

Optimierung der Stoppelbearbeitung

Schriftenreihe, Heft 19/2013



Optimierung der Stoppelbearbeitung im pfluglosen Ackerbau

Martin Hänsel, Ellen Müller, Walter Schmidt

1	Einführung.....	6
2	Material und Methoden.....	7
3	Die Transektmethode zur Bestimmung der Bodenbedeckung.....	10
4	Ergebnisse der Feldversuche bei Beurteilung der gesamten Versuchsergebnisse.....	12
4.1	Bodenbedeckung vor und nach der Stoppelbearbeitung ohne Strohbergung.....	12
4.2	Bodenbedeckung mit Strohbergung und nach erster Stoppelbearbeitung.....	15
4.3	Arbeitstiefe und Mulchabbau	17
4.4	Grubber, Scheibeneggen und Kreiselegge im Vergleich	18
5	Ergebnisse von einzelnen Versuchen zu speziellen Fragen des Maschineneinsatzes	19
5.1	Stoppellänge, Arbeitstiefe, Arbeitsgeschwindigkeit im Hinblick auf den Mulchabbau	19
5.2	Wirkung von Arbeitstiefe und Arbeitsgeschwindigkeit auf die Mulchbedeckung	21
5.3	Einstellung einer Scheibenegge	22
5.4	Entwicklung der Mulchbedeckung im zeitlichen Verlauf.....	25
5.5	Erste und zweite Stoppelbearbeitung	27
5.6	Vergleich verschiedener Grubberschare.....	31
5.7	Gänsefußschar kombiniert mit Scheibensech als Maschinenaufbau für geringe Mischwirkung	38
6	Diskussion und Schlussfolgerungen.....	43
7	Zusammenfassung	45
8	Literatur	47
9	Anhang	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Zugkraftmesseinrichtung in Dreipunktkopplung zwischen Traktor und Anbaugerät	8
Abbildung 2:	Stroh-Mulchauflage nach der Getreideernte mit einem Bedeckungsgrad von 90 % (am Foto geschätzt)	11
Abbildung 3:	Häufigkeitsverteilung der Bodenbedeckung mit Mulchmaterial nach Winterweizen ohne Strohernte auf Lössböden und sandigen Böden in Sachsen vor einer Stoppelbearbeitung.....	12
Abbildung 4:	Zusammenhang zwischen Bodenbedeckung von Versuchsflächen auf schluffigen Lössböden und sandigen Böden vor und direkt nach der Stoppelbearbeitung. Ausgleichsgerade, ansteigende Linie, $y = 0,293x + 0,562$; $R^2 = 0,251$	14
Abbildung 5:	Bodenbedeckungsgrade nach erster Stoppelbearbeitung bei drei verschiedenen Maschinengrundtypen in zwölf Versuchen mit 51 Varianten über vier Jahre (σ = Ausreißer).....	18
Abbildung 6:	Mulchbedeckung nach der Bodenbearbeitung bei unterschiedlichen Stoppellängen; Mulchbedeckung vor der Bodenbearbeitung war 81 %. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen (Tukey-Test bei $\alpha = 0,05$; SD = Standardabweichung).....	20
Abbildung 7:	Bodenbedeckung nach einer Stoppelbearbeitung mit dem Flügelschargrubber mit Variation der Geschwindigkeit und Arbeitstiefe nach Strohernte; Stoppelhöhe = 13 cm, Mulchbedeckungsgrad vor der Bearbeitung 60 %; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$); SD = Standardabweichung	22
Abbildung 8:	Bodenbedeckung nach Stoppelbearbeitung mit einer Scheibenegge bei unterschiedlicher Arbeitsintensität auf sandigem Boden; Bodenbedeckung vor der Bearbeitung war 81 %.....	24
Abbildung 9:	Bodenbedeckung nach Stoppelbearbeitung mit einer Scheibenegge bei unterschiedlicher Arbeitsintensität auf Lössboden; Bodenbedeckung vor der Bearbeitung war 88 %.....	25
Abbildung 10:	Entwicklung der Bodenbedeckung auf sandigem Boden im Verlauf von zwei Arbeitsgängen bei der Stoppelbearbeitung mit einheitlichem ersten Arbeitsgang mit 5 cm Tiefe; angegeben sind Arbeitstiefe (cm) und Arbeitsgeschwindigkeit (km/h); SD = Standardabweichung	28
