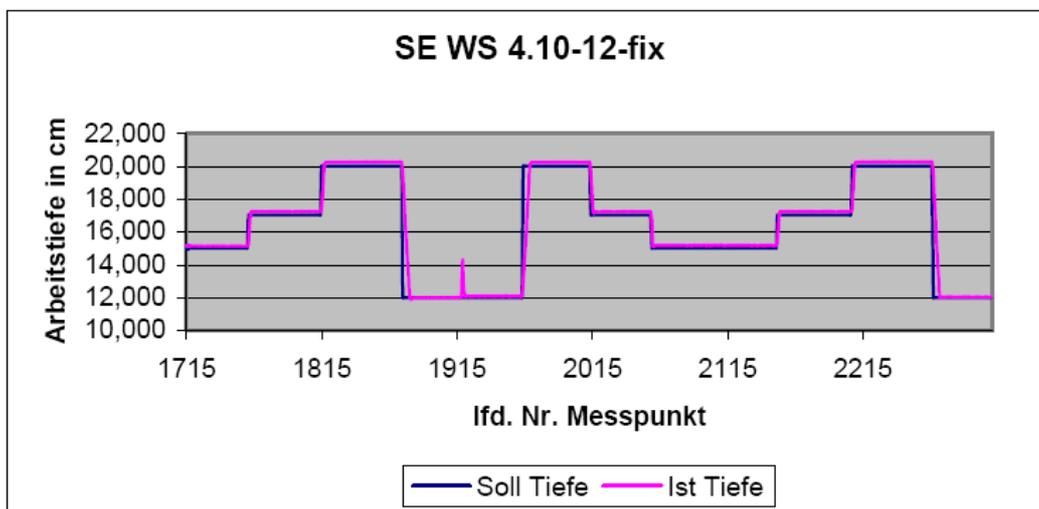


Abbildung 16: Soll-Ist-Wert Vergleich der Arbeitstiefen der Variante Scheibenegge-Wendelschar mit fest vorgegebenen Arbeitstiefen (GALL 2006)

Die Variante SE WS 4.10-12-fix ist eine Variante mit Scheibeneggevorarbeit und Wendelschareinsatz. Die Soll-Arbeitstiefen von 12, 15, 17 und 20 cm (Ifd. Nr. 1715 bis 2311) wurden präzise er-

reicht und eingehalten. Nur bei großen Sprüngen in der Arbeitstiefe (20 cm auf 12 cm) wird ein kleiner Regelzeitverzug des Hydraulikzylinders sichtbar.

In Abbildung 17 sind die Soll- und Ist-Werte beim Übergang von 12 cm Arbeitstiefe auf 20 cm Arbeitstiefe dargestellt.

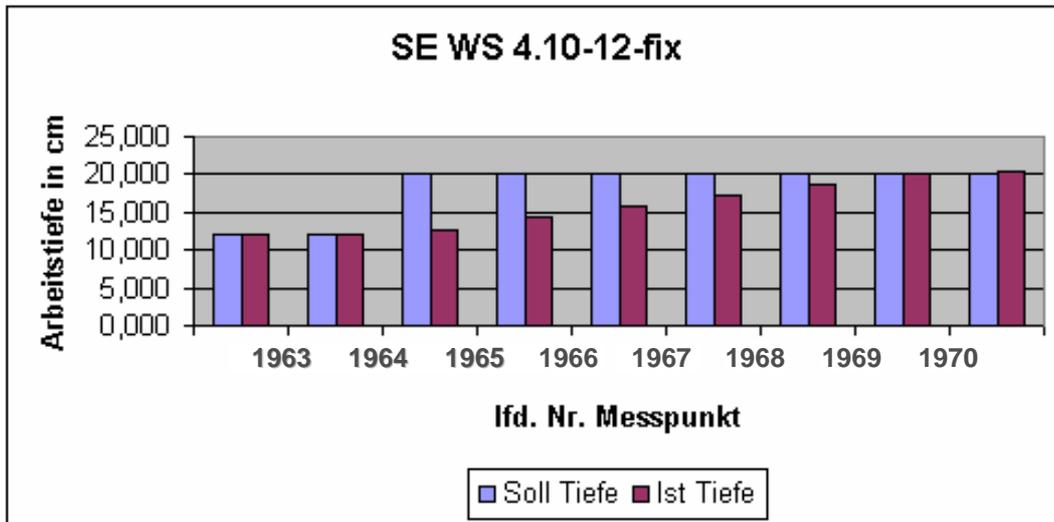


Abbildung 17: Beispielhafte Annäherung der Ist-Tiefe an die Soll-Tiefe der Variante Scheibenegge-Wendelschar beim Übergang von 12 auf 20 cm Arbeitstiefe (GALL 2006)

Die benötigte Zeit bis der Ist-Wert den Soll-Wert erreicht, lässt sich über die Uhrzeiten der Messdatenaufnahme (siehe Kapitel 2.2.2.3) berechnen. So liegt die UTM Zeit für die Ifd. Nr. 1965 bei 133701,50 Uhr und für die Ifd. Nr. 1970 bei 133704,00 Uhr. Daraus ergibt sich eine Zeitspanne von 2,5 sec, bis das Zinkenfeld von 12 cm auf 20 cm Arbeitstiefe geregelt hat. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 12 km/h (3,33 m/s) ergibt sich eine Regelstrecke von 8,3 m, bis die Arbeitstiefe von 12 cm auf 20 cm geregelt wurde.

Zum Vergleich ist in Abbildung 18 der Übergang von 15 cm auf 17 cm dargestellt. In diesem Fall liegt die Übergangszeit zwischen Messpunkt Nr. 2153 und 2155 bei 1,0 sec. Die gewünschte Arbeitstiefe konnte innerhalb von 3 m erreicht werden.

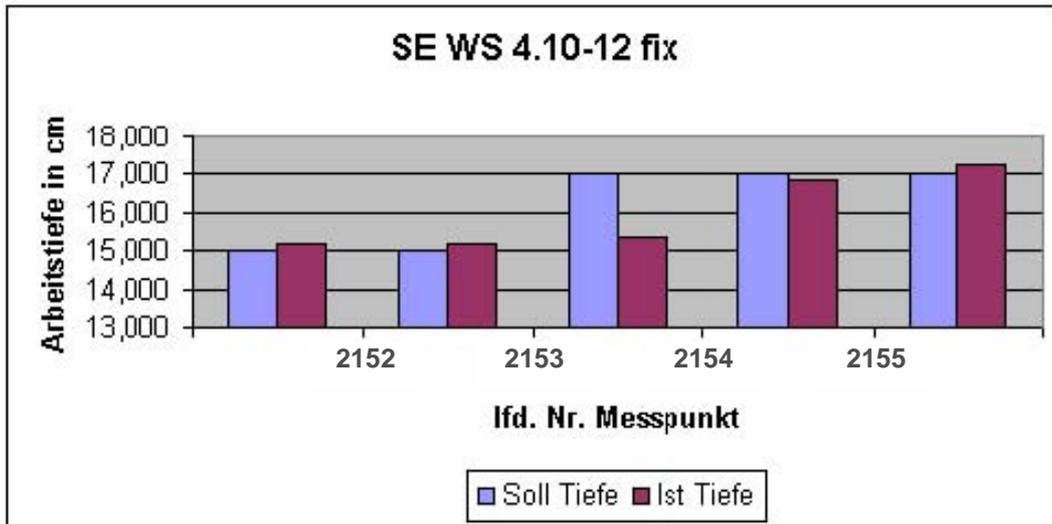


Abbildung 18: Beispielhafte Annäherung der Ist-Tiefe an die Soll-Tiefe der Variante Scheibenegge-Wendelschar beim Übergang von 15 auf 17 cm Arbeitstiefe (GALL 2006)

In jeder Schar-Vorbearbeitungs-Variante wurde eine Parzelle nach der Hangneigung geregelt. Der Soll-Wert wurde hier durch die vom Neigungssensor ermittelte Hangneigung berechnet. Je höher der Neigungswert war, desto flacher sollte gearbeitet werden. Abbildung 19 zeigt den Verlauf der Soll- und Ist-Werte der Arbeitstiefe des Grubberzinkenfeldes.

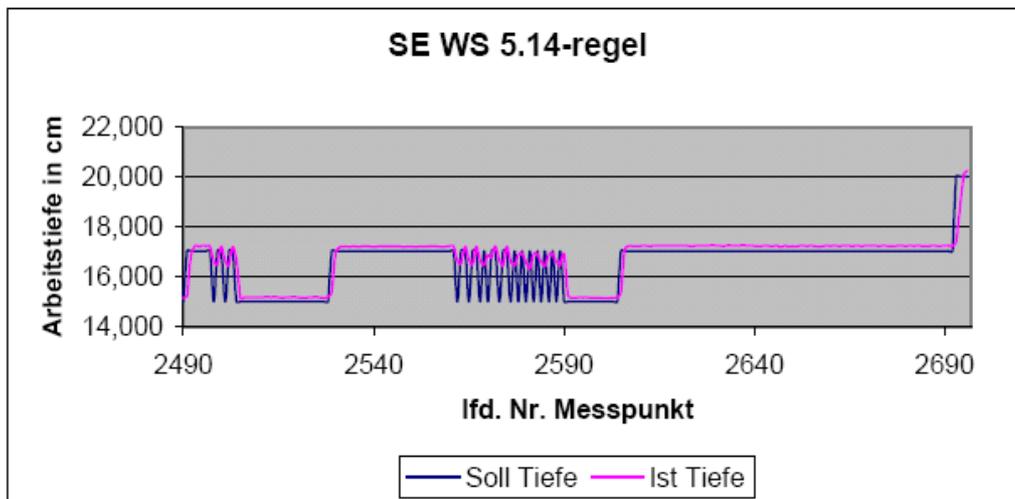


Abbildung 19: Soll-Ist-Wert Vergleich der Arbeitstiefen der Variante Scheibenegge-Wendelschar mit nach Hangneigung geregelten Arbeitstiefen (GALL 2006)

Die Soll-Tiefe oszillierte in einigen Hangabschnitten bedingt durch die geringe Dämpfung des hochpräzisen Hangneigungssensors. Die Ist-Tiefen-Regelung folgt diesen Signalen träger unter

Verringerung der Schwingungsamplitude von 2 cm auf etwa 0,5 cm. Andere Bereiche hingegen wurden im Regelsystem klar abgestuft (Abbildung 20).

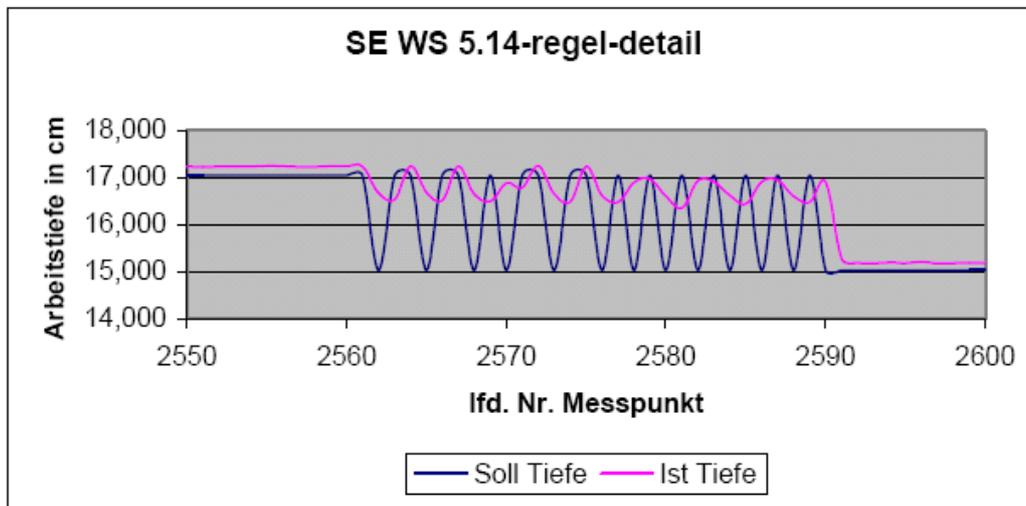


Abbildung 20: Vergleich des Soll- und des Ist-Werts der Variante Scheibenegge-Wendelschar bei der Regelung nach Hangneigung (GALL 2006)

3.3 Mockritz

3.3.1 Ergebnisse Beregnungsversuche

In der Tabelle 9 sind die wichtigsten Ergebnisse der Beregnungsversuche dargestellt.

Tabelle 9: Ergebnisse der Beregnungsversuche am Standort Mockritz 2005 und 2006

Variante		Arbeits- tiefe [cm]	Bodenbedeckung [%]		Anfangsboden- feuchte [Vol.-%]		Abflussbeginn [min]		Summe Wasserab- fluss [l/m ²]		Summe Bodenab- trag [g/m ²]	
			2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Direktsaat			91 a	-	30,8 a	-	9,5	-	9,7	-	52,4 c	-
Grubber	Flach	5	42 b	13,5 a	30,2 ab	27,9	8,2	6,3 a	7,3	13,3 b	74,2 c	212 c
	Mittel	10	34 b	11,0 a	29,3 bcd	26,5	9,3	3,0 b	8,2	23,4 a	87,1 b c	403 b
	Tief	15	34 b	7,8 ab	29,7 ac	26,6	7,8	2,5 b	8,9	23,1 a	143 b c	481 b
Stoppelpflug		10	17 c	3,3 ab	29,4 ad	26,8	6,2	2,5 b	11	26,4 a	205 a b	598 b
Zweischichtpflug		10/20	10 c	-	27,8 e	-	6,5	-	12	-	290 a	-
Pflug		20	-	4,3 b	-	26,8	-	2,2 b	-	27,8 a	-	866 a
LSD			8,6	6,2	1,3	1,6	4,7	2,7	5,2	7,29	123	255
LSD, Direktsaat			9,8	-	1,5	-	5,2	-	5,8	-	138	-

Vorfrucht 2005: Weizen, 2006: Raps

Im Jahr 2005 bestand kein Zusammenhang zwischen der ausgeführten Arbeitstiefe beim Grubbern und der Dichte der Mulchauflage. Bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 8 - 10 km/h reduzierte sich die Auflage von Winterweizenstroh aber gegenüber der Direktsaat von 91 % auf einen Bereich zwischen 34 - 37 %. Die beiden Pflüge bildeten in dieser Hinsicht eine weitere einheitliche Gruppe, jedoch auf einem signifikant niedrigeren Niveau mit 10 % bzw. 17 % (Tabelle 9).

Der Wasserabfluss von den Parzellen (nicht infiltrierter Anteil) erfolgte 2005 während der Beregnung bei allen Varianten in ähnlicher Ausprägung, außer bei der Direktsaat. Die Abflusskurven entwickelten sich weitestgehend parallel in geringem Abstand zueinander (Abbildung 21). Alle Varianten mit Bodenbearbeitung wiesen eine relativ starke Zunahme des Wasserabflusses im Zeitverlauf auf. Zum frühesten gemeinsamen Zeitpunkt des Abflussgeschehens, nach fünf Minuten, erfolgte der Ablauf des Wassers von den Parzellen relativ einheitlich bei $100 \text{ ml/m}^2 \text{ min}$. Im weiteren Verlauf nahmen die Abflusswerte der Variante Zweischichtenpflug am stärksten zu. Eine geringere Bodenbearbeitungsintensität war jeweils mit niedrigeren Wasserabläufen verbunden. Am günstigsten schnitt flaches Grubbern ab. Höhere Abflusswerte lieferten dagegen die mittlere und die tiefe Grubbervariante. Diese beiden Kurvenverläufe waren statistisch jedoch nicht unterscheidbar.

Einen vollkommen anderen Charakter zeigte die Kurve der Direktsaat. Hier setzte der erste Wasserabfluss relativ spät, erst nach sieben Minuten, aber vergleichsweise mit größter Intensität ein. Der weitere Verlauf war nur schwach steigend. In der letzten Phase der Beregnungszeit erreichten die Abflüsse zwischen 1 l/m^2 (Direktsaat) und $1,35 \text{ l/m}^2$ (Zweischichtpflug) je Minute, wobei $1,9 \text{ l/m}^2$ insgesamt aufgebracht wurden.

Die mittleren Abflussmengen je Minute unterschieden sich signifikant nur zwischen der flachen Grubberarbeit und der Zweischichtpflugarbeit.

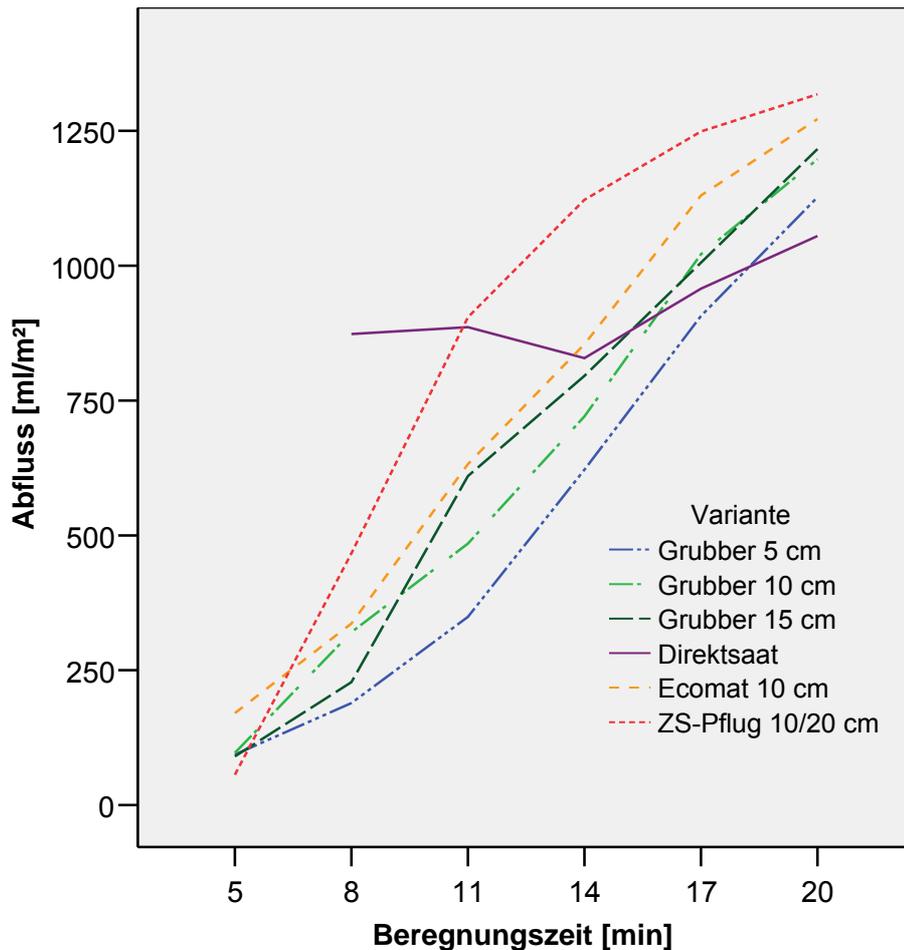


Abbildung 21: Oberflächenabflusses während der Niederschlagssimulation (Mockritz 2005)

Deutliche Unterschiede entwickelten sich bei den Bodenbearbeitungsvarianten hinsichtlich des Abtrages von Bodenmaterial (Abbildung 22). Der Bodenabtrag begann einheitlich und früh gleichzeitig mit dem ersten Wasserabfluss. Die Abtragswerte je Minute blieben auf den Direktsaatparzellen im Mittel mit $3,5 \text{ g/m}^2$ auf dem niedrigsten Niveau und zeigten keinen weiteren Anstieg im Zeitverlauf. Der flache (5 cm) und mitteltiefe Grubbereinsatz (10 cm) zog jeweils flach ansteigende Abtragswerte nach sich, so dass sich beide Endwerte etwa bei $10 \text{ g/m}^2 \text{ min}$ einstellten. Die weitere Vergrößerung der Arbeitstiefe beim Grubbern (15 cm) und der Einsatz der beiden Pflüge führten zum stärksten Bodenabtrag. Die relativ steilen Verlaufskurven erreichten ihre Endpunkte bei $21 \text{ g/m}^2 \text{ min}$ Bodenabtrag (Grubber 15 cm) sowie $28 \text{ g/m}^2 \text{ min}$ (Stoppelpflug 10 cm) und $45 \text{ g/m}^2 \text{ min}$ (Zweischichtenpflug 10/20 cm).

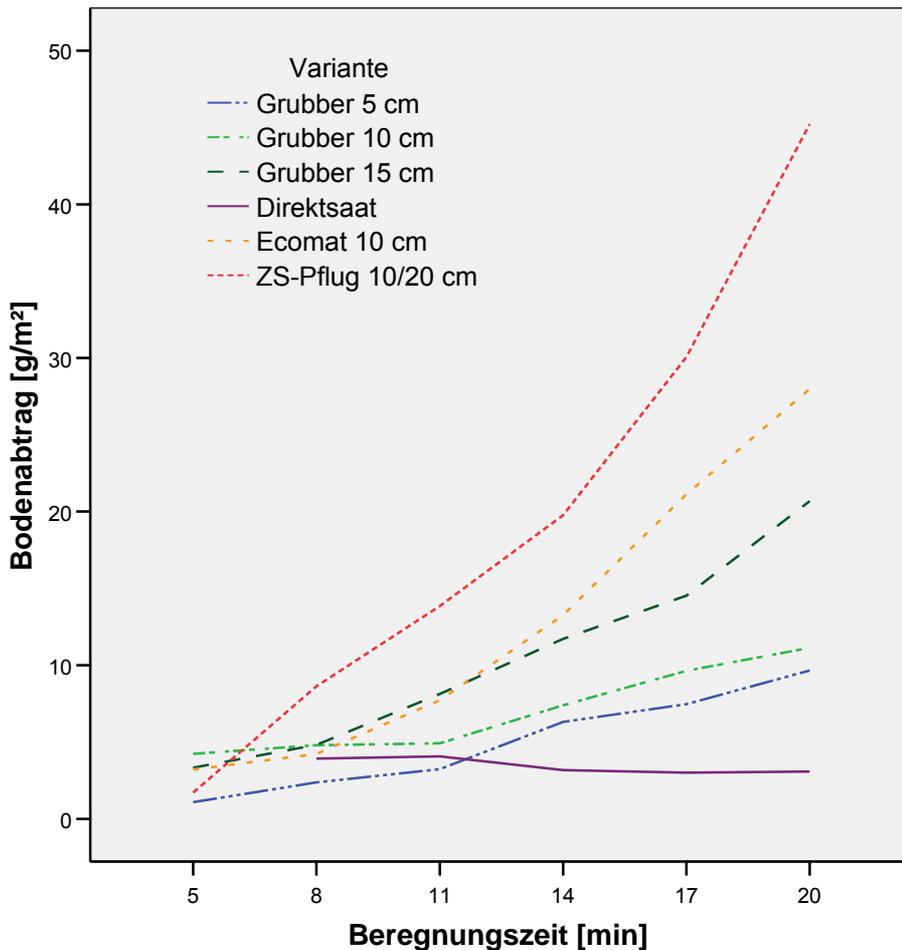


Abbildung 22: Bodenabtrag während der Niederschlagssimulationen (Mockritz 2005)

Die Bodenfeuchten zu Beginn der Beregnung der Varianten unterschieden sich signifikant (Tabelle 9). Die Direktsaatvariante hatte im Mittel die höchste Anfangsfeuchte von 30,8 Vol.-% Wassergehalt. Eine deutliche Differenz bestand zur mittleren Grubbervariante und zum Zweischichtenpflug. Der Zweischichtenpflug mit 27,8 Vol.-% Wassergehalt setzte sich zu allen weiteren Varianten signifikant ab. Als Ursache kommt ein unterschiedliches Abtrocknen der Varianten nach der Bodenbearbeitung in Frage.

Auf die Aggregatstabilität des Bodens hatte die differenzierte Bodenbearbeitung keinen Einfluss. Im Mittel wurde 2005 ein Wert von 19,1 % gefunden. Hierbei handelt es sich um einen niedrigen, für Lößböden typische Ausprägung, die die hohe Verschlammungsneigung dieser Böden zum Ausdruck bringt.

Im Vergleich zum Jahr 2005 wurden 2006 ergiebigerer Abläufe von Wasser (+34 %) und höhere Verluste von Bodenmaterial (+63 %) von den Testflächen während der Beregnungsversuche als

Mittelwerte gemessen. Die Einflussmöglichkeiten auf dieses Ergebnis waren vielfältig, so dass einzelne Faktoren nicht für die Unterschiede zwischen den Jahren isoliert werden können. Als Ursachen für die Differenzen kommen z. B. die Jahreswitterung, die Vorfrucht (2005: Weizen, 2006: Raps) oder Abweichungen in der Ausführung der Bodenbearbeitung in Frage.

Ausgeprägte Unterschiede zum Vorjahr wurden auch bei Anfangsbodenfeuchte und Mulchbedeckung der Ackeroberfläche vorgefunden.

Im Vergleich zum Vorjahr (2005) wurden 2006 um ca. 2-3 Vol.-% niedrigere Bodenfeuchten zum Beginn der Beregnungsversuche gemessen (Tabelle 9).

Die Vorfrucht Raps hinterließ nach der flachen Stoppelbearbeitung mit der Scheibenegge von 5 cm Tiefe und den ausgeführten Varianten nur Mulchauflagen von maximal 13,5 % Bedeckungsgrad. Erneut ließ die Variation der Bearbeitungstiefe mit dem Grubber keine Unterschiede im Mulchbedeckungsgrad erkennen. Lediglich das Pflügen führte zu signifikant geringeren Mulchauflagen gegenüber der flachen und mittleren Tiefeneinstellung am Grubber. 2005 wurde nach der Variantenerstellung noch mindestens 34 % Bedeckungsgrad beim Grubbern vorgefunden. Etwa 50 % der Jahresdifferenz beim Bodenabtrag lassen sich aus dem Mangel an Mulchmaterial nach Raps ableiten.

Beim Oberflächenabfluss können drei verschiedene Varianten bzw. Variantengruppen über den Zeitverlauf statistisch unterschieden werden (Abbildung 23). Den geringsten Wasserabfluss wies der nur 5 cm flach mit dem Grubber bearbeitete Boden auf. Nach 20 Minuten Beregnungsdauer konnten dort Wassermengen von 1,13 l/m² min von insgesamt 1,9 l/m² min nicht mehr infiltriert werden und liefen ab.

Die zweite Gruppe bildeten die Varianten Grubbern bei 10 cm und 15 cm Tiefe. Mit 1,68 l/m² min Abfluss hoben sich diese beiden Arbeitstiefen deutlich von der flachen Grubberarbeit ab und erreichten schon die Größenordnung der Pflüge. Das Pflügen führte im Mittel nach 20 Minuten zu einem Abfluss von 1,76 l/m² min unabhängig vom eingesetzten Gerätetyp.

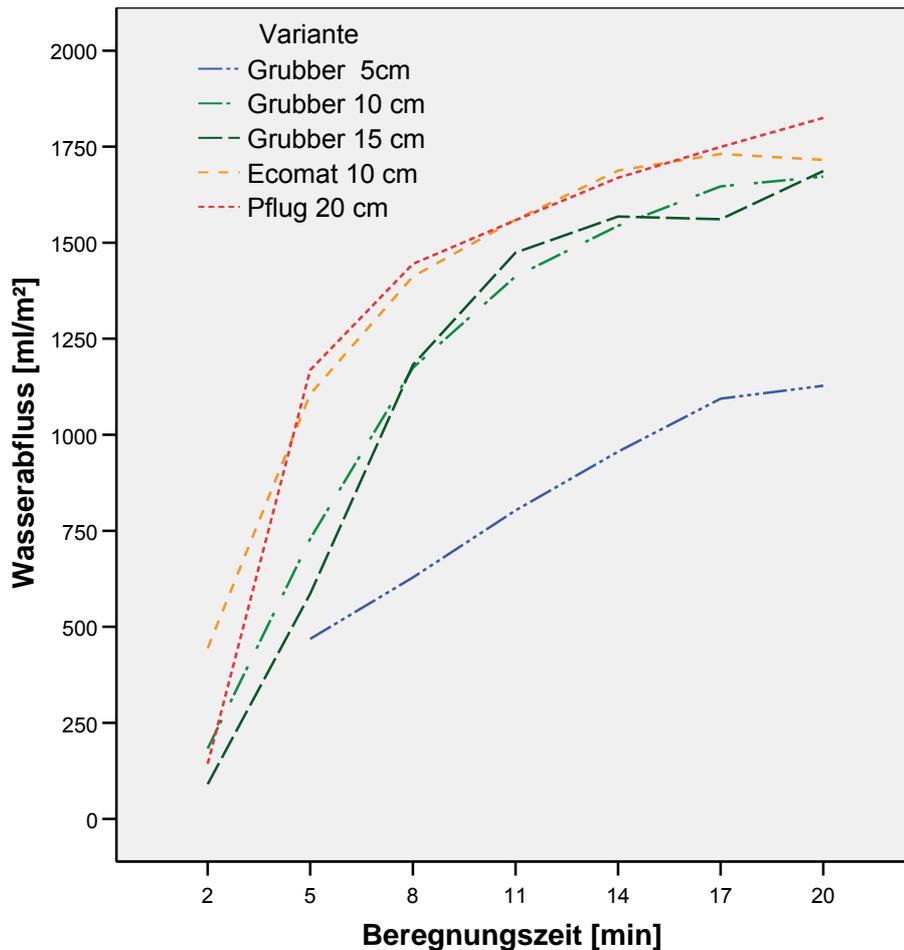


Abbildung 23: Oberflächenabfluss während der Niederschlagssimulation (Mockritz 2006)

Beim Bodenabtrag traten deutliche Differenzen der Zeitverläufe aller Varianten hervor (Abbildung 24). Im Allgemeinen staffelte sich die abgetragene Bodenmasse in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitungstiefe, wobei die beiden Pflüge die höchsten Abtragswerte verursachten.

Die extrem flache Bearbeitung mit dem Grubber von 5 cm hob sich auch durch die geringere Zunahme der Abtragswerte je Zeiteinheit von allen anderen Bodenbearbeitungsvarianten ab. Am Ende der Berechnungszeit betrug der Bodenabtrag bei der flachsten Grubbereinstellung nur rund 13 g/m² min. Bei den tieferen Grubberarbeiten und der flachen Pflugfurche (Stoppelpflug) wurde ein Bodenabtrag zwischen 30 – 40 g/m² min gemessen. Eine herkömmlich ausgeführte Pflugfurche steigerte den Bodenabtrag bis auf 67 g/m² in der letzten Berechnungsminute.

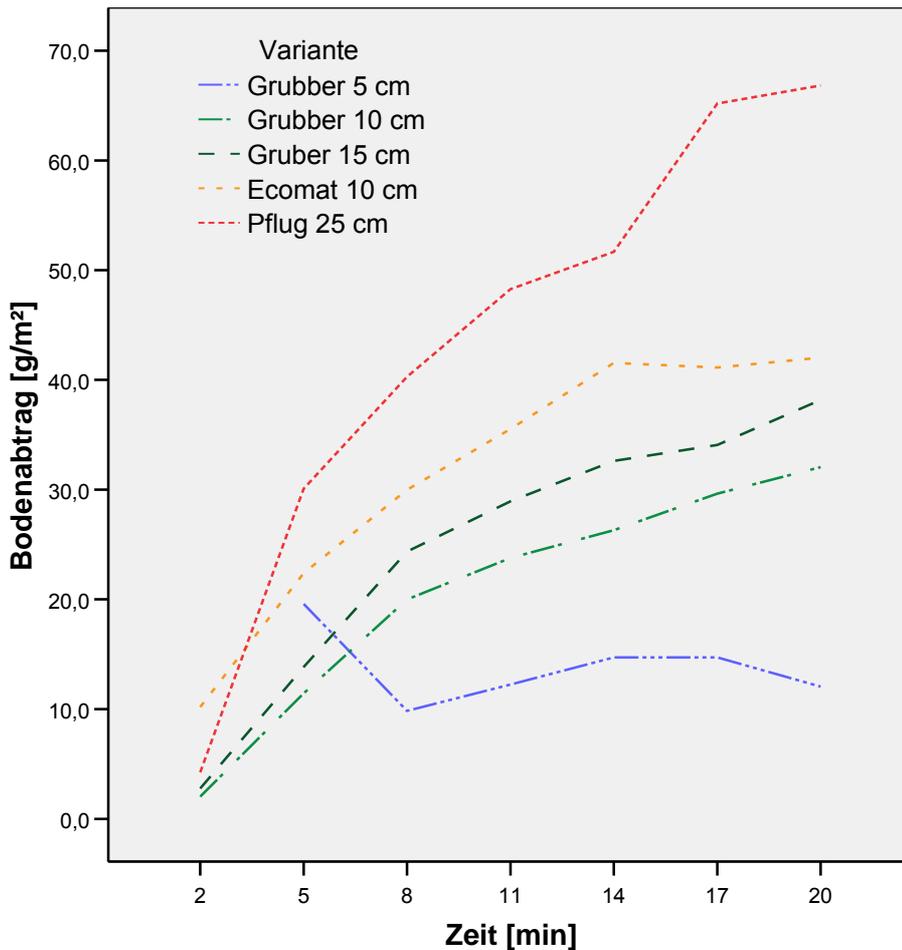


Abbildung 24: Bodenabtrag während der Niederschlagssimulationen (Mockritz 2006)

Bei den Anfangsfeuchten waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten feststellbar. Der Mittelwert der flachen Grubbervariante lag bei 27,9 Vol.-%. Die anderen Varianten schwankten um durchschnittlich 26,5 Vol.-%.

3.3.2 Ertragsparameter 2006/2007

In der Tabelle 10 sind die Mittelwerte der Ertragsparameter der einzelnen Varianten aufgeführt. Die Geräteart und Tiefe der Bodenbearbeitung hatten weder einen signifikanten Einfluss auf die Ertragsbildung insgesamt noch auf einzelne Bestandesparameter.