Abbildung 11:	Entwicklung der Bodenbedeckung auf Lössboden im Verlauf von zwei Arbeitsgängen bei der Stoppelbearbeitung mit einheitlichem ersten Arbeitsgang mit 5 cm Tiefe; angegeben sind Arbeitstiefe (cm) und Arbeitsgeschwindigkeit (km/h); SD = Standardabweichung; Grubber „Rabe“ unterscheidet sich signifikant von Grubber Doppelherzschar zum Termin 15.09.2011 (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$).....	29
Abbildung 12:	Doppelherzschar mit 135 mm und 180 mm Breite sowie Doppelherzschar (135 mm) mit 42 cm schneidenden Flügeln	31
Abbildung 13:	Beispiel eines Rauheitsprofil der Bodenoberfläche und der bearbeiteten Sohle über die gesamte Arbeitsbreite eines Grubbers mit einer Arbeitsbreite $B = 300$ cm unter Verwendung von Flügelscharen ohne Einsatz von nachlaufenden Einebnungswerkzeugen; Standort: Löss; C4 = Kennzeichen der Parzelle	32
Abbildung 14:	Streifenweise gelockerter Lössboden bei der Stoppelbearbeitung mit einem Grubber mit Doppelherzscharen	33
Abbildung 15:	Beispiel für geringe Vermischung von Stohtteilen und Boden bei der Stoppelbearbeitung	34
Abbildung 16:	Beispiel für eine raue Bodenoberfläche nach Stoppelbearbeitung mit einem Flügelschargrubber ohne nachlaufende Einebnungswerkzeuge. Die Sohle ist für diesen Schartyp in der Regel wellig, aber komplett durchschnitten. Die groben Bodenaggregate erhöhen den Erosionsschutz leicht der gering mit Mulchmaterial bedeckten Fläche.	35
Abbildung 17:	Beispiel für eine ebene Oberfläche (geringe Rautiefe), aber bei unvollständiger Bodenlockerung nach der Stoppelbearbeitung mit einer Scheibenegge auf einem Lössboden; Erosionsdisposition ist durch geringe Bodenbedeckung und feine Bodenaggregate hoch.....	36
Abbildung 18:	Scheibenseche am Grubber vor Gänsefußscharen als Versuchsanordnung zur Bodenlockerung mit geringer Bodenwendung.....	39
Abbildung 19:	Raue Oberfläche mit wenig Mulchauflage auf Löss und ebener Bearbeitungssohle nach Stoppelbearbeitung mit Gänsefußscharen und Scheibensechen am Grubber ohne Einebnungswerkzeuge	41
Abbildung 20:	Arbeitsergebnis einer Kreiselegge bei der sehr flachen Stoppelbearbeitung: relativ feine ebene Oberfläche und buckelige Bearbeitungssohle. Die geringe Stroheinarbeitung unterstützt die Erosionsfestigkeit. Die feine Bodenaufbereitung fördert Verschlammung.	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Standorte und Versuchsschwerpunkte in den Jahren 2008 bis 2011 zur Stoppelbearbeitung in Bezug auf den Erosionsschutz.....	7
Tabelle 2:	Ergebnisse der Versuchsdatenprüfung auf Normalverteilung und Varianzhomogenität.	10
Tabelle 3:	Bodenbedeckungsgrade durch Unkraut in Prozent; visuelle Schätzung mit dem Göttinger Schätzrahmen in den Parzellen von acht Versuchsanlagen vor und nach der ersten Stoppelbearbeitung in den Jahren 2010 und 2011	13
Tabelle 4:	Anzahl und Signifikanz der Unterschiede bei der Bodenbedeckung nach der Stoppelbearbeitung hinsichtlich des 30 %-Wertes auf Basis des t-Tests ($\alpha = 5\%$); Datenbasis 41 Versuchsvarianten ohne Strohbergung	15
Tabelle 5:	Mulchauflagen in % Bedeckungsgrad im Versuchsjahr 2010 auf Löss nach Strohbergung und nach der Stoppelbearbeitung mit verschiedenen Geräten; (MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; V = Geschwindigkeit; D =Arbeitstiefe)	16