Tabelle 10: Übersicht zu den Ertragsparametern (Mockritz 2006/2007)

Variante		Arbeits- tiefe [cm]	Ertragsparameter						
			Feldauf- gang [Pflanzen/ m ²]	Bestandesdichte [Ähren/m ²]	Kornfeuchte [%]	TKG [g]	Sortierweizen [%]	Ausputz [%]	Ertrag* [dt/ha]
Grubber	Flach	5	267	486	13,63	42,36	0,40	0,22	96,78
	Mittel	10	255	480	13,83	41,95	0,53	0,29	94,82
	Tief	15	277	466	13,60	42,75	0,43	0,26	91,55
Stoppelpflug		10	246	486	13,89	42,32	0,46	0,27	95,02
Pflug		20	267	481	13,65	42,02	0,40	0,19	89,53
Mittelwert			262	480	13,72	42,28	0,44	0,25	93,54

*bezogen auf 100 % TS

4 Diskussion

4.1 Niederranschütz

Der Versuch unterstützt die These, dass Triticale bei konservierender Bodenbearbeitung relativ sicher etabliert werden kann. Mit einer tiefen Geräteeinstellung konnten keine wesentlichen Vorteile für die Bestandesetablierung, den Ertrag oder die Produktqualität gegenüber extrem flachen Varianten erreicht werden. Über die variable Bestockung bieten Getreidebestände allgemein Reserven hinsichtlich der Bestandesdichte auch bei einem niedrigeren Feldaufgang.

Die vergleichbare Bestandsentwicklung und die Erträge der drei Grubervarianten lassen den Schluss zu, dass insbesondere die Bodenbedingungen durch eine tiefe Bearbeitung nicht weiter verbessert werden konnten. Das Saatbett war sowohl bei flacher als auch bei tiefer Bearbeitung ausreichend gut gestaltet. Dieses Ergebnis muss allerdings in Zusammenhang mit der Kombination der Bodenbearbeitungsgeräte und der Aussaattechnik bewertet werden. Diese Maschinen beinhalten eine umfangreiche Zusammenstellung von Bodenbearbeitungsgeräten in Form von Walzen, Grubberwerkzeugen und Scheibeneggen und damit von kombinierten Arbeitsgängen. Entsprechend hoch ist der technische und investive Aufwand bei den Geräten. Die Ausführung der Mulchsaaten erfolgte unter diesem Gesichtspunkt mit bis zu vier flachen Bodenbearbeitungen. Selbst die „Direktsaat“ erfolgte mit einer flächenhaften, wenn auch flachen Bodenlockerung.

4.2 Littdorf

Die Zugleistung bei der Grundbodenbearbeitung ist abhängig von der Arbeitstiefe, der Wahl des Schartyps und davon, ob zusätzlich eine Stoppelbearbeitung erfolgte oder nicht. Der Zugleistungsbedarf stieg linear zwischen 8 – 11 kW je cm Arbeitstiefe an. Das Spektrum der ausgeführten Bodenbearbeitungsvarianten überspannte einen Zugleistungsbedarf von 52 bis 167 kW. Es sprechen alle hier erzielten Ergebnisse jedoch für eine flache und energiesparende Bodenbearbeitung. Das Flügelschar benötigt pro cm Arbeitstiefe zwar 3 kW mehr Zugleistung als das Wendelschar, aber die breiteren Flügelschare sichern auch bei flacher Arbeit die vollständige Bodenauflockerung. Je nach Zielsetzung in der Bodenbearbeitung finden beide Schartypen somit ihre Berechtigung. Eine zusätzliche flache (5 cm) Stoppelbearbeitung vor der Grundbodenbearbeitung verringerte den Zugleistungsbedarf nur leicht (1 kW/cm Arbeitstiefe Differenz).

Rechnerisch wurde gezeigt, dass der Kraftstoffverbrauch linear mit abnehmender Bearbeitungstiefe sinkt. Erfolgte die Regelung der Arbeitstiefe nach der Hangneigung, dann entsprachen der Zugleistungsbedarf und der Kraftstoffverbrauch der jeweils zweitiefsten Bodenbearbeitungsvariante (Abbildung 14 und Abbildung 15). Ursache für diesen relativ starren Zusammenhang ist die Abstufung der Hangneigungsintervalle im Rechenmodell. Hier müsste eine stärkere Anpassung der Neigungsintervalle an das Relief des Hanges erfolgen. Die tatsächliche Hangneigung betrug durchschnittlich 4,7 % und war in keinem Bereich größer als 10 %. Daraus resultiert, dass bei den Varianten mit vorausgehender Stoppelbearbeitung nie die flachste Arbeitstiefe von 12 cm (Wendelschar) bzw. 5 cm (Flügelschar) realisiert wurde. Bei der Variante ohne Stoppelbearbeitung wurde auf die flache

Grubberbearbeitung von 5 cm Tiefe verzichtet. Hier wurde minimal mit 7 cm bearbeitet (siehe Tabelle 6).

Vor dem Einsatz einer ortsspezifischen Variation der Arbeitstiefe sollten topographische Karten als Entscheidungshilfe für die Abstufungen der Regelintervalle hinzugezogen werden. Entsprechend der auftretenden Neigungen ist dann der Regelalgorithmus den Gegebenheiten vor Ort anzupassen.

Ein Problembereich bei der ortsspezifischen Tiefensteuerung ist der Übergang zwischen zwei Hangneigungsintervallen (Abbildung 20). Aufgrund der Messung der Hangneigung durch den Neigungssensor bis auf drei Nachkommastellen wurden sehr kleinräumige Variationen der Hangneigung oder möglicherweise auch Geräteschwingungen registriert. Zur Glättung dieser Übergangsbereiche wäre ein Regelungs­dämpfer sinnvoll, der z. B. mit einem fließenden Mittelwert über einen zu definierenden Messzeitraum arbeitet. Dies könnte durch Veränderung der Regelsoftware realisiert werden.

Die Varianten, in denen die Arbeitstiefe nach einer fest vorgegebenen Applikationskarte geregelt wurde, zeigten präzise Übergänge zwischen den Tiefenstufen. Bei großen Sprüngen zwischen den Arbeitstiefen betrug die Regelzeit ca. 2,5 sec. Die in 1,0 sec zurückgelegte Wegstrecke entspricht bei einer Vorfahrtgeschwindigkeit von 12 km/h einem Fahrweg von 3 m. Der gesamte Regelweg von 7,5 m ist somit kürzer als der Grubber (9,7 m) selbst.

4.3 Mockritz

Die Variation der Bearbeitungstiefe beim Grubbern führte in beiden Versuchsjahren zu keinen signifikanten Unterschieden des Mulchbedeckungsgrades. Im Jahr 2005 wurden Bedeckungsgrade zwischen 34 - 42 % ermittelt. Ein wirksamer Erosionsschutz war damit theoretisch gesichert, aber die Daten zum Bodenabtrag wiesen eine steigende Tendenz mit zunehmender Bearbeitungstiefe auf, so dass aus Sicherheitsgründen die flachste Bearbeitung angestrebt werden sollte.

2006 betragen die Mulchauflagen nach der Vorfrucht Raps nur noch 8 – 13 %. Hier müsste der Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitung in Betracht gezogen werden, um einen möglichst hohen Erosionsschutz zu gewährleisten. Die Mulchbedeckungsgrade der Pflugvarianten waren in beiden Jahren für eine ausreichende Bodenstabilisierung zu gering. Bei der Direktsaatvariante 2005 wurde ein durchschnittlicher Bedeckungsgrad von 91 % ermittelt.

Die flache Pflugfurche (10 cm tief) mit dem Stoppelpflug erzeugte gerätetypisch niedrigere Bodenabtragswerte als die flache Pflugarbeit mit dem Zweischichtenpflug oder tiefes Pflügen ohne Unterbodenlockerung. Die Bodenabtragswerte wurden gegenüber dem Einsatz eines Standardpfluges mit oder ohne Untergrundlockerung um bis zu 50 % verringert. Das Abtragsniveau bei der flachen

Pflugfurche blieb trotzdem im Vergleich zum Grubber hoch. Selbst ein tiefer Grubberstrich bot einen noch höheren Schutz gegen Bodenabtrag.

Der Wasserabfluss war nach den Ergebnissen aus beiden Jahren auf diesem Standort mit der Art der Bodenbearbeitung nicht durchgängig kontrollierbar.

5 Zusammenfassung

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim wurden in den Jahren 2005 – 2007 Feldversuche auf drei Ackerflächen im sächsischen Lößhügelland zur Optimierung des Erosionsschutzes durch Steuerung der Bodenbearbeitungstiefe in Abhängigkeit der Hangneigung durchgeführt, daraus einfache Steueralgorithmen für die Tiefeneinstellung eines Grubbers abgeleitet und eine funktionsfähige Testgeräteeinheit aus Grubber, Hard- und Software zusammengestellt.

Als Datengrundlagen zur Ansteuerung der Tiefeneinstellung des Grubbers wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Bearbeitungstiefen auf den Mulchbedeckungsgrad der Bodenoberfläche, die damit verbundene Erosionsdisposition, die Ertragsbildung einer Getreidekultur und den Zugkraftbedarf untersucht.

Ein signifikanter Zusammenhang von Arbeitstiefe beim Grubbern und Mulchbedeckungsgrad konnte nicht nachgewiesen werden. Die entsprechenden Varianten unterschieden sich aber in ihrer Widerstandskraft gegenüber dem Bodenabtrag durch Niederschlagswasser. Die Erosionsfestigkeit des Bodens verbesserte sich mit abnehmender Bearbeitungstiefe. Daraus wurden einfache Algorithmen für eine ortsspezifische Bearbeitungstiefe abgeleitet.

Der Schwerpunkt des Projektes bestand darin, die Verfahrenstechnik zur ortsspezifischen Variation der Bearbeitungstiefe zu entwickeln und hinsichtlich Regelgenauigkeit zu prüfen. Es konnte sowohl die genaue Tiefenvariation nach Strohertragskarte als auch die autonome Regelung nach Hangneigung realisiert werden.

Die Versuchsergebnisse unterstützen die Erkenntnis, dass bei konservierender Bodenbearbeitung eine tiefe Bodenbearbeitung keine Vorteile für die Ertragsbildung gegenüber einer extrem flachen Bearbeitung bringt und somit eine ortsspezifische Variation der Arbeitstiefe nicht generell sinnvoll ist.

Für eine durchgehend flache Bodenbearbeitung spricht auch der linear ansteigende Zugleistungsbedarf bei zunehmender Arbeitstiefe. Werte zwischen 8 – 11 kW/cm Arbeitstiefe wurden als Zugleistungsbedarf für verschiedene Grubberwerkzeuge gefunden. Der Zugleistungsunterschied zwischen Flügel- und Wendelschar betrug 3 kW/cm Arbeitstiefe. Eine zusätzliche flache (5 cm) Stoppebearbeitung vor der Grundbodenbearbeitung verringerte den Zugleistungsbedarf nur leicht um

1 kW/cm Arbeitstiefe. Rechnerisch wurde gezeigt, dass der Kraftstoffverbrauch linear mit abnehmender Bearbeitungstiefe sinkt.

6 Literaturverzeichnis

- AMAZONE BBG (2006): Produktbeschreibung Centaur 3002. <http://www.amazone.de>
- CMT GMBH (2006): Produktinformation Crossbow Neigungssensor CXTA 02. http://www.cmt-gmbh.de/serie_cxta_analog.htm
- DINGELDEY, N. (2005): Auswirkungen von Bearbeitungstiefe und Intensität auf Infiltration, Oberflächenabfluss und Bodenabtrag in der Mittelsächsischen Lößhügellandschaft. Bachelorarbeit. Universität Hohenheim.
- GALL, CH. (2006): Untersuchungen zur Variation der Bodenbearbeitungstiefe unter Berücksichtigung von Relief, Zugkraftbedarf und Regelgenauigkeit. Bachelorarbeit. Universität Hohenheim.
- JENNER, T. (2006): Pflanzenbauliche Bewertung differenzierter Bodenbearbeitungstiefen und -intensitäten. Bachelorarbeit. Universität Hohenheim.
- JOHN DEERE (2006): Produktbeschreibung John Deere 8530. http://www.deere.com/de_DE/
- SCHREIBER, M. (2006): Kraftstoffverbrauch beim Einsatz von Ackerschleppern im besonderen Hinblick auf CO₂-Emissionen. Dissertation. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG) Nr. 442. Selbstverlag Stuttgart-Hohenheim.
- SCHUTTE, B. (2005): Bestimmung von Bodenunterschieden durch Zugkraftmessungen bei der Bodenbearbeitung. Dissertation. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG) Nr. 429. Selbstverlag Stuttgart-Hohenheim.
- TOPCON EUROPE (2006): Produktinformation Legacy-E/H. <http://www.topcon-positioning.eu/de>
- MURER, E.J., A. BAUMGARTEN, G. EDER et al. (1993): An improved sieving machine for estimation of soil aggregate stability (SAS). *Geoderma*, 56, S. 539-547
- NOVOTECHNIK (2006): Produktinformation Wegaufnehmer LWG 360. <http://www.novotechnik.de/>
- WALTHER, S. U. T. SCHULE (2006): Kurzbericht zum Stand der Forschung. Universität Hohenheim.
- WEISSERT, M. (2007): Auswirkungen von Bodenbearbeitungstiefe und -intensität auf Infiltration, Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und pflanzenbauliche Parameter. Masterarbeit. Universität Hohenheim.
- WINNIGE, B., U. CORZELIUS U. M. FRIELINGHAUS (1998): Indikation der aktuellen Erosionsgefährdung mit Hilfe der Bodenbedeckung. In: *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* Bd. 88, S. 569-572
- SCHWERTMANN, U., W. VOGL und M. KAINZ (1987): *Bodenerosion durch Wasser*. Eugen Ulmer, Stuttgart.

Teilprojekt II

Erosionsmindernde Maßnahmen im ökologischen Landbau

1	Einführung und Ziele	40
2	Stand der konservierenden Bodenbearbeitung im ökologischen Landbau in Sachsen	41
3	Versuche und Demonstrationen zur Erosionsminderung	46
3.1	Allgemeiner Methodenteil: Gerätetechnik	46
3.2	Grundlegende Wirkung einer Mulchauflage auf Wasserinfiltration und Bodenabtrag	49
3.3	Mulchauflagen nach flachem Pflügen, Grubbern und Fräsen	51
3.4	Einfluss der Pflugtiefe auf Parameter der Bodenerosion (V-Standort, Großzöbern).....	53
3.5	Variation der Arbeitstiefe beim Grubbern und Pflügen	57
3.6	Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung in Mulchsaaten	59
3.7	Erosionsminderung durch Einsaat abfrierender Pflanzen in Winterweizen zur Erhöhung des Bodenbedeckungsgrades über Winter	61
3.8	Querdämme in Kartoffeln.....	64
4	Schlussfolgerungen aus allen Untersuchungen und Ausblick	67
5	Zusammenfassung	69
6	Literaturverzeichnis	71

1 Einführung und Ziele

Das Einhalten der Erzeugungsvorschriften der EU-Verordnung zum Ökologischen Landbau selbst reicht nicht aus, um in allen Fällen einen ausreichenden Schutz des Bodens vor Erosion durch Niederschlagswasser zu gewährleisten. Vor allem durch die Pflugarbeit entstehen in der landwirtschaftlichen Praxis trotz der Fruchtfolgen mit hohen Anteilen von Kleearten, Luzerne und Zwischenfrüchten empfindliche Lücken im Erosionsschutz. Eine Bodenoberfläche, die mit weniger als 30 % von Mulchmaterial oder lebenden Pflanzen bedeckt ist, gilt als stark erosionsgefährdet. Mulchsaaten im ökologischen Landbau auszuführen, um durchgängig eine ausreichende Bodenbedeckung zu sichern, ist besonders schwierig. Im Wesentlichen liegt es zum einen daran, dass das Wenden des Bodens mit dem Pflug wichtig für die Unkrautregulierung ist. Zum anderen stellt der Pflugeinsatz eine reine Bodenoberfläche her, die für mechanische Pflegearbeiten mit gezogenen Geräten erforderlich ist. Darüber hinaus wird die Erhöhung des Umsatzes der organischen Substanz durch eine intensive Bodenbearbeitung für die Ertragsbildung als weiteres Argument für den Pflugeinsatz herangezogen.

Es wird eingeschätzt, dass die Entwicklung einer geschlossenen Kette von Maßnahmen zur Erosionsminderung für die weitere Entwicklung des ökologischen Landbaus von großer Bedeutung ist. Umstellungen auf ökologischen Landbau werden in Zukunft von den konventionellen Landwirten vermehrt aus der Perspektive der konservierenden Bodenbearbeitung geprüft. Der Einsatz des Pfluges wird aus dieser Sicht in vielen Fällen als Rückschritt im Umweltschutz und in der Arbeitswirtschaft empfunden. Darüber hinaus wird der Bodenschutz in der Landwirtschaft stärker als bisher durch Gesetze bestimmt. Nicht zuletzt zwingen Änderungen im Witterungsverlauf, sich mit Fragen einer erhöhten Wasserspeicherung im Boden und der Wasserabflussverringering bei intensiven Niederschlägen im Zusammenhang mit der Bodenbearbeitung auseinander zu setzen.