Tabelle 6:	Bodenbedeckung in % bei 51 Versuchsvarianten vor und nach der Stoppelbearbeitung auf zwei Bodenstandorten in Sachsen von 2008-2011 mit und ohne Ernte des Strohs	16
Tabelle 7:	Statistische Parameter linearer Regressionen der Bodenbedeckung in Abhängigkeit von der Tiefe der Stoppelbearbeitung auf unterschiedlichen Standorten und Maschinentchnik	17
Tabelle 8:	Bereich der Einstellung von Arbeitstiefe und Arbeitsgeschwindigkeit der in den Versuchen eingesetzten Maschinen.....	18
Tabelle 9:	Differenzierung der Stoppellängen im Versuch.....	19
Tabelle 10:	Ergebnis der Varianzanalyse der Daten zur Mulchbedeckung im Versuch mit differenzierter Strohlänge und Arbeitstiefe; Signifikanzen kleiner 0,05 lassen auf Unterschiede schließen.....	20
Tabelle 11:	Stoppelhöhen auf elf Praxis schlägen, die auch als Versuchsflächen dienten.....	21
Tabelle 12:	Zugleistungsbedarf je m Arbeitsbreite für eine Scheibenegge bei der Stoppelbearbeitung in Abhängigkeit von Geschwindigkeit, Arbeitstiefe und Anstellwinkel	23
Tabelle 13:	Regeneration der Bodenbedeckung nach der Weizenernte bis zum März des Folgejahres auf sandigem Boden in Nordsachsen; (alle Median-Unterschiede signifikant; Wilcoxon-Test, $\alpha = 0,05$)	26
Tabelle 14:	Verhältnisse der Anteile der Ernterückstände und des Grünaufwuchses der Bodenbedeckung in einem Feldversuch auf sandigem Boden (August 2010 bis März 2011, n = 16 Versuchspartellen; Schätzung mit Göttinger Rahmen, 24.08. = vor der Bodenbearbeitung)	26
Tabelle 15:	Entwicklung der Mulchauflage von Stroh und Spreu bei einer Stoppelbearbeitung im Feldversuch auf Lössboden von August 2010 bis März 2011; Stroh war abgeerntet; Herbizide verhinderten einen Grünaufwuchs.....	27
Tabelle 16:	Vergleich von Zentral- und Streuwerten von Prüfgliedern mit Stoppelbearbeitung in einem bzw. in zwei Arbeitsgängen.....	30
Tabelle 17:	Maschineneinstellungen und Ergebnisse bei der Stoppelbearbeitung mit unterschiedlichen Maschinen in Versuchen mit Blockanlage bei vier Wiederholungen	37
Tabelle 18:	Mulchbedeckung und Zugleistungsbedarf für verschiedene Geräte-Arbeitstiefen-Kombinationen bei der Stoppelbearbeitung auf sandigem Boden bei einheitlicher Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/h, bei 15 cm hohen Stoppeln und 82 % Bodenbedeckung vor der Bearbeitung; Bodenfeuchte 10 %, Porenvolumen 44 %	40
Tabelle 19:	Tiefenverteilung der Anteile des Strohs im Bodenprofil des sandigen Bodens, LSD-Test mit Bonferroni-Korrektur, $\alpha = 0,05$	40
Tabelle 20:	Zugleistungsbedarf für verschiedene Geräte-Arbeitstiefen-Kombinationen bei der Stoppelbearbeitung auf einem Lössboden bei einheitlicher Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/h (Stoppellänge 14 cm, Bodenbedeckung vor Bearbeitung 57 %, Bodenfeuchte 25 %, Porenvolumen 48 %)	42
Tabelle 21:	Rautiefe in cm von Oberfläche und Sohle nach dem Durchgang von verschiedenen Maschinen zur Stoppelbearbeitung.....	43
Tabelle 22:	Bodenfeuchte und Porenvolumen in den Versuchen zur Stoppelbearbeitung von 2008 bis 2011	48
Tabelle 23:	Ergebnisse des t-Tests zur Abweichung vom Wert 30 % beim Mulchbedeckungsgrad nach der Stoppelbearbeitung (getrennt nach den Ergebnissen auf Lössböden und sandigen Böden, bei Mittelwerten von 28 % bzw. 22 %)	48