Aus den anfangs aufgezeigten Besonderheiten und dem geringen Erfahrungsschatz zur gezielten Erosionsminderung im ökologischen Landbau erschien es sinnvoll, zuerst punktuelle Maßnahmen im Ackerbau zur Erosionsminderung zu sammeln, zu testen und vorzuführen. Die Ausarbeitung durchgängiger Strategien kann darauf später zurückgreifen. Diese Arbeit erfordert dann einen höheren Aufwand, weil ganze Fruchtfolgesysteme und Langzeitwirkungen betrachtet werden müssen.

Insbesondere aus Gründen der Unkrautregulierung erscheint es kaum möglich, gängige Verfahren von Mulchsaaten aus dem konventionellen Landbau zu übernehmen. Dennoch setzen einige Pioniere bereits pfluglose Verfahren der Bodenbearbeitung im Ökolandbau weitreichend um. Die praktizierten Methoden und die Bewertung durch die Landwirte wurden über eine Befragung erfasst.

Die Schlüsselfrage nach der Unkrautregulierung beim Ausführen von Mulchsaaten wurde in den Untersuchungen gestellt, vor allem weil hier bisher in der Forschung nicht gezielt an technischen Lösungen gearbeitet wurde. Die Praxis umgeht diese Problematik, indem sie die pfluglose Bodenbearbeitung auf die weniger unkrautgefährdeten Getreidebestände beschränkt, hier keine direkte

Unkrautregulierung durchführt und dabei teilweise auch einen erhöhten Unkrautbesatz in Kauf nimmt. Der Hackfruchtanbau im Mulchsaatenverfahren wurde wegen fehlender Perspektive in der Unkrautregulierung noch nicht umgesetzt. Inzwischen konnten jedoch auf dem Markt Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung gefunden werden, deren Funktionssicherheit durch Mulchaufgaben nicht beeinträchtigt werden dürfte. Diese Geräte wurden auf ihre Einsatztauglichkeit geprüft.

Es muss im Ökologischen Landbau auch die Frage gestellt werden, ob es möglich ist, trotz des Pflugeinsatzes Erosionserscheinungen zurückdrängen zu können. Daraus ergeben sich Lösungen für Arbeitssituationen, in denen kaum auf den Pflug verzichtet werden kann. Zum Beispiel müssen Gras- und Kleebestände nach der Nutzung in den Boden eingepflügt werden, damit die Wurzeln dieser ausdauernden Pflanzen nicht wieder austreiben. Auch darf der Pflug als Mittel gegenüber vielen Pflanzenkrankheiten nicht außer Acht gelassen werden. Wünschenswert dabei ist auch, trotz des Pflugeinsatzes langjährig durch konservierende Bodenbearbeitung aufgebaute Bodenstrukturen im unteren A_n-Horizont weitestgehend zu erhalten. Die extrem flache Pflugarbeit war hier der zu prüfende Ansatz.

Es wurde auch die Frage bearbeitet, ob es praktikable Maßnahmen gibt, eine sauber gepflügte Ackerfläche umgehend wieder gegen Bodenabtrag zu stabilisieren. Lässt sich dazu eine Bodenbedeckung mit schnell auflaufenden, abfrierenden Pflanzenarten als „Beisaaten“, beispielsweise in Winterweizen, aufbauen? Oder kann auf den gepflügten Boden umgehend wieder Mulchmaterial aufgebracht werden?

Kartoffeläcker sind als Dammkulturen besonders stark der Bodenerosion ausgesetzt. Jetzt besteht mit neuen Traktorankaufgeräten die Chance, den Wasserabfluss bei Niederschlägen über eine mechanische Strukturierung der Bodenoberfläche zu verringern. Einige grundsätzliche Einschätzungen lieferte dazu eine Simulation des Verfahrens.

Nicht alle Experimente wurden auf Ackerflächen des ökologischen Landbaus ausgeführt. Ausschlaggebend für eine Erosionsdisposition ist jedoch die Art der Bodenbearbeitung. Damit gelten entsprechende Versuchsergebnisse im Wesentlichen unabhängig vom Bewirtschaftungssystem.

2 Stand der konservierenden Bodenbearbeitung im ökologischen Landbau in Sachsen

Konservierende Bodenbearbeitung wird im ökologischen Landbau bereits von einigen Landwirten in Deutschland, darunter auch in Sachsen, betrieben. Über eine Befragung wurden diese Landwirte angesprochen und persönlich anhand eines Fragebogens interviewt. Erfasst wurden alle Betriebe, die regelmäßig konservierende Bodenbearbeitung, zumindest auf Teilflächen, durchführen. Die Identifizierung dieser Betriebe erfolgte gemäß der Auskünfte der Ämter für Landwirtschaft, der Anbauverbände sowie nach eigenem Kenntnisstand. Insgesamt ließen sich acht relevante Unternehmen mit langjährigen Erfahrungen zur konservierenden Bodenbearbeitung aus einer Gesamtzahl von 280 Biobetrieben in Sachsen ermitteln.

Die Ergebnisse der Befragung machen deutlich, dass konservierende Bodenbearbeitung unabhängig von äußeren Bedingungen wie Klima-Bodenregion oder Betriebsgröße durchgeführt wird (Tabelle 1). Die Ackerflächen werden meist nur zeitweise konservierend bestellt. Nur ein Betrieb arbeitet langjährig und durchgängig ohne Pflug.

Bei der Grundbodenbearbeitung ersetzt vielfach der Grubber den Pflug. Es folgen Arbeitsgänge mit den üblichen Geräten zur Saatbettbereitung. Die Aussaat folgt dann in der Regel mit Sämaschinen mit Rollschartechnik. Trotz Mulchsaat finden Pflegemaßnahmen mit dem Striegel statt. Dies ist ein Hinweis darauf, dass sich nur noch wenig abgestorbenes Pflanzenmaterial nach den Arbeitsgängen der Bodenbearbeitung auf der Bodenoberfläche befindet und somit das Striegeln nicht behindert wird. Die Zielgröße von 30 % Bodenbedeckung zur Erosionsminderung dürfte demnach in vielen Fällen nicht mehr eingehalten werden.

Als Motivation für den Verzicht auf den Pflug werden vorwiegend Aspekte der Optimierung des Bodenzustandes, der Erosionsminderung sowie der Betriebswirtschaft angeführt. Höhere Ernteerträge werden von den meisten Betrieben allerdings nicht erwartet, so dass vorwiegend eine Reduzierung der Arbeitserledigungskosten höhere Gewinne erwarten lässt.

Trotz unterschiedlicher Probleme, die z. B. die technische Durchführung der Arbeiten oder die Unkrautentwicklung betreffen, wollen die befragten Landwirte den bisherigen Umfang an konservierender Bodenbearbeitung beibehalten oder ausbauen. In Zukunft sollen sowohl die Arbeitsgeräte als auch der Pflanzenbau noch besser an die pfluglose Bodenbearbeitung angepasst werden. Neueinsteigern empfehlen die befragten Landwirte, sich langsam an die konservierende Bodenbearbeitung heranzutasten.

Tabelle 1: Ergebnisse der Betriebsbefragung zur konservierenden Bodenbearbeitung im ökologischen Landbau in Sachsen

Anzahl der befragten Betriebe (n)	8		
Seit wann praktizieren Sie pfluglose Anbauverfahren?			
Anfangsjahre (gesamte Spannweite)	1990-2002		
Betriebskennzahlen (Spannweiten)			
Betriebsgröße, von...bis (ha)	28-1200		
gesamte konservierend bestellte Fläche (ha)	1369		
Anteil konservierend bearbeitet von Ackerland gesamt (%)	17-100		
Ackerzahl	30-75		
Bodenarten	sL, IS, L		
Bodenentstehung	D, V, LÖ		
Niederschlagsmenge (mm)	550-680		
Höhenlage (m)	100-600		
Hangneigungen (%)	0-30		
Anzahl Nennungen (n)			
Bodenbearbeitung in der Fruchtfolge	Pfluglos	mit Pflug	flaches Wenden mit Spezialpflug (Ecomat)
nach großkörnigen Leguminosen	4	0	1
nach kleinkörnigen Leguminosen	2	2	1
nach Getreide	4	0	1
nach Mais	2	0	0
nach Kartoffeln	1	0	0
zu Gemüse	0	1	0
zu Kartoffeln	0	1	0
zu Zwischenfrüchten	2	0	0
Technik bei konservierender Bearbeitung			
<u>Stoppelsturz, Gerät, Arbeitstiefe [cm]</u>			
Grubber, 6-15	5		
Dyna Drive, 10	1		
Kurzscheibenegge, 4-5	2		
<u>Saatbettbereitung, Gerät</u>			
Saatbettkombination	1		
Kurzscheibenegge	1		
Feingrubber	2		
Ecomat	1		

Tabelle 1: (Fortsetzung)

<u>Aussaatechnik</u>	
Schleppschar	1
Rollschar	6
<u>Pflege</u>	
Striegel	5
Hacke	2
Walze	2
Keine	2
Warum arbeiten Sie ohne Pflug?	
technische Gründe	1
bodenbiologische Gründe	5
bodenphysikalische Gründe	5
pflanzenbauliche Gründe	1
betriebswirtschaftliche Gründe	6
Was erwarten Sie sich von der pfluglosen Bodenbearbeitung?	
besseres Betriebsergebnis	4
höhere Erträge	1
erosionsmindernde Wirkung	7
Wie sehen Sie in Zukunft die Entwicklung der pfluglosen Bewirtschaftung Ihres Betriebes?	
Ausbauen	3
Zurückfahren	0
Beibehalten	5
Welche Probleme sehen Sie in Bezug auf die pfluglose Bewirtschaftung? (Freie Antworten)	
Saatgutablage	
Stroh verstopft Durchgang von Drille etc.	
Keine Erfahrung über langfristige Entwicklung von Ertrag und Boden	
Durchwuchs	
viele Steine erschweren technische Umsetzung	
Wenig Niederschlag erschwert Anbau von Zwischenfrüchten	
Pflege von Mulchsaaten	
höherer Unkrautbesatz	
Ungräser	
Mäuse und Schnecken	
Bodenverdichtung in den ersten Jahren	

Tabelle 1: (Fortsetzung)

Was sind die günstigen Voraussetzungen auf ihrem Betrieb, um pfluglos zu wirtschaften? (Freie Antworten)

Fruchtfolge
mittlerer Boden
Freude am Experiment
Betriebsgröße
Keine besonderen Voraussetzungen vorhanden
vorhandene Technik
Wenig Steine

Was wollen Sie in Zukunft verbessern? (Freie Antworten)

Drilltechnik
Grubber
Pflegetechnik
Umfang Zwischenfruchtanbau
ganzjährige Bodenbedeckung
Gemengeanbau
Sorten
Pflanzenartenauswahl

Welches sind die drei wichtigsten Empfehlungen für Neueinsteiger? (Freie Antworten)

langsam herantasten
günstige Flächen auswählen
Fläche intensiv beobachten
mit einzelnen Früchten anfangen
Fruchtfolge abstimmen
Keine Gräser in der Fruchtfolge
> 30% Feldfutter
> 0,5 GV/ha
konsequent handeln
entsprechende Technik
kurze Stoppel
Strohstriegel einsetzen
Nerven behalten
Informations- und Erfahrungsaustausch

3 Versuche und Demonstrationen zur Erosionsminderung

Insgesamt wurden vier Versuche (randomisierte Versuchsanlagen mit Wiederholungen) und drei Demonstrationen (Messwertwiederholungen in nur einem Versuchsblock) zur Datengewinnung angelegt. Besonders ausführlich wurde dabei die Arbeitstiefe des Pfluges in Zusammenhang mit der Erosionsdisposition von Ackerflächen untersucht und mit nicht wendenden Arbeitsverfahren verglichen. Hierzu liegen Ergebnisse aus zwei Versuchen auf zwei Standorten und aus zwei Versuchsjahren vor. Intensiv mit Parzellenversuchen in zwei Jahren und an drei Standorten wurden auch abfrierende Saaten zur Erhöhung der Bodenbedeckung über Winter in Winterweizen untersucht. Erste Einschätzungen der Eignung von Arbeitstechniken und Geräten zur Wasserabflussminderung in Kartoffelbeständen erfolgten in einem Versuch bzw. zur Unkrautregulierung in Mulchsaaten mit mehreren Demonstrationen.

3.1 Allgemeiner Methodenteil: Gerätetechnik

In den nachfolgend beschriebenen Versuchen wurde wiederholt mit gleichen Geräten und Techniken gearbeitet, so dass grundlegende Teile der Methodik an dieser Stelle zusammengefasst wiedergegeben werden. Angaben zu den Versuchsgeräten, die nicht spezifisch für den Ökologischen Landbau sind (Niederschlagssimulator, Grubber und Pflüge) können in diesem Band der Schriftenreihe unter Teil I nachgelesen werden.

Fräse (Abbildung 1):

Hersteller:	Breviglieri
Eingesetztes Gerät:	B45
Arbeitsbreite:	1,85 m
Transportbreite:	2,0 m
Gewicht:	ca. 260 kg
Fahrgeschwindigkeit:	bis 8 km/h
Werkzeuge:	36 Fräsmesser
Tiefenführung:	verstellbare Kufen
Erforderliche Schlepperleistung:	ca. 37 kW/50 PS



Abbildung 1: Fräse

Fräsen eignen sich bauartbedingt zum intensiven Mischen und Einebnen besonders von bereits gelockertem Boden. Hervorzuheben sind die vollflächige Bodenbearbeitung, verstopfungsfreies Arbeiten der rotierenden Werkzeuge auch bei starken Mulchauflagen und eine sicher zu steuernde Zerkleinerung des Bodens über die Drehzahl und Fahrgeschwindigkeit.

Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung

Striegel (Abbildung 2):

Hersteller:	Maschinenbau Treffler
Eingesetztes Gerät:	TS 620
Arbeitsbreite:	6,20 m
Werkzeuge:	214 gefederte Zinken Strichabstand 28 mm, Ø 8 mm, Länge 500 mm
Transportbreite:	2,9 m
Gewicht:	ca. 560 kg
Fahrgeschwindigkeit:	bis 12 km/h
Unkrautwirkung:	Verschütten, Ausreißen
Tiefenführung:	Stützräder
erforderliche Schlepperleistung:	ca. 29 kW/40 PS



Abbildung 2: Striegel

Der Striegel ist ein universelles und weit verbreitetes Gerät zur mechanischen Unkrautregulierung bei niedrigen Arbeitskosten je Flächeneinheit. Eingesetzt wurde ein Gerät des Herstellers Maschinenbau Treffler mit 6,2 m Arbeitsbreite, ausgerüstet mit Zinken von 8 mm Durchmesser und 500 mm Länge bei 27 mm Strichabstand. Jeder Zinken ist einzeln pendelnd aufgehängt und wird über eine Schraubenfeder mit der Federrate von 0,4 N/cm in der Arbeitstiefe gehalten. Die geringe Federrate sichert die gute Anpassung an Bodenunebenheiten, z. B. bei Fahrspuren.

Rotary Hoe (Abbildung 3):

Hersteller:	Yetter Farm Equipment
Arbeitsbreite:	3,2 m
Werkzeuge:	35 Stück, Ø 53 cm Sternrad mit leicht löffelförmigen Spitzen, einzeln aufgehängt mit Federbelastung
Transportbreite:	3,2 m
Arbeitsgeschwindigkeit:	10 bis 20 km/h
Unkrautwirkung:	Verschütten, Entwurzeln bis 2-Blatt-Stadium
Tiefenführung:	indirekt über Bodenzu- stand und Geschwindig- keit
erforderliche Schlepperleistung:	37 kW/50 PS



Abbildung 3: Rotary Hoe

Die Rotary Hoe, eine Geräteentwicklung aus den USA, besteht aus einem Tragrahmen, an dem zwei Reihen von sternförmigen Zinkenwerkzeugen „auf Lücke“ angebracht sind. Somit wird ein relativ enger Werkzeugabstand von 9 cm erreicht. Jeder Stern ist einzeln aufgehängt, so dass über eine Feder die individuelle Bodenanpassung jedes Werkzeuges gewährleistet ist. Der Aufstandsdruck der Zinken auf dem Boden wird im Wesentlichen über das Gewicht der Werkzeuge erreicht. Je 16 spitze, leicht gebogene Zinken bilden die sternförmige funktionale Einheit mit 53 cm Durchmesser. Die Zinken stechen in den Boden ein und hebeln beim Abrollen Bodenmaterial aus. Keimende Unkräuter werden entwurzelt und Bodenkrusten aufgebrochen, falls die Zinkenspitzen in Fahrtrichtung zeigen. Beim Betrieb entgegen dieser Richtung lässt sich auch eine verdichtende Wirkung auf die Bodenoberfläche (Packer) erzielen. In Deutschland wurde die Rotary Hoe zuerst von FEUERLEIN (1964) beschrieben und später auch unter dem Begriff Nadelegge in der Literatur behandelt.