1 Einführung

Mulchauflage erhalten und damit Erosion mindern

Wasser- und Winderosion zu verhindern, hat in allen Landesteilen Sachsens eine große Bedeutung. Von der Mittelgebirgskette im Süden über das Lösshügelland in der Mitte bis zur Altmoränenlandschaft im Norden bedingen zum Beispiel Hangneigung, Windgeschwindigkeit, Niederschlag, Bodenart und Humusgehalt gemeinsam mit der Art der Landnutzung die Intensität des Bodenabtrages. Vor allem im Lösshügelland besitzen die schluffreichen, stärker geneigten Ackerböden eine hohe Wassererosionsgefährdung. Im Norden von Sachsen herrschen sandige Böden in einer Altmoränenlandschaft vor. Die Wassererosionsgefährdung ist dort aufgrund des Reliefs nur gering. Dafür bietet diese Landschaft der Winderosion einen erhöhten Ansatz.

Die Landwirte in Sachsen haben auf die Problemlage reagiert und weitreichend die konventionelle Bodenbearbeitung mit dem Pflug zu pfluglosen Verfahren umgestellt. 2012 wurden ca. 60 % der sächsischen Ackerfläche pfluglos bewirtschaftet, davon ca. 35 % dauerhaft (gefördert als Agrarumweltmaßnahme).

Der Verzicht auf den Pflug heißt jedoch nicht, dass per se ein ausreichender Erosionsschutz erreicht wird. Ein intensiver Einsatz von Grubbern und Scheibeneggen kann den Erosionsschutz auch auf ungenügende Werte reduzieren. Vor allem eine möglichst dichte Mulchauflage muss durch die konservierende Bodenbearbeitung erhalten bleiben. Dabei ist es für den Landwirt entscheidend zu wissen, welche Maschinen mit welchen Einstellungen für die Bodenbearbeitung zu wählen sind. Handlungshinweise dazu gibt die folgende Auswertung von Versuchen auf Ackerflächen in Sachsen.

In einer Serie von Feldversuchen in landwirtschaftlichen Unternehmen in Sachsen wurden zunächst erste Tests mit dem Einsatz von verschiedenen Scharen an einem Schwergrubber im Jahr 2008 unternommen, um deren Unterschiede hinsichtlich ihres Arbeitsbildes zu erfassen. Aufbauend auf diesen Erfahrungen wurden die Versuche auf verschiedene Standorte ausgeweitet und mit weiteren, heute verbreiteten Bodenbearbeitungsgeräten ergänzt. Neben den Maschinen und Werkzeugen zur Bodenbearbeitung wurden die Wirkung der Maschineneinstellungen, der Geschwindigkeit und der Anzahl der Arbeitsgänge untersucht. Versuchszeitpunkt waren immer Stoppelfelder nach der Getreideernte vor der ersten Bodenbearbeitung. Insgesamt wurden in vier Jahren zwölf Versuche mit zusammen 51 Versuchsvarianten bei jeweils vier Wiederholungen ausgeführt.

Aufgrund der allgemein hohen Erosionsdisposition der Lössdecken wurden zum einen Ackerstandorte auf Löss als Ausgangsmaterial der Bodenbildung mit hohem Schluffanteil ausgewählt. Zum anderen kamen leichtere sandige Böden diluvialen und aluvialen Ursprungs (D- bzw. Al-Standorte) wegen der potenziellen Winderosionsgefährdung und der von den Lössböden abweichenden Körnung und Wasserführung in die Versuche (Tabelle 1). Sowohl die Löss- als auch die sandigen Böden lassen das Graben mit dem Spaten zu, sodass Bodenquerschnitte mit vertretbarem Aufwand angelegt und analysiert werden können. Eine Arbeit, die auf den Verwitterungsböden der Mittelgebirge (V-Standort) jedoch nur unter großen Aufwendungen zu erledigen ist.

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie konzipierte und führte die Feldversuche gemeinsam mit der Technischen Universität Dresden, Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik, dem Bioland e. V. Beratung Ost und Schülern der landwirtschaftlichen Fachschulen in Döbeln und Freiberg-Zug durch. Landwirtschaftliche Unternehmen stellten die Stoppelfelder und Maschinen für die Untersuchungen zur Verfügung.

Tabelle 1: Standorte und Versuchsschwerpunkte in den Jahren 2008 bis 2011 zur Stoppelbearbeitung in Bezug auf den Erosionsschutz

Jahr	Region, Bodensubstrat	Versuchsschwerpunkte
2008	Döbeln, schluffiger Boden aus Löss	Schartypen am Schwergrubber auf Löss
2009	Döbeln, Werdau, jeweils Löss; Gröditz, sandiger Boden	Schartypen auf verschiedenen Standorten; Maschinentypen
2010	Ostrau, Löss Gröditz, sandiger Boden	Gänsefußschare am Grubber; Arbeitstiefe; Stoppellängen; Arbeitsgeschwindigkeit; Maschinentypen
2011	Döbeln, Löss Gröditz, sandiger Boden	Einstellung einer Scheibenegge; erster und zweiter Arbeitsgang in der Stoppel

2 Material und Methoden

In diesem Kapitel werden die Methoden beschrieben, die für die gesamte Versuchsserie gelten. Dazu gehören vor allem die verwendeten Mess- und Analysemethoden sowie die Struktur der Versuchsanlagen. Spezielle methodische Aspekte der einzelnen Versuche werden jeweils vor den Versuchsergebnissen vorgestellt.

In den einzelnen Versuchen kamen unterschiedliche Maschinen und Werkzeuge bei der Bodenbearbeitung zum Einsatz. Dabei wurde als Standard ein Grubber mit Flügelscharen, ohne Nachläufer, mit drei Meter Arbeitsbreite als Vergleichsvariante in allen Versuchen mitgeführt. Eine präzise Reproduktion einer speziellen Einstellung, zum Beispiel die Arbeitstiefe der Maschine, gelang jedoch nur annähernd. Deutlich wurde dies an den Werten der tatsächlich erreichten Arbeitstiefen, die nach den Arbeitsgängen in den Versuchspartellen jeweils gemessen wurden. Im Weiteren werden die Begriffe Maschine und Gerät bezogen auf die Bodenbearbeitungstechnik synonym genutzt.

Die Auswahl der Bodenstandorte für die Versuchsserie erfolgte gezielt unter der Vorgabe, zwei unterschiedliche Standorttypen zu charakterisieren. In die Auswahl kamen schluffreiche Böden aus Löss im mittleren Sachsen sowie sandige Flächen aus der nördlichen Landesregion. Die Böden der Mittelgebirge wurden ausgeschlossen, weil dort die hohen Steingehalte die Datenerfassung erschweren. Die Arbeitsschwerpunkte lagen in der Lösslandschaft bei Döbeln sowie in der Altmoränen- und Auenlandschaft mit sandigen Böden der Region bei Gröditz im Einzugsgebiet der Kleinen und Großen Röder. Ein Versuch wurde auf Löss nahe Werdau in Westsachsen ausgeführt. Die Auswahl der Standorte erfolgte nicht als zufällige Stichprobe aus der gesamten Grundgesamtheit der Flächen. Vielmehr wurde auf Äckern von Betrieben gearbeitet, die als Kooperationspartner des LfULG schon in der Vergangenheit bekannt waren.