Turbo-Roll-Striegel (Abbildung 4):

Hersteller:	Annaburger Nutzfahrzeug GmbH
Arbeitsbreite:	3,0 m
Werkzeuge:	30 Sternförmig angeordnete Zinken mit 7 mm Materialstärke; 500 mm Durchmesser je Einheit; Werkzeugeinheiten zur Fahrtrichtung im Winkel anstellbar
Stützräder:	2
Transportbreite:	3,0 m
Unkrautwirkung:	Verschütten, Ausreißen
Tiefenführung:	über Tasträder
erforderliche Zugleistung:	sehr gering



Abbildung 4: Turbo-Roll-Striegel

Der Turbo-Roll-Striegel ähnelt im Aufbau der Rotary Hoe. Er ist jedoch filigraner konstruiert und bietet einige Einstellmöglichkeiten zur Anpassung an die Arbeitsbedingungen. Die Werkzeuge bestehen aus feinen Rundstahlstiften, die in einer Ebene radial (sternförmig) in einer flachen, flexiblen Kunststoffscheibe verankert sind. Die axiale Lagerung dieser Werkzeugeinheit ist für die Aufnahme tangentialer Schubkräfte ausgelegt. Die Ausrichtung der Arbeitswerkzeuge lässt sich bis zu einem Winkel von etwa 30° quer zur Fahrtrichtung einstellen. Dadurch werden die Werkzeugscheiben in Rotation versetzt und gleichzeitig streichen die Zinken trotz der Rotation auch ein kurzes Stück durch die Bodenoberfläche. Der Boden wird dadurch aufgelockert und eine geringe Strecke durch den Zinken zur Seite transportiert. Die Rotation verhindert dabei ein Mitschleppen von Ernterückständen. Insgesamt erfolgt eine vollständige Bearbeitung der Bodenoberfläche in einem Arbeitsgang.

3.2 Grundlegende Wirkung einer Mulchauflage auf Wasserinfiltration und Bodenabtrag

Die Reduktion von Bodenabtrag durch eine Mulchauflage auf einem gepflügten Boden lässt sich durch Aufbringen von Zwischenfruchthäckselmaterial während des Pflügens erreichen. Mit Geräteanordnungen von Häckslern und Pflügen wird in Bayern auf verschiedenen Betrieben dazu experimentiert und gearbeitet. Auf jede gepflügte Arbeitsbreite wird dabei sofort Mulchmaterial mit einem Schlegelfeldhäcksler aus dem noch stehenden Zwischenfruchtbestand desselben Ackers aufgebracht (Abbildung 5). Dabei wird kein zusätzlicher Arbeitsgang benötigt, da für den Pflugeinsatz ohnehin die Zwischenfrucht zu zerkleinern wäre. Die grundlegende erosionsmindernde Wirkung dieses Verfahrens wurde modellhaft im Lehr- und Versuchsgut Köllitsch demonstriert.



**Abbildung 5: Eine Pflugfurche wird mit Häckselmaterial aus Gelbsenf bedeckt
(Foto zur Verfügung gestellt von M. Wiggert, Bioland e.V.)**

Methode

Die Niederschlagssimulation (1,9 l/m² min) auf einer mit Mulch bedeckten Pflugfurche und einer Kontrollvariante wurde am 05.09.06 auf den ökologisch bewirtschafteten Flächen des Lehr- und Versuchsgutes der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Köllitsch ausgeführt. Diese Demonstration fand auf Auenlehm an einer niedrigen Böschung mit einer Hangneigung von 6 % mit zwei gleichzeitig betriebenen Niederschlagssimulatoren ohne Wiederholungen statt. Dabei betrug der Abstand der beiden Untersuchungspartellen zwei Meter, so dass Bodenunterschiede zwischen den Versuchsvarianten kaum zu erwarten waren. Beide Varianten wurden bis auf die Aufbringung einer Strohmulchauflage identisch mit folgenden Arbeitsgängen ausgeführt:

1. Winterweizenstroh häckseln
2. Grubbern, Arbeitstiefe 12 cm
3. Pflügen, Arbeitstiefe 30 cm
4. Saatbett bereiten mit Kombination, Arbeitstiefe 6 cm
5. Einebnen der Versuchspartzen mit dem Handrechen, 2 cm tief
6. Varianten anlegen
 - a) Ohne Mulchauflage
 - b) Häckselstroh ca. 2 cm tief mit dem Handrechen eingearbeitet;
Bodenbedeckungsgrad mit Stroh ca. 60 %

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im unbedeckten, gepflügten Boden versickerte das Beregnungswasser nur bis zur 7. Minute vollständig (insgesamt 13,3 l/m²). In den folgenden fünf Minuten verringerte sich die Infiltrationsleistung des Bodens schnell bis auf 50 % und es liefen insgesamt 3,8 l/m² Wasser von der beregneten Fläche ab. Dabei wurde auch Bodenmaterial abgetragen. Die Mulchauflage verhinderte dagegen jeglichen Wasserabfluss im gleichen Zeitraum, so dass 22,8 l Wasser je m² vollständig innerhalb von 13 min versickern konnten (Abbildung 6).

Wie bei früheren Versuchen in Sachsen (MICHEL 2004) bestätigte sich hier, dass eine Mulchauflage die Infiltration von Regenwasser auch auf ökologisch bewirtschafteten Flächen mit günstiger Fruchtfolgegestaltung deutlich erhöhen kann. Überzeugend in diesem Versuch war die äußerst lang anhaltende vollständige Infiltration des Niederschlagswassers bei Kombination von Pflugfurche und Mulchauflage. In keinem weiteren Experiment im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden derartige Infiltrationsleistungen beobachtet. Auch mit der Einschränkung, dass dieses Experiment modellhaft in einer Flusssiederung auf Auenlehm ausgeführt wurde, verweist es doch auf einen Erfolg versprechenden Ansatz.

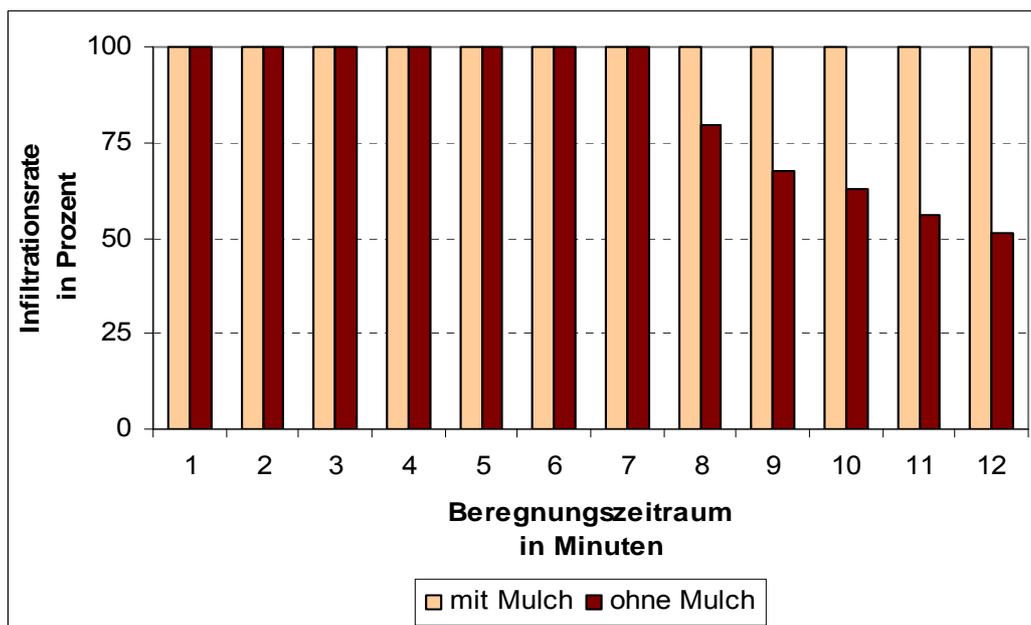


Abbildung 6: Entwicklung der Wasserinfiltrationsrate eines gepflügten Bodens mit manuell aufgebrachtem Mulchmaterial sowie ohne Mulchauflage (Standort: LVG Köllitsch, Auenlehm, Wassergabe: 1,9 l/m² min)

3.3 Mulchauflagen nach flachem Pflügen, Grubbern und Fräsen

Im ökologischen Landbau ergeben sich besondere Anforderungen an die Ausführung von Mulchsaaten. Einerseits sollte trotz Bodenbearbeitung eine Mulchauflage von 30 % auch bei geringen Stroherträgen erhalten bleiben, um einen nennenswerten Schutz vor Bodenabtrag zu gewährleisten. Andererseits muss aber auch möglichst viel Unkraut auf der Fläche mit der Bodenbearbeitung beseitigt werden. Dies gelingt meist nur über eine intensive, mehrfache Bodenbearbeitung mit dem Grubber. Günstiger wäre es, die Anzahl der Arbeitsgänge gering zu halten und dafür ein sicheres Abtrocknen der entwurzelt Unkräuter an der Bodenoberfläche bei der Bodenbearbeitung mit geeigneten Geräten zu erreichen. Über zwei Demonstrationen am Standort Köllitsch bei Torgau erfolgte eine erste Einordnung von diverser Maschinenteknik zur Bodenbearbeitung unter diesem Gesichtspunkt.

Methoden

Strohreste, Häckselstroh und Stoppeln auf einer Ackerfläche wurden nach der Getreideernte gleichmäßig mit einem Flügelschargrubber (Hersteller: Rabe) bis zu einer Tiefe von 12 cm in den Boden eingemischt. Drei Wochen später betrug die gesamte Bedeckung der Bodenoberfläche mit organischer Substanz noch ca. 35 %. Sie setzte sich aus Stroh, Unkraut und aufgelaufenem Ausfallweizen zusammen. In zwei getrennten Demonstrationen zu verschiedenen Zeitpunkten wurde der Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsgeräte auf die Ausprägung der Mulchauflage bestimmt.

Für die Demonstration wurden Parzellen von 100 m Länge und variabler Breite ohne Wiederholungen mit verschiedenen Geräten zur Bodenbearbeitung angelegt.

Folgende Maschinen kamen zum Einsatz:

- Zweischichtenpflug,
- Ecomat (Pflug für flaches Arbeiten),
- Fräse und
- Grubber.

Bei einer zweiten Demonstration wurden ein einfacher und ein doppelter Arbeitsgang beim Grubbern miteinander verglichen.

Die Bedeckung des Bodens mit Mulchmaterial wurde nach WINNIGE et al. 1998 bestimmt. Die Einschätzung der Unkrautdichte sowie des physikalischen Zustandes der Bodenoberfläche erfolgte visuell.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die vorhandene Mulchschicht wurde durch die unterschiedlichen Geräte trotz jeweils flacher Bodenbearbeitung (8 - 12 cm) im Vergleich zur Ausgangssituation drastisch reduziert (Tabelle 2). Die beiden Pflüge verursachten einen Abbau der Auflage bis auf 2 - 3 %. Grubber und Fräse hinterließen einheitlich etwas höhere Mulchbedeckungsgrade zwischen 8 % und 9 %. In der Beseitigung von Unkrautpflanzen standen die Pflüge durch das Wenden des Bodens mit fast 100 % Wirkungsgrad an der Spitze, während Unterschiede zwischen Grubber und Fräse nicht deutlich wurden. Allerdings bewirkte das Fräsen eine ausgeprägte Enterdung der Pflanzenwurzeln sowie eine lockere Ablage des bearbeiteten Bodens, so dass günstige Bedingungen für das Vertrocknen der Unkräuter an der Bodenoberfläche gegeben waren. Beim Grubber wirkte sich der Nachläufer in Form einer Walze nachteilig für die Unkrautregulierung aus. Zuvor gelockerte Pflanzen wurden wieder an den Boden angedrückt und erhielten umgehend erneut Boden- und Wasseranschluss.

Mit zwei aufeinander folgenden Grubberstrichen (Flügelschargrubber Hersteller Rabe) bei gleicher Geräteeinstellung konnte bei zehn Messwertwiederholungen auf zwei nebeneinander liegenden Parzellen eine moderate Abnahme der Mulchauflage durch den wiederholten Arbeitsgang von 27 % ($s = 7,5$) auf 18 % ($s = 6,5$) Bedeckungsgrad beobachtet werden.

Durchweg führten zwei Arbeitsgänge zur Bodenbearbeitung unabhängig vom Gerätetyp nach der Ernte zu Mulchauflagen, die eine für den Erosionsschutz erforderliche minimale Ausprägung von 30 % Bedeckungsgrad z. T. weit unterschritten. Es wird damit deutlich, dass der Pflugverzicht nicht per se zu einem ausreichenden Erosionsschutz führt. Spezielle Verfahrensweisen zur konservierenden Bodenbearbeitung bei mehreren Arbeitsgängen und weitere Maßnahmen zum Erhalt oder Aufbau einer ausreichenden Mulchschicht sind deswegen erforderlich. Einen Ansatz dafür bietet der Anbau von Zwischenfrüchten. Außerdem werden Daten zur Charakteristik der Einmischung von

Mulchmaterial in den Boden von verschiedenen Typen von Grubberscharen benötigt, um geeignete Bauformen empfehlen zu können.

Für die effektive Regulierung von Unkräutern mit einem Arbeitsgang ist eine lockere Ablage ent- wurzelter Pflanzen auf der Bodenoberfläche maßgeblich. Dazu bietet die Fräse einen aussichtsrei- chen Ansatz.

Tabelle 2: Arbeitsergebnisse von Geräten zur Bodenbearbeitung unter dem Aspekt von Mulchsaaten im ökologischen Landbau; Ausgangssituation 35 % Mul- chauflage; Bodenzustand: feucht

	Zweischichten- pflug	Ecomat	Fräse	Grubber
Hersteller	Gassner	Kverneland	Breviglieri	Amazona-BBG
Arbeitsbreite in m	1,4	2,4	1,8	3,0
Arbeitstiefe in cm	10	8	12	12
Bodenbedeckung nach Bearbeitung in %	2	3	9	8
Oberfläche	krümelig, eben, Unkräuter voll- ständig eingear- beitet	krümelig, eben, Unkräuter voll- ständig eingear- beitet	krümelig bis leicht klutig, eben, Unkraut- wurzeln enterdet, Oberfläche lo- cker	feinste Ober- fläche, auch kleinräumig eben, gelo- ckerte Unkräu- ter festgewalzt
Bodenlockerung	locker, keine Pflugsohle	locker, Schmier- schicht bei 8 cm Tiefe	locker, keine Fräsohle	sehr stark rückverfestigt, geringe Schmierschicht
Stroheinarbeitung	Strohmatte in 10 cm Tiefe	guter Mischeff- ekt bis 8 cm Tiefe	guter Mischeffekt	sehr guter Mischeffekt

3.4 Einfluss der Pflugtiefe auf Parameter der Bodenerosion (V-Standort, Großzöbern)

Im ökologischen Landbau ist die eher tief wendende Pflugarbeit auf vielen Betrieben der Standard in der Grundbodenbearbeitung. Ob Chancen bestehen, die nachteilige Wirkung des Pfluges auf die Erodierbarkeit des Bodens durch ein nur flaches Wenden zu mildern, wird im Folgenden anhand eines Bodenbearbeitungsversuchs auf einem Verwitterungsstandort (V) dargestellt.

Material und Methode

Im Frühjahr 2006 wurde ein Versuch im Vogtland (V-Standort, 30 Bodenpunkte) auf einer ökolo- gisch bewirtschafteten Ackerfläche eines landwirtschaftlichen Betriebes angelegt. Der Versuchs- schlag mit südlicher Exposition hatte eine Neigung von 14 %. Als Versuchsanlage wurde eine ran- domisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen gewählt. Alle Blocks lagen nebeneinander. Die

Parzellenbreite betrug 6 m. Zur Prüfung vorgesehen waren Pflugtiefen von 15, 20 (betriebsüblich) und 25 cm unter Verwendung des Pfluges Variomat der Firma Lemken in 6-schariger Ausführung. Tatsächlich wurden mittlere Arbeitstiefen in den Varianten von 15, 19 und 25 cm gemessen, die Differenzen dieser Mittelwerte waren bei n = 20 im Tukey-Test und $\alpha = 0,05$ signifikant.

Die Ackerfläche war im Frühjahr mit 10 cm hohem Klee gras bewachsen, wurde gepflügt und dann mit Sommerweizen bestellt (Tabelle 3). Die Simulation des Niederschlagsereignisses zur Prüfung der Erosionsdisposition erfolgte im Zweitblattstadium (BBCH 12) des Weizens am 10. und 11.05.2006 mit zwei Wiederholungen je Parzelle. Bis auf die Korn ernte, die mit einem Mährescher für Versuchspartellen ausgeführt wurde, erfolgten alle Arbeitsgänge mit der Technik des Betriebes. Erntematerial und Bodenproben wurden mit Standardlabormethoden untersucht. Zur Messung der aktuellen Bodenfeuchte wurde eine TDR-Sonde im Feld eingesetzt. Die Bedeckungsgrade mit Mulchmaterial wurden nach der Methode von WINNIGE et al. 1998 bestimmt. Außerdem wurden Bildanalysen mit dem PC-Programm Piccolor ausgeführt.

Tabelle 3: Kennwerte des Bodens der Versuchsanlage (n = 4; ein Messwert je Block)

	Mittelwert	Standardabweichung
Humus [%]	3,1	0,11
P (CAL) [mg/100g]	5,4	0,3
K (CAL) [mg/100g]	27,1	0,21
pH-Wert [Eh]	6,0	0,02

Ergebnisse und Diskussion

Einflüsse der differenzierten Pflugarbeit auf den Parzellenzustand vor der Beregnung waren nicht nachzuweisen. Damit bestanden keine Unterschiede zwischen den Varianten, weder bei den Parametern Kulturpflanzen- und Unkrautdichte noch bei der Anfangsfeuchte oder der Aggregatstabilität (Tabelle 4).