Der physikalische Zustand der Versuchsböden wurde mittels Spatenanalysen beurteilt, um strukturgeschädigte Flächen von den Versuchen auszuschließen. Weitere Hinweise zur Bodenqualität lieferten Labordaten zur Trockenrohdichte und die davon abgeleiteten Größen. Es wurden durchweg gute Bodenzustände ohne

wahrnehmbar eingeschränkte Funktionalität vorgefunden. In den vorgesehenen Bearbeitungshorizonten überwogen die Aggregatformen Krümel und Polyeder.

Versuchsanlagen

Alle Versuche wurden entweder in randomisierten vollständigen Blockanlagen oder in Spaltanlagen mit vier Wiederholungen bei einheitlicher Fahrtrichtung in jedem Block angelegt. Die Parzellenbreite entsprach jeweils der Arbeitsbreite der verwendeten Maschinen. Die Parzellenlängen betragen etwa 100 Meter. Sichtbare Fahrspuren wurden aus den Versuchsanlagen ausgeschlossen. Ebenso wurden visuell erkennbare inhomogene Bodenbereiche von der Datenerhebung ausgegrenzt. Die einzelnen Versuche waren ein bis zwei Hektar groß.

Arbeitsgeschwindigkeit

Über Radarsensortechnik wurde die Arbeitsgeschwindigkeit (Geschwindigkeit ohne Schlupf) mit Messwiederholungen je 0,01 s und einem Fehler von weniger als zwei Prozent erfasst. Nur im Jahr 2009 musste bei einer Variante (Scheibenegge) am Lössstandort aus technischen Gründen auf den Tachometer des betriebseigenen Traktors mit digitaler Anzeige ausgewichen werden. Der Radschlupf und die Messgenauigkeit sind in diesem Fall unbekannt.

Die Begrenzung der Arbeitsgeschwindigkeit auf maximal 8 km/h beim Einsatz des Standardgrubbers wurde nach den Ergebnissen von Testfahrten festgelegt. Bei höheren Geschwindigkeiten traf die Flugbahn der Boden- und Mulchpartikel auf den Grubberrahmen und wurde dadurch unkalkulierbar beeinflusst.

Zugleistungsbedarf

Die Horizontal- und Vertikalkräfte wurden an jedem Koppelpunkt eines Dreiecks zu den Bodenbearbeitungsgeräten gemessen (Abbildung 1). 10 t-Wägezellen bildeten die Sensoren für die auftretenden Kräfte. Zwei der Sensoren waren jeweils parallel geschaltet und links und rechts neben den Kugeln der Koppelpunkte inseriert. Die Wägezellen entsprachen einzeln der niedrigen Genauigkeitsklasse D1. Aufgrund der Kombination und speziellen Einbaulage der Sensoren konnte der Messfehler des gesamten Systems nur geschätzt werden. Er wurde auf etwa 0,25 Prozent taxiert.



Abbildung 1: Zugkraftmesseinrichtung in Dreipunktkopplung zwischen Traktor und Anbaugerät

Arbeitstiefe der Bodenbearbeitungsgeräte

Die Arbeitstiefe der Bodenbearbeitungsgeräte wurde als Höhendifferenz zum unbearbeiteten Boden über ein Richtscheit, das auf dem festen Boden am Parzellenrand aufgelegt wurde, bestimmt. Das Abtasten der horizontalen Profile im Abstand von 5 cm erfolgte mit einem handelsüblichen Meterstab.