Tabelle 4: Zustand der Versuchsfläche nach dem Pflügen vor Beregnungsbeginn

	Mittelwert	Standardabweichung	Signifikanz der Unterschiede
Deckungsgrad Steine [%]	38,5	6	n.s. ¹
Sommerweizen [Pflanzen/m ²]	374	48	n.s. ²
Unkraut [Pflanzen/m ²]	441	205	n.s. ¹
Neigung [%]	12,9	0,8	n.s. ¹
Anfangsfeuchte [%]	12,0	1,65	n.s. ¹
Aggregatstabilität [%]	59,8	3,34	n.s. ¹

¹ Friedman-Test; ² ANOVA, jeweils $\alpha = 0,05$; n.s. = nicht signifikant

Die Messungen während der Beregnungen zeigten nur wenig Unterschiede zwischen den ausgeführten Pflugtiefen (Tabelle 5). Lediglich die flache Pflugfurche unterschied sich signifikant durch einen frühen Abflussbeginn bei der Niederschlagssimulation. Hier liefen nach 5,9 min erste Anteile des aufgebrachtten Wassers ab. Bei den tiefer ausgeführten Bodenbearbeitungen erfolgte die vollständige Infiltration 1,4 min länger. Es traten allerdings keine gesicherten Unterschiede in den gesamten Abflussmengen auf. Dazu scheinbar im Widerspruch stehen die signifikant niedrigeren Endfeuchten dieser Varianten, d. h., es hätte eigentlich mehr Wasser infiltrieren müssen. Es wird aber angenommen, dass das Wasser in den Klüften des steindurchsetzten Bodens schneller durch den Messhorizont durchgeleitet wurde, in den Unterboden gelangte und nicht mehr gemessen werden konnte.

Der Sedimentausttrag war in allen Fällen mit Mittelwerten zwischen 3,9 g/min und 6,3 g/min für die starke Hangneigung gering. Auf Lößböden werden vergleichbare Werte fast nur bei Direktsaat auf schwächer geneigten Flächen erreicht.

Die Hypothese, dass mit dem tiefen Pflügen dieses Bodens im Gegensatz zu einer flachen Bodenbearbeitung relativ labile Bodenaggregate an die Oberfläche gelangen, wurde nicht bestätigt. Gemessen wurden im Mittel über alle Arbeitstiefen gleich hohe Stabilitätswerte der Bodenaggregate von 59,8 % bei geringer Standardabweichung.

Tabelle 5: Wirkung unterschiedlicher Arbeitstiefen beim Pflügen auf Kennwerte der Erosionsdisposition

Tiefe beim Pflügen	Wasserabfluss* [l/min]	Sedimentausttrag* [g/min]	Abflussbeginn* [min]	Endfeuchte* [%]
14 cm	0,44 a	5,5 a	5,9 b	24,8 a
19 cm	0,33 a	3,9 a	7,3 a	22,0 b
24 cm	0,38 a	6,3 a	7,3 a	23,0 b

*LSD-Test, $\alpha=0,05$; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede

Die Verlaufskurven des Wasserabflusses sind für alle Varianten ähnlich und zeigen ein gleichmäßiges, lineares Anwachsen der Abflussmengen (Abbildung 6). Während sich die mitteltiefe, betriebsübliche Pflugfurche über die gesamte Messdauer signifikant mit den geringsten Abflusswerten bei geringen Schwankungen von der flachen und tiefen Variante abhebt, schwanken die Verläufe der anderen beiden Kurven stärker. Sie liegen in der zweiten Hälfte der Versuchszeit fast auf demselben Niveau. Letztlich enden alle Kurven bei etwa 950 ml Abfluss je Minute. Die Infiltrationsleistung des Bodens entsprach im Experiment 50 %. Im Vergleich zu Lößböden verfügte dieser Standort über eine wesentlich ergiebigere Infiltrationsleistung. Die Verringerung der Pflugtiefe verhinderte die vollständige Bodenwendung nicht, so dass in keiner Variante Mulchauflagen in bedeutender Menge erhalten blieben. Der wichtigste Faktor zur Steuerung von Wasserabfluss und Bodenverlagerung war somit von vornherein ausgeschaltet.

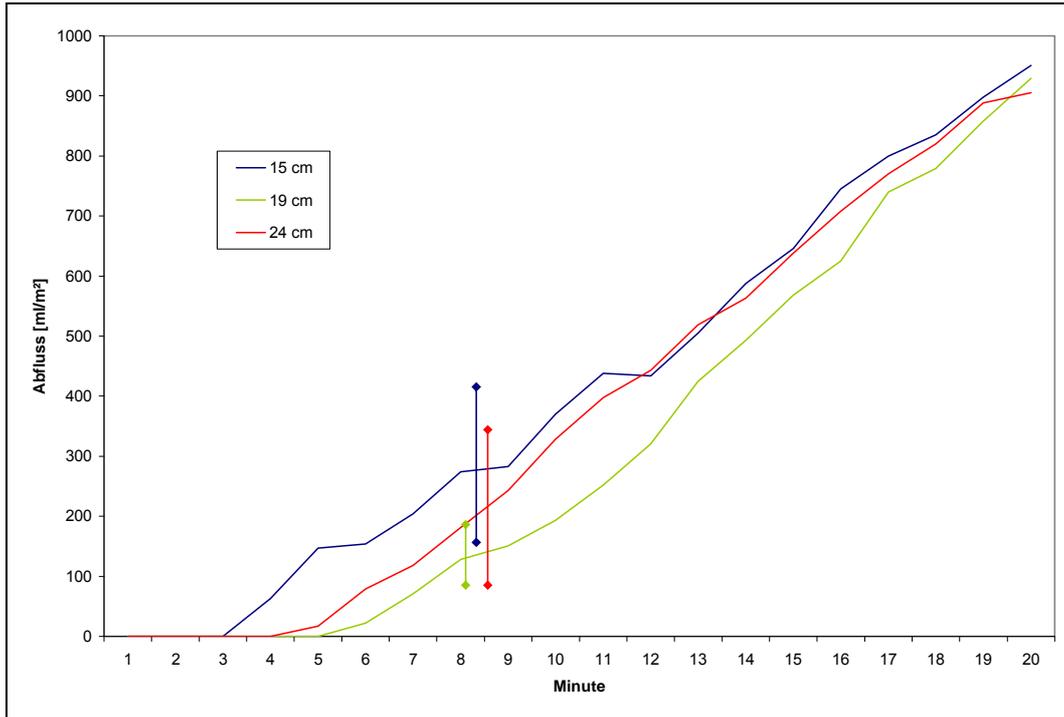


Abbildung 6: Verlauf des Abflusses des Beregnungswassers in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungstiefe mit dem Pflug im Versuch in Großzöbern (V-Standort, Beregnungsintensität: 1,9 l/min und mittlere Spannweite der Mediane der Messwerte aus der gesamten Messdauer)

Gesicherte Unterschiede traten im Bereich der Kennwerte des Ernteprodukts Sommerweizen bei der Tausendkornmasse und beim Rohproteingehalt auf (Tabelle 6). Während der Unterschied von 1,1 %-Punkten bei der Tausendkornmasse in der Praxis keine relevante Bedeutung hat, zeigt die Differenz von 0,9 %-Punkten beim Rohproteingehalt eine empfindlich schwächere Stickstoffversorgung der Kultur bei flacher Pflugfurche an. Flaches Pflügen führte zu einem Rohproteingehalt im Korn von Sommerweizen von 11,7 % gegenüber 12,6 % und 12,5 % bei 19 cm bzw. 24 cm Pflugtiefe.

Tabelle 6: Wirkung unterschiedlicher Arbeitstiefen beim Pflügen auf das Ernteprodukt Sommerweizen

Tiefe beim Pflügen	Tausendkornmasse [g]	Rohprotein [%]	Kornertag [dt/ha]
14 cm	30,9 a*	11,7 b	37,6 a
19 cm	29,8 b	12,6 a	37,0 a
24 cm	30,3 ab	12,5 a	37,6 a

*LSD-Test, $\alpha=0,05$; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede

Die Spannweite der Ergebnisse zeigt, dass die Variation der Pflugtiefe keinen bedeutenden Einfluss auf den Bodenabtrag zu leisten vermochte. Diese einjährigen Ergebnisse lassen jedoch keinerlei Verallgemeinerungen zu. Vergleichswerte aus anderen Öko-Versuchen liegen nicht vor. Langjährige konventionelle Untersuchungen zur Pflugtiefe zwischen 1986 bis 1993 im Erzgebirge weisen weder für den Ertrag noch für den Stickstoffezug in vollständigen Fruchtfolgen Unterschiede aus (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN 1993).

3.5 Variation der Arbeitstiefe beim Grubbern und Pflügen

Beim Grubbern können je nach Scharform, Arbeitstiefe, Arbeitsgeschwindigkeit und Bodenzustand die Bodenlockerung sowie das Einmischen von organischer Substanz in unterschiedlicher Intensität erfolgen. Es bleibt dabei immer eine mehr oder minder starke Mulchauflage erhalten. Ob auch beim extrem flachen Pflügen Mulchmaterial erhalten werden kann, wurde an zwei Pflügen mit spezieller Eignung zum flachen Arbeiten untersucht. Die Geräte, ein Zweischichtenpflug (Hersteller: Gassner) und der Stoppelpflug Ecomat (Hersteller: Kverneland), wurden mit dem Arbeitsgang Grubbern bei verschiedenen Arbeitstiefen verglichen. Der erweiterte Bericht zu diesem Versuch, der beispielsweise die Möglichkeiten einer teilschlagspezifischen Grubbereinstellung oder den Zugkraftbedarf beim Grubbern enthält, ist im ersten Teil dieser Ausgabe der Schriftenreihe enthalten.

Methode

Der Versuch zum Bodenabtrag durch Niederschlagswasser nach differenzierter Bodenbearbeitung wurde 2005 und 2006 im Sächsischen Lößhügelland in der Nähe von Döbeln auf einem konventionell wirtschaftenden Betrieb in der Gemeinde Mockritz durchgeführt. Dazu wurde auf einem Teilbereich eines Schlags mit einer durchschnittlichen Hangneigung von 9 % (2005) und 7,5 % (2006) eine randomisierte Blockanlage mit drei Wiederholungen eingerichtet und die Geräte zur Grundbodenbearbeitung geprüft (Tabelle 7). Die Versuchspartellen lagen in 15 m breiten Streifen parallel nebeneinander. Den Kern der Untersuchung bildeten je zwei Niederschlagssimulationen pro Parzelle.

Tabelle 7: Varianten der Bodenbearbeitung in den Versuchsjahren

Geräte	Arbeitstiefe [cm]	
	2005	2006
Grubber	5	5
	10	10
	15	15
Direktsaat	-	nicht ausgeführt
Zweischichtenpflug	10 (wenden), 20 (lockern)	
Standardpflug	20 (einschichtig wenden)	
Stoppelpflug (Ecomat)	10	10

Bestimmt wurden die Deckungsgrade von lebenden Pflanzen und von Mulchmaterial vor und nach der Bodenbearbeitung mit der Methode nach WINNIGE et al. 1998. Bodennährstoffe sowie die Aggregatstabilität wurden mit Labormethoden quantifiziert. Versuchskultur im Jahr 2005 war Winterrips im Zweitblattstadium (BBCH 12) mit der Vorfrucht Winterweizen. Die Feldversuche erfolgten vom 29.08. bis 31.08.2005, nachdem eine gleichmäßige Stoppelbearbeitung von 5 cm Tiefe vorausgegangen war. 2006 fanden die Untersuchungen nach Winterrips zur Vorbereitung einer Winterweizenaussaat statt.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Niederschlagssimulationen in Mockritz unterstreichen die Problematik des Pflugeinsatzes hinsichtlich des Bodenabtrages selbst bei extrem flachem Arbeiten. Die Erntereste an der Bodenoberfläche wurden im Vergleich zur 10 cm tiefen Grubberarbeit in beiden Versuchsjahren beim Pflügen mit gleicher Tiefe signifikant reduziert. Die Bodenabtragswerte spiegelten dies tendenziell wider. Relativ hohe Wertestreuungen verhinderten teilweise die statistische Absicherung dieser Unterschiede (Tabelle 8).

Die Mulchauflage wurde beim Grubbern nur in der Tendenz mit zunehmender Arbeitstiefe reduziert. Gegenläufig zeichnete sich dadurch ein Anwachsen des Bodenabtrags ab.

Die Effekte der Kulturen und Jahre auf das Erosionsgeschehen erreichten ähnliche Dimensionen wie die Geräteauswahl. In der ungünstigen Kombination der Fruchtart Winterrips und einer Pflugtiefe von 20 cm wurden 2006 mit 866 g/m² die höchsten Abtragswerte über die gesamte Berechnungszeit gemessen. Flaches Grubbern (5 cm) senkte diesen Wert auf 212 g/m². Im Jahr zuvor wurde nach Winterweizen mit hohem Anteil an Ernteresten und bei trockenerem Boden selbst mit einer Bodenwendung durch den Stoppelpflug lediglich 205 g/m² Boden abgeschwemmt.

Der Oberflächenabfluss differenzierte sich insgesamt weniger deutlich beim Vergleich der Gerätetechnik. Allerdings wurde im Jahr 2006 durch besonders flaches Grubbern (5 cm) der Oberflächenabfluss um bis zu 50 % gegenüber intensiveren Bearbeitungsvarianten signifikant reduziert. Dies stand im Zusammenhang mit einem signifikant späteren Abflussbeginn.

Hinsichtlich des Erosionsschutzes durch Reduzierung der Intensität der Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau lassen die geprüften Spezialpflüge mit Option zur flachen Bodenwendung keine Vorteile gegenüber dem verwendeten Grubber erkennen. Aufgrund der gesamten Datenlage muss der Grubber sogar als das günstigere Gerät eingestuft werden. Leichte Vorteile des Stoppelpfluges gegenüber den Standardpflügen lassen sich durch die Versuchsergebnisse nicht ausschließen.

Da nach derzeitigem Erkenntnisstand der Verzicht auf den Pflug im Ökologischen Landbau nur in einzelnen Jahren empfohlen werden kann, sollte insbesondere nach Kulturen mit geringer Menge an Ernterückständen nur der Grubber eingesetzt werden. Der bestehende Mangel an Mulchmaterial sollte zusätzlich über einen umgehenden Zwischenfruchtanbau nach der einmaligen flachen

Bodenbearbeitung behoben werden. Unmittelbar vor der Aussaat der Hauptkultur lässt sich dann ein zweiter Arbeitsgang mit dem Grubber ausführen, der die Erosionsdisposition bei guter Zwischenfruchtentwicklung nicht weiter ansteigen lässt.

Arbeitstiefen flacher als 10 cm beim Grubbern dürften in der Praxis des Ökologischen Landbaus kaum in Frage kommen, weil damit wesentliche Ziele der Bodenbearbeitung nicht mehr erreicht werden. Es ist damit zu rechnen, dass der Boden zwischen den Scharen nicht mehr vollständig aufgelockert wird und der Durchwuchs von bereits etablierten Unkräutern nicht unterbunden wird. Aus dem gleichen Grund lassen sich auch Direktsaaten im Ökolandbau nur schwer umsetzen.

Tabelle 8: Ergebnisse der Niederschlagssimulationen in Mockritz 2005 und 2006

Bodenbearbeitung	Bodenbedeckung [%]		Abflussbeginn [min]		Summe Wasserabfluss [l/m ²]		Summe Bodenabtrag [g/m ²]	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Jahr	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Direktsaat	91 a	-	9,5	-	9,7	-	52,4 c	-
Grubber 5 cm	42 b	13,5 a	8,2	6,3 a	7,3	13,3 b	74,2 c	212 c
Grubber 10 cm	34 b	11,0 a	9,3	3,0 b	8,2	23,4 a	87,1 bc	403 b
Grubber 15 cm	34 b	7,8 ab	7,8	2,5 b	8,9	23,1 a	143 bc	481 b
Stoppelpflug	17 c	3,3 b	6,2	2,5 b	11	26,4 a	205 ab	598 b
Zweischichtpflug	10 c	-	6,5	-	12	-	290 a	-
Pflug 20 cm	-	4,3 b	-	2,2 b	-	27,8 a	-	866 a
LSD	8,6	6,2	4,7	2,7	5,2	7,29	123	255
LSD, Direktsaat	9,8	-	5,2	-	5,8	-	138	-

3.6 Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung in Mulchsaaten

Eine effiziente und störungsfreie mechanische Unkrautregulierung ist eine wichtige Grundlage für die Einführung von Mulchsaaten in allen Kulturen im ökologischen Landbau. Normalerweise werden Striegel zur Unkrautregulierung eingesetzt. Diese sind jedoch dafür bekannt, dass sie schon bei geringen Mulchauflagen mit Pflanzenmaterial verstopfen. Weniger Störungen versprechen bei diesem Arbeitsgang rotierende Arbeitswerkzeuge. Zwei in der Markteinführung in Deutschland befindliche Maschinen wurden unter diesem Gesichtspunkt ersten Tests unterzogen.

Methode

Für einen Vergleich der technischen Eignung eines Striegels, des Rollstriegels und der Rotary Hoe in Mulchsaatbeständen wurden Parzellengroßteilstücke mit Mulchbedeckungsgraden von 16 % und 30 % in Streifen von 100 m Länge ohne Wiederholungen nebeneinander angelegt. Jedes Gerät kam zur Unkrautregulierung einmal in jedem Großteilstück zum Einsatz. Beurteilt wurde der Durchgang von Stroh am Gerät als binäre Größe (Stroh behindert den Arbeitsgang bzw. Stroh stört

nicht), teilweise wurde auch das mitgeschleppte Stroh gewogen. Die Kulturpflanzen- und Unkrautzahlen vor und nach der Behandlung zu verschiedenen Terminen wurden mit einem Göttinger Schätzrahmen von 0,1 m² Fläche in mindestens fünffacher Wiederholung bestimmt.

In einem weiteren Experiment wurden der Turbo-Rollstriegel, die Rotary Hoe und ein herkömmlicher Striegel in einem Weizenbestand mit und ohne Mulchauflage überschlägig ohne Parzellenwiederholungen geprüft.

Ergebnisse

Sowohl der Rollstriegel als auch die Rotary Hoe erwiesen sich als grundsätzlich für die mechanische Unkrautregulierung (auch in Mulchsaatbeständen) geeignet. Störungen durch Getreidestroh traten im geprüften Bereich bis etwa 30 % Bodenbedeckungsgrad nicht auf. Der herkömmliche Striegel schob jedoch schon bei 16 % Mulchauflage das Stroh zu Schwaden zusammen und bot für diesen Einsatzzweck somit keine ausreichende Funktionssicherheit. Selbst eine Erweiterung des Zinkenabstandes von 27 mm auf 54 mm am Striegel führte zu keiner Verbesserung des Durchgangs.

Die Rotary Hoe und der Rollstriegel zeigten sich leistungsstark bei der Unkrautregulierung. In zwei Demonstrationen in einem Maisbestand (BBCH 9) konnte die Rotary Hoe bei geringem Unkrautbesatz (1 – 2 Pflanzen je m²) alle Unkräuter beseitigen. Später, im Stadium BBCH 13 des Maises mit hohem Unkrautbesatz (175 Pflanzen je m²) erreichte sie einen Wirkungsgrad von 91 % bei geringen Kulturpflanzenverlusten von 2 %. ENDRES et al. (1999) geben für unterschiedliche Kulturen Wirkungsgrade der Rotary Hoe bei zwei Arbeitsgängen von 7 – 89 % an. Somit wird die Leistungsfähigkeit von Striegeln unter günstigen Einsatzbedingungen erreicht, insbesondere wenn zwei Arbeitsgänge ausgeführt werden.

Im zweiten Experiment erzielte die Rotary Hoe mit einem Arbeitsgang etwa 50 % Wirkungsgrad bei der Unkrautregulierung in einem lockeren, nicht verschlammten Boden (Tabelle 9). Die Schadwirkung auf die Kulturpflanzen blieb auch in diesem Test unerheblich. Auch der Rollstriegel zeigte in dieser Situation mit bis zu 80 % Regulierungserfolg ein hohes Potenzial zur Unkrautregulierung. Der herkömmliche Striegel wurde in diesem Versuch mit sehr hoher Intensität eingesetzt, so dass die hohen Effekte auf die Unkrautflora (97 % Reduzierung) auf Kosten von deutlichen Kulturpflanzenschäden entstanden sind: 29 % der Weizenpflanzen wurden verschüttet. Das Striegeln bei Mulchauflage war nicht durchführbar.

Tabelle 9: Wirkung verschiedener Geräte zur Unkrautregulierung bei Mulchbedeckung auf Winterweizenpflanzen und Unkraut zum Zeitpunkt der Bestockung des Getreides bei lockerem und trockenem Boden

Mulchbedeckung	0 %		16 %	
	Unkraut	Kultur	Unkraut	Kultur
Striegel	97	29	n.e.	n.e.
Rotary Hoe	49	0	52	7
Rollstriegel	74	7	80	1

Diese Ergebnisse zeigen, dass mit den Geräten Rotary Hoe und Turbo-Rollstriegel jetzt Technik auf dem Markt verfügbar ist, die eine störungsfreie Unkrautregulierung in Mulchsaatbeständen verspricht. Falls sich diese Ergebnisse in vertiefenden Prüfungen bestätigen sollten, zeichnen sich erweiterte Möglichkeiten für Mulchsaaten im Ökolandbau ab.

3.7 Erosionsminderung durch Einsaat abfrierender Pflanzen in Winterweizen zur Erhöhung des Bodenbedeckungsgrades über Winter

Winterweizen bietet durch seine vergleichsweise schwache vegetative Entwicklung im Herbst von Oktober bis April eine bedeutende Angriffsfläche für den Bodenabtrag durch Niederschläge. Mit der Aussaat von zusätzlichen Kulturpflanzenarten in Winterweizenaussaaten wurde untersucht, inwieweit sich durch diese Gemenge dichtere Pflanzenbestände im Herbst zum Schutz des Bodens etablieren lassen. Dabei war es notwendig, die Konkurrenzbeziehungen zwischen dem Getreide und der beigemengten Aussaat von vornherein zu begrenzen, um Ertragsminderungen in der Getreidekultur zu minimieren. Deswegen wurden hauptsächlich abfrierende Beimengungspflanzen ausgewählt. Wichtig war außerdem, eine optimale Zeitspanne für die gemeinsame Aussaat von Ertragskultur und Bodenschutzkultur zu finden. Aus Sicht der Betriebswirtschaft waren die variablen Aufwendungen für die zusätzliche Maßnahme zu bewerten: Diese setzten sich aus den Saatgutkosten sowie aus dem Arbeitsgang Aussaat mit einer Drillmaschine zusammen.

Methode

In den Jahren 2005 und 2006 fanden insgesamt drei Experimente an verschiedenen Standorten in Sachsen statt. Es wurde damit nur die grundsätzliche Eignung von einjährigen dikotylen Pflanzenarten zur Erhöhung der Bodenbedeckungsgrade in Winterweizenbeständen geprüft. Dazu wurden zwei randomisierte Blockanlagen (n = 4) und eine vollständig randomisierte Versuchsanlage ohne Blockbildung (n = 3) für die Versuche genutzt.

Die Verteilung der zusätzlichen Beisaatpflanzen wurde auf den Winterweizenflächen mit einer eigenen Aussaat quer zur Drillrichtung des Getreides optimiert. Dabei erfolgte das Ausbringen der Saaten zeitnah nach der Getreideaussaat mit einer handgeführten Reichenau Drillmaschine bei

einem Reihenabstand von 14 cm. Es wurden Pflanzen mit unterschiedlicher Winterhärte ausgewählt, um Hinweise auf das Durchwuchsverhalten einzelner Arten im Hauptvegetationsjahr zu bekommen (Tabelle 10).

Beobachtet wurde die Entwicklung der Bodenbedeckungsgrade durch die Kulturpflanzen, Unkräuter und Beisaaten. Dies erfolgte entweder über eine visuelle Schätzung innerhalb einer Skala von 0-100 % oder über die Auswertungen der Farbunterschiede von Fotografien über den PC mit dem Programm Piccolor Image Analysis, Version 4.0, F.I.B.U.S. Research Institute. Bestimmt wurden die Pflanzendichten durch Zählungen mit Hilfe eines Göttinger Schätzrahmens von 0,1 m² Fläche. Mindestens drei Wiederholungen bildeten die Parzellenmittelwerte.

Tabelle 10: Standorte, Aussaatzeiten und Bonituren der Versuche zu Beisaaten in Winterweizen

Ort	Sehlis	Großzöbern	Nossen
Bodenentstehung	Diluvial	Verwitterung	Löß
Höhe m über NN	110	360	255
Aussaat Weizen	7.10.05	11.10.05	16.10.06
Bestand Weizen [1/m ²]	390	360	150
Aussaat Beisat	13.10.05	14.10.05	17.10.06
Messung-/Boniturdatum	11.11.05	14.11.05	15.12.06
Erfassung Bestandesdichten	Messung	Messung	Schätzung

Ergebnisse und Diskussion

Zusätzliche Einsaaten in Winterweizen führten zu insgesamt dichteren Pflanzenbeständen bei ortsüblichen Aussaatterminen. Dabei wurden auch Bedeckungsgrade des gesamten Pflanzenbestandes von über 30 % erreicht, um den Boden wirkungsvoll vor Erosion zu schützen (Tabelle 11). Senf und Phacelia verfügten eher über die erforderliche hohe Entwicklungsgeschwindigkeit als Sommerraps, Leindotter oder Inkarnatklee. Insbesondere der Versuch auf dem Standort Nossen weist aus, dass selbst bei fortdauernder Vegetationsperiode bis zum Jahreswechsel weder von Sommerraps noch von Leindotter oder Inkarnatklee Bedeckungsgrade im erforderlichen Bereich gebildet wurden.

Tabelle 11: Bedeckungsgrade des Bodens in % von Winterweizenbeständen mit zusätzlichen Einsaaten und deren Saatstärken zur Reduzierung von Bodenerosion (Kontrolle: ohne Einsaat)

Ort	Sehlis ¹	Großöbern ¹	Nossen ²
Kontrolle	27 b	8 b	3-5
Senf (12-14 kg/ha)	37 a	17 a	30-40
Phacelia (8-10 kg/ha)	35 a	14 a	20-25
Sommerraps (8 kg/ha)	-	-	7-10
Leindotter (4 kg/ha)	-	-	10
Inkarnatklée (35 kg/ha)	-	-	7-10

¹ Fotogrammetrische Auswertung; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede;

Tukey-Test bei $\alpha = 0,05$

² Spannweite der Bedeckungsgrade; n = 4

Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Auswahl des Gemengepartners ist die Frostempfindlichkeit. Diese sollte eher mäßig sein, so dass leichte Fröste im Herbst noch vertragen werden. Im Laufe des Winters muss dann jedoch ein sicheres Abfrieren erfolgen, um Ertragseinflüsse zu minimieren. Im Jahr 2005 erfroren Phacelia und Senf auf beiden Versuchsstandorten vollständig in den Wintermonaten. Dagegen waren auf dem Standort Nossen im Jahr 2006 keine Frostschäden an den Gemengesaaen erkennbar. Senf und Phacelia überwuchsen im Mai 2007 den Winterweizenbestand. Beide Pflanzenarten bergen demnach ein hohes Ertragsrisiko. Der Inkarnatklée bildete im Frühling einen den Boden bedeckenden Bestand und erreichte kurz vor Blühbeginn zu dreiviertel die Wuchshöhe des Weizens. Geringe Konkurrenz bildeten die Bestände von Leindotter und Sommerraps aus. Für die Bodenbedeckung selbst waren diese Pflanzen insgesamt zu schwach entwickelt.

Als günstiger Saatzeitpunkt für die Beisaaten erscheint nach bisherigen Erfahrungen ein Termin etwa um den 10. Oktober auf den Standorten im Flachland. Bei sehr frühen Saatterminen und dichter Aussaat kann noch mit einer üppigen Winterweizenentwicklung gerechnet werden, so dass eine Gemengeaussaat geringere Effekte verspricht. Spätere Aussaaten verringern deutlich die Chancen für eine ausreichende Vorwinterentwicklung des Bestandes. Betriebswirtschaftlich wäre Gelbsenf die kostengünstigste Variante bezüglich der Saatgutkosten, gefolgt von Phacelia und den anderen Arten (Tabelle 12).

Tabelle 12: Pflanzensorten, TKM, Aussaatmengen und Saatgutkosten der geprüften Pflanzenarten als Beisaaten in Winterweizen

Pflanzenart	Sorte	TKM [g]	Aussaatmenge [kg/ha]	Saatgut-Preis [€/ha]
Buchweizen	Esculentum	27,3	50	68
Inkarnatklee	Inta	4,6	35	120
Leindotter	Calena	1,2	4	120
Phacelia	Phaci	1,8	8	60
Senf	Litember	6,8	15	35
Sommerraps	Liforium	4,1	8	70

Nach derzeitigem Erkenntnisstand sind weitere Versuche erforderlich, um das Verfahren Winterweizen mit Beisaaten hinsichtlich der Pflanzenarten, Saatzeitpunkte und der Ertragswirkung zu konkretisieren. Es besteht durch milde Winter eine erhebliche Durchwuchsgefahr der Beisaaten.

3.8 Querdämme in Kartoffeln

Die Gefahr der Bodenerosion auf Kartoffelfeldern ist, bedingt durch das Anbauverfahren in Dämmen, besonders hoch. Die Flanken der Kartoffeldämme weisen eine Neigung von über 45° auf und lassen sich deswegen nur schwer gegen Bodenabtrag stabilisieren.

Technisch besteht die Möglichkeit, das Regenwasser beim Ablauf in den Tälern zwischen den Dämmen mit zusätzlichen Dämmen quer zur Pflanzenreihe zu stauen. Damit werden kleine Staubecken geschaffen, die je nach Abfolgedichte und Hangneigung das Wasser in unterschiedlichen Mengen zurückhalten können. Rechnerisch, optimal ausgeformt, kann diese Querverbauung hohe Niederschlagsmengen aufnehmen bis sie überflutet wird und in Folge Bodenabtrag entstehen kann (Tabelle 13). Allerdings setzt sich in der Praxis die Bodenanhäufung im Laufe der Zeit ab, so dass sich das Stauvolumen verringert. Ein bedeutender Nachteil entsteht für die Bewirtschaftung: Es werden die Arbeitsabläufe bei der mechanischen Unkrautregulierung und der Ernte durch die Unebenheiten erschwert. Trotz dieser Schwierigkeiten wurde bereits eine Häufelmaschine zum Querdammaufbau durch die Universität Hohenheim entwickelt. Die Demonstrationen zur Einführung in die Praxis sind abgeschlossen. Optimale Ergebnisse verspricht diese Technik in Verbindung mit einer Pflanzung der Kartoffeln quer zur Hangrichtung. Bis 15 % Gefälle lässt sich damit sowohl der Wasserabfluss als auch der Bodenabtrag weitestgehend eindämmen. Für die Kartoffeln wird gleichzeitig eine bessere Wasserversorgung erwartet. Die Kosten je Flächeneinheit lassen sich noch nicht genau beziffern, da bisher keine Preise für Serienmaschinen genannt werden können. Insgesamt wird für dieses Verfahren aber von einer nur geringen Akzeptanz der Landwirte ausgegangen (BILLEN & AUERBACHER 2007).

In den Versuchen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft auf kleinen Flächen wurde das Verfahren durch manuelles Aufschütten der Querdämme imitiert und mit Niederschlagssimulationen auf Wasserrückhaltung geprüft. Die Pflanzung der Kartoffeln erfolgte in Hangrichtung.

Tabelle 13: Maximale Ausdehnung des Wasserstaus sowie die Wasserspeicherkapazität hinter einem Querdamm von 20 cm Höhe und 65 cm Staubreite bei dreieckigem Gerinnequerschnitt bei unterschiedlicher Hangneigung; Reihenabstand der Kultur 75 cm, Dammkrone 10 cm breit

Hangneigung [%]	Max. Staulänge und Abstand der Querdämme [m]	Stauvolumen [l]	ausreichend für Niederschlagsmenge [l/m ²]
2	10	210	~ 25
5	4	80	~ 23
10	2	40	~ 22

Methode

Die konventionell bewirtschaftete Versuchsfläche lag im Sächsischen Lößhügelland bei Leisnig und hatte eine Hangneigung von 5 - 9 % mit einer Exposition nach Westen. Die Pflanzdämme von 75 cm Reihenabstand wurden mit der Fräse aufgebaut und die Unkrautregulierung erfolgte mit Herbiziden. Zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung am 16.06.2006 bedeckten die Kartoffelstauden 25 % der Bodenoberfläche, wobei die Dammkrone zu 83 % und die Täler zu 0 % vom Kartoffelkraut überschirmt waren.

Für sieben Messungen bei unterschiedlichen Hangneigungen von 5 - 9 % wurde jeweils ein Querdamm mit einem Spaten aufgeschüttet und mit einer nicht präparierten Fläche verglichen. Dabei waren die Parzellen 5,85 m lang und 0,75 m breit. Beobachtet wurden somit 4,4 m² Fläche. Die Intensität des Niederschlages lag bei 1,9 l/m² min und wurde mit zehn Bügeldüsen (3,8 mm Düsenweite) erzeugt, die an einem linearen Strang mit 0,5 m Abstand montiert waren (Abbildung 7). Trotz des geringen Arbeitsdrucks von 1,2 bar bildete sich ein relativ feines Tropfenspektrum aus, das in diesem Punkt nicht dem Charakter eines starken Regens entsprach. Die gemessenen Abflusswerte stellen somit ein eher günstiges Szenario hinsichtlich des Bodenabtrages dar. Zur Minderung der Abdrift des Beregnungswassers durch Wind wurden die Regnerdüsen nur 15 cm über dem Kartoffelbestand installiert. Während der Beregnungen wurden wechselnde Windgeschwindigkeiten zwischen 0,5 m/s und 4 m/s (Median: 2,5 m/s) bestimmt.

Die Querdämme hatten eine Basisbreite von 60 cm und ihre Höhe entsprach der Höhe des Kartoffeldamms mit 30 cm. Der aufgeschüttete Damm wurde nicht weiter verdichtet und bei der Beregnung mit befeuchtet. Beregnet wurde bis zum Überfluten der Dammkrone.



Abbildung 7: Versuchsaufbau zur Niederschlagssimulation in einem Kartoffelbestand. Links: beginnender Stau des abfließenden Wassers am Querdamm; Mitte: Beregnungsstrang mit Bügeldüsen; rechts: Kontrolle mit freiem Abfluss und Auffangrohr

Ergebnisse und Diskussion

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass der Kartoffelschlag im geprüften Hangbereich generell kaum in der Lage war, Niederschlagswasser aufzunehmen. Das Niederschlagswasser erreichte als Abfluss von der Fläche im Mittel schon 62 s nach Beginn der Beregnung das Ende der Prüfparzelle und lief ab. In mehr als der Hälfte der Versuche begann der Abfluss sogar schon nach spätestens 50 s. Bei dieser zeitlichen Verzögerung sind das Benetzen aller Oberflächen sowie die Fließstrecke des Wassers enthalten. Dieser geringe zeitliche Verzug bis zum Abfluss als auch der Vergleich des gesamten Abflusses zur aufgebrauchten Wassermenge schließt eine nennenswerte Wasserversickerung aus (Tabelle 14). Daraus ergeben sich gravierende Folgen nicht nur für den potentiellen Bodenabtrag, sondern auch für die Wasserversorgung der Kartoffeln im Hangbereich. Der gemessene gesamte Bodenabtrag mit 27 g/m^2 für die mittlere Beregnungsdauer von 7 min 34 s war im Vergleich zu Messungen auf unbewachsenen, nicht mit Dammkulturen bestellten Flächen eher

gering. Erosionsmindernd wirkte sich das Laubwerk der Kartoffeln sowie die leichte Mulchauflage aus. Zudem löste die geringe kinetische Energie der einzelnen Wassertropfen wenig Bodenpartikel vom Untergrund ab.

Der Querdamm konnte den Abfluss von der gesamten Parzelle im Mittel über 7,5 min auffangen, bis das Wasser den Damm in der Folgezeit überströmte und schnell abtrug. Eine gesamte Niederschlagshöhe von 14,4 mm ließ sich somit auf der Fläche zurückhalten.

Tabelle 14: Berechnungsmenge, Wasserabfluss und Bodenabtrag im Kartoffelanbau mit und ohne Querdamm zum Wasserstau am 16.06.2006 bis zum Zeitpunkt des Überlaufs am Querdamm; Bodenentstehung Löß, Hangneigungen 5 % bis 9 %, Kronenbreite der Kartoffelstauden 23 cm, Mulchbedeckung 5 %

n=7	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Wassermenge, berechnet [l/m ²]	14,4		
Zeit bis Überlauf Querdamm [s]	454	410	169
Abflussbeginn Kontrolle [s]	62	50	28
Abfluss, Kontrolle [l/m ²]	14,1	12,6	3,8
Abtrag, Kontrolle [g/m ²]	27,0	28,2	15,4

Schlussfolgerungen

Vor allem bei geringer Hangneigung können Querdämme effektiv sein, weil relativ weite Abstände zwischen diesen Erdanhäufungen möglich sind, um größere Mengen Niederschlagswasser im Abfluss aufzuhalten. Neben der reinen Abfluss- und Erosionsminderung kann dadurch auch mit einer umfangreicheren Wasserversorgung der Kartoffeln gerechnet werden. Wie sich damit das Verfahren auch aus wirtschaftlicher Sicht darstellt, ist nicht bekannt. Ohne weitere Daten lassen sich deswegen auch keine Empfehlungen für den Einsatz in der Praxis aussprechen.

4 Schlussfolgerungen aus allen Untersuchungen und Ausblick

Das Ziel der Projektarbeit war es, Maßnahmen zur Erosionsminderung im ökologischen Landbau zu prüfen und der landwirtschaftlichen Praxis vorzustellen. Nach Abschluss der Arbeiten erscheinen einige der geprüften ackerbaulichen Methoden aussichtsreich, den Bodenschutz im Ökolandbau kurzfristig erweitern zu können. Es lässt sich sogar ein durchgängiger und hoher Erosionsschutz aus den Einzelmaßnahmen zusammenfügen. Dabei müsste nicht einmal auf das Pflügen verzichtet werden. So bestehen grundsätzlich gute Perspektiven, auch im ökologischen Landbau steigenden Anforderungen im Bodenschutz gerecht zu werden. Allerdings ist für ausgereifte Empfehlungen noch einige Entwicklungsarbeit an der Maschinenteknik und über Feldexperimente zu leisten.

In greifbare Nähe gerückt ist es dagegen, Mulchsaaten erfolgreich in Kulturen anzulegen, die eine intensive Unkrautregulierung verlangen, dazu gehört z.B. der Mais. Die Klärung der Frage nach einer geeigneten Technik zur mechanischen Unkrautregulierung bei mulchbedeckten Bodenoberflächen war dafür ein entscheidender Schritt. Trotz guter Resultate sind aber auch hier noch Versuchsreihen notwendig, um die Auswirkungen auf die Kulturen genauer zu beschreiben.

Es wird eingeschätzt, dass der Pflug zunächst, je nach Fruchtfolge und betrieblicher Situation, im ökologischen Landbau noch häufig zum Einsatz kommen wird, wie zum Beispiel beim Einarbeiten von ausdauernden Futterpflanzen, die leicht aus ihren Wurzelstöcken wieder austreiben. In diesen Fällen bieten spezielle Bauformen von Pflügen zur flachen Bodenwendung zwar leichte Vorteile im Erosionsschutz gegenüber den Standardgeräten, aber der investive Aufwand für die neuen Geräte lässt nur eine begrenzte Ausbreitung der extrem flachen Bodenwendung erwarten. Das Thema Pflugfurchen gegen Bodenerosion zu stabilisieren, benötigt somit eine weitere Entwicklung. Dazu bieten sich zum Beispiel weitere Experimente mit Beisaaten aus abfrierenden Gründüngungspflanzen in Winterweizen an. Alternativ kann an dieser Stelle auch mit einer kreuzweisen Aussaat von Winterweizen in erosionsgefährdeten Hangbereichen mit relativ hohen Saatstärken experimentiert werden, um Probleme mit dem Durchwuchs von vornherein auszuschalten. Interessant für die Praxis dürfte auch die Gerätekombination aus Häcksler und Pflug sein, mit der der Zwischenfruchtaufwuchs einer Fläche auf die dort gezogene Pflugfurchen als Mulchauflage übertragen werden kann.

Die technische Maßnahme, Querdämme auf Kartoffeläckern anzulegen, scheint ein wichtiger Stein im Mosaik der Bodenschutzmaßnahmen zu sein, weil das Mulchlegen mit phytopathologischen Problemen in Verbindung gebracht wird. Um Akzeptanz für die Querdämme zu erreichen, bedarf es die Vorteile dieses Systems deutlicher herauszuarbeiten. Dabei müssen unbedingt die Vorteile für die Wasserversorgung der Kulturen beleuchtet werden.

Insgesamt profitieren alle hügeligen und gebirgigen Regionen in Sachsen von der Entwicklung geeigneter Erosionsschutzmaßnahmen, dies gilt auch für die Mittelgebirgsböden. Hier lässt sich trotz hoher Erosionsfestigkeit der Böden keine Entwarnung hinsichtlich des Bodenabtrages aussprechen. Denn mit der Ackernutzung besonders steiler Hänge bei gleichzeitig großen Schlaglängen sind die Sicherheitsreserven aufgebraucht.

Für verallgemeinerbare und sichere Aussagen benötigen jedoch noch alle hier vorgestellten Verfahren vertiefende Experimente und überzeugende langjährige Demonstrationen auf verschiedenen Standorten. Detailuntersuchungen, z. B. zur Leistungsfähigkeit von Maschinenteknik zur Unkrautregulierung, sind in Sachsen teilweise angelegt. Zahlreiche Vorhaben müssten noch eingeplant werden. Aber selbst langfristig, auch bei guter experimenteller Unterstützung, müssen in der Praxis Anpassungen der Arbeitsweisen im Erosionsschutz an jeden Ackerschlag und an jeden landwirtschaftlichen Betrieb individuell erfolgen. Daraus ergeben sich hohe zusätzliche fachliche Anforde-

rungen an den Landwirt. Insgesamt wird der ökologische Ackerbau mit der gezielten Umsetzung von erosionsmindernden Maßnahmen noch deutlich vielfältiger und komplizierter werden, so dass Fortbildungsangebote diesen Entwicklungsprozess tragen müssen. Nicht zuletzt werden Investitionen auf den Betrieben erforderlich, um den vorhandenen Maschinenpark für die neuen Arbeitsgänge, etwa bei der Unkrautregulierung, in der Feldarbeit zu ergänzen.

Wenn auch die landwirtschaftliche Praxis in der Lage ist, die Methoden des erosionsmindernden Ackerbaus ein Stück weit selbst zu entwickeln, wie es die Ergebnisse der Befragung in Sachsen zeigen, so wird dies ohne wissenschaftliche Unterstützung jedoch ein langsamer Entwicklungsprozess bleiben. Mittelfristig ist aber der ökologische Pflanzenbau nur eine Alternative für den modernen Landbau, wenn insbesondere Mulchsaaten sicher und routinemäßig beherrschbar werden. In erster Linie dürften Mulchsaaten, vor allem die Ausführung der Bodenbearbeitung mit dem Grubber, verbreitet auf Akzeptanz stoßen. In zweiter Linie stehen alle Verfahren mit zusätzlichen Maschinenaufwendungen oder Kosten für Saatgut.

Nach den vorliegenden Arbeitsergebnissen ist es auf jeden Fall vertretbar, Öko-Landwirten zu weiteren einfachen Tests mit Mulchsaaten zu raten, insbesondere wenn der Erosionsschutz im Vordergrund steht. Eine wichtige Aufgabe ist es dabei, den Zusammenhang zwischen der Höhe der Mulchbedeckung und dem Maß des Erosionsschutzes zu vermitteln, um die Arbeiten von vornherein in die richtige Richtung zu lenken. Diese Ausführung der Bodenbearbeitung wird im ökologischen Landbau schwierig zu realisieren sein, denn mit der Bodenbearbeitung muss zugleich auch eine Beseitigung von weit entwickelten Unkräutern einhergehen.

5 Zusammenfassung

Im Zeitraum April 2005 bis Dezember 2006 wurden in Sachsen Maßnahmen zur Minderung von Bodenerosion im ökologischen Landbau geprüft sowie der derzeitige Stand der Umsetzung von Mulchsaaten erfasst. Es konnte festgestellt werden, dass acht Öko-Landwirte in Sachsen regelmäßig mit Mulchsaaten arbeiten, d. h. die Grundbodenbearbeitung mit dem Grubber ausführen. Die wichtigsten Beweggründe dafür sind erwartete Vorteile in der Arbeitswirtschaft und die Vermeidung von Bodenerosion.

Die in Feldversuchen und Demonstrationen untersuchten bzw. vorgestellten Verfahren zur Erosionsminderung beinhalteten die Themen:

- flache Pflugfurchen
- unterschiedlich tiefes Grubbern
- mechanische Unkrautregulierung bei Mulchsaaten
- Erhöhung der Bodenbedeckungsgrade durch Einsaaten von Gründüngungspflanzen in Winterweizenbestände
- Rückhalt von Niederschlagswasser in Kartoffelbeständen durch zusätzliche Dämme quer zur Reihe der Kulturpflanzen.

Es konnte gezeigt werden, dass sich durch 10 cm flaches Pflügen auf einem Lößstandort das Bodenabtragspotenzial nur leicht gegenüber einer tieferen Bodenwendung verminderte. Für diese Arbeitsweise war zudem ein Spezialpflug erforderlich. Flaches Pflügen, 15 cm tief, auf einem Mittelgebirgsboden ergab sogar leicht schlechtere Resultate hinsichtlich der Erodierbarkeit des Bodens gegenüber einer tieferen, betriebsüblichen Pflugfurche. Wurde der Pflug durch den Grubber zur Grundbodenbearbeitung ersetzt, verbesserte sich mit abnehmender Arbeitstiefe der Erosionsschutz der Ackerfläche zunehmend. Schwierig war, bei mehrfacher Anwendung des Grubbers zur Vorbereitung einer Aussaat eine Mulchauflage von 30 % Bodenbedeckungsgrad zu erhalten, um den Erosionsschutz ausreichend zu gewährleisten.

Zur Unkrautregulierung auf mulchbedeckten Bodenoberflächen haben sich zwei Geräte als grundsätzlich geeignet erwiesen. In ersten Versuchen konnten mit dem Rollstriegel und der Rotary Hoe vergleichbare Wirkungsgrade wie beim Striegeln gefunden werden. Eine Mulchauflage behinderte diese Geräte nicht.

Winterweizen nach einer Pflugfurche mit zusätzlichen Einsaaten von zum Beispiel Phacelia oder Gelbsef durch hohe Bodenbedeckungsgrade über Winter vor Bodenerosion zu schützen, kann vorerst nicht empfohlen werden, weil nach dem ungewöhnlich milden Winter 2006/2007 erheblicher Durchwuchs dieser Einsaaten auftrat.

Die Methode, mit kleinen Erddämmen in den Furchen von Kartoffeläckern das abfließende Niederschlagswasser aufzustauen, kann vor allem bei flacheren Hängen als Erosionsschutz wirksam sein. Allerdings stehen hier vorerst nur Versuchsgeräte für die technische Umsetzung zur Verfügung. Im Weiteren müsste der Einfluss des Wasserstaus auf die Kartoffelknollen noch untersucht werden.

Sobald sich die Notwendigkeit des Mulchens von Zwischenfrüchten ergibt, sind auch Arbeitsgangkombinationen oder Gerätekombinationen mit Pflug und Mulcher prüfenswert, mit denen Mulchauflagen auf der gepflügten Oberfläche erzeugt werden können.

Es wird eingeschätzt, dass die Ökolandwirte in Zukunft insbesondere die Grundbodenbearbeitung mit dem Grubber ausweiten werden. Hierfür sprechen die technisch einfache Methode der Bodenbearbeitung, Vorteile in der Arbeitswirtschaft sowie die neue Möglichkeit, Unkraut in Mulchsaaten direkt zu regulieren. Dabei unterstreichen die Ergebnisse einer durchgeführten Befragung diese Sichtweise. Es ist zu erwarten, dass der Einsatz des Grubbers vorerst relativ intensiv in Verbindung mit einer Regulierung mehrjähriger Unkräuter erfolgen wird. Daraus resultiert zunächst eine potenzielle Bodenabtragsminderung in erosionsgefährdeten Lagen gegenüber der Pflugfurche um etwa 50 %.

6 Literaturverzeichnis

- BILLEN, N., AUERBACHER, J. (2007): Querdammhäufelung. In: KRIMLY, T., DABBERT, S., HAUSER, J.: Landwirtschaftlicher Hochwasserschutz – 10 Steckbriefe für 12 Maßnahmen. S. 13-14. Verlag Universität Hohenheim.
- ENDRES, G., BERGLUND, D., DEXTER, A., ZOLLINGER, R. (1999): Mechanical Weed Control with a Harrow or Rotary Hoe. www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/weeds/w1134.htm; Institution: North Dakota State University.
- FEUERLEIN, W. (1964): Geräte zur Bodenbearbeitung: Grundlagen für einen rationellen Ackerbau. Verlag Ulmer, 158 S.
- MICHEL, J. (2004): Erosionsanfälligkeit ökologisch bewirtschafteter Ackerflächen im Sächsischen Lößhügelland. Diplomarbeit, Universität Leipzig.
- MÜLLER, E. (2008): Optimierung des Erosionsschutzes durch kleinräumige Steuerung der Bodenbearbeitungstiefe im Rahmen konservierender Bodenbearbeitungsverfahren. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 2/2009. S. 1 - 38
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN (1993): Dauerversuche zur Erarbeitung von Grundlagen eines ökologisch betriebenen Ackerbaues in den Höhenlagen des Sächsischen Erzgebirges. 208 S.
- WINNIGE, B., CORZELIUS, U., FRIELINGHAUS, M. (1998): Indikation der aktuellen Erosionsgefährdung mit Hilfe der Bodenbedeckung. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft Bd. 88, S. 569-572

Impressum

Herausgeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Internet: <http://www.smul.sachsen.de/lfulg>

Autoren: Bioland Beratung Ost
Uwe Becherer
04668 Muschau, Nr. 2
Telefon: 034386/41917
E-Mail: becherer@bioland-beratung.de

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Abteilung Pflanzliche Erzeugung
Ellen Müller, Martin Hänsel
Gustav-Kühn-Straße 8
04159 Leipzig
Telefon: 0341 9174-154/130
Telefax: 0341 9174-111
E-Mail: ellen.mueller@smul.sachsen.de
martin.haensel@smul.sachsen.de

Redaktion: Martin Hänsel, Ellen Müller

Endredaktion: Präsidialabteilung
Öffentlichkeitsarbeit

ISSN: 1867-2868

Redaktionsschluss: Januar 2009

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.