Rauheit von Oberflächen und Bearbeitungssohlen

Die Rauheit von Oberflächen und Bearbeitungssohlen wurde als Rautiefe (R_z) über fünf Teilarbeitsbreiten von 48 cm Länge arithmetisch aus den jeweiligen Spannweiten zwischen größten Höhen und tiefsten Tälern gemittelt. Die Berechnung entspricht einem üblichen Verfahren im Maschinenbau zur Beurteilung von Materialoberflächen. Das Maß korreliert sehr eng (R^2 etwa $> 0,9$) mit der Standardabweichung, es bewertet jedoch die maximalen Abweichungen. Randeffekte wurden bei allen Geräten ausgeschlossen, indem nur Daten aus dem Mittelstück der Arbeitsbreite von 240 cm ausgewertet wurden.

Kennwerte des Bodens

Die Messungen des Bodenwassergehaltes und des Porenvolumens auf Basis der Trockenrohddichte erfolgten ebenfalls gravimetrisch. Dazu wurden Stechzylinder mit 100 cm³ Volumen aus der Bodenschicht 5-10 cm unter Geländeoberkante entnommen (siehe Tabelle 22 im Anhang).

Strohbedeckung, Stroheinarbeitung und Strohlänge

Mit der „Transekthemethode“ nach WINNIGE et al. (1998) fand die Bestimmung der Bedeckungsgrade der Bodenoberfläche mit organischer Substanz zweifach in jeder Parzelle statt. Die Festlegung des Transekts erfolgte dazu mit einer Leine von 15 m Länge, die mit 100 Farbpunkten im Abstand von 15 cm gleichmäßig markiert war. Eine Auseinandersetzung mit dieser Methode hinsichtlich ihrer Qualität erfolgt im Kapitel 0.

Neben der Transekthemethode wurden auch visuelle Schätzungen der Bodenbedeckung mit Hilfe des Göttinger Schätzrahmens ausgeführt, insbesondere wenn Mulchmaterialien anteilig bestimmt werden mussten. Diese Daten wurden als nicht normalverteilt statistisch weiter behandelt (Abbildung 2).

Der Anteil eingearbeiteten Stroh wurde visuell an einer senkrechten Profilwand mit aufgelegtem Raster (Drahtgitter) von 5 cm auf 5 cm visuell über eine Breite von 50 cm und bis zur Bearbeitungssohle geschätzt. Die Profilwand wurde mit einem scharf geschliffenen Spaten geschnitten, der schlagartig mehrfach in den rückverdichteten Boden eingestoßen wurde. Die Stoppellängen wurden fünffach je Parzelle gemessen. Alle visuell zu beurteilenden Parameter wurden fotografiert und bei Plausibilitätsprüfungen mit den jeweiligen Daten verglichen.

Statistische Auswertung

Die Software SPSS Version 14.0 für Windows bildete die Grundlage für die statistische Auswertung. Die Beurteilung der Unterschiede der Bodenbearbeitungsparameter erfolgte über Varianzanalysen und nachfolgend per Tukey-Test ($\alpha = 0,05$), insofern die Voraussetzungen dafür gegeben waren. Für die Werte der Strohbedeckung auf der Bodenoberfläche und in der Profilwand konnte Normalverteilung und Varianzhomogenität angenommen werden. Das ließ sich durch die entsprechenden Tests (Kolmogorov-Smirnov-Test, Shapiro-Wilk-Test, Levene-Test) auf der Ebene der einzelnen Versuche und der vorgesehenen Vergleiche absichern (Tabelle 2).

Tabelle 2: Ergebnisse der Versuchsdatenprüfung auf Normalverteilung und Varianzhomogenität.

Versuchsjahr	Nummer des Versuchs	Anzahl der Varianten	Anzahl der Varianten mit Normalverteilung angenommen; $\alpha = 0,05$ (Shapiro-Wilk-Test)	Ergebnis des Levene-Tests, p; Werte in Klammer nach Transformation $\ln x$ $\alpha = 0,05$
2011	1	6	5	0,411
	2	3	3	0,258
	3	6	6	0,908
	4	3	3	0,125
2010	1	4	3	0,033 (0,195)
	2	6	5	0,193
	3	6	6	0,282
	4	4	4	0,589
2009	1	3	3	0,953
	2	3	3	0,001 (0,122)
	3	3	3	0,133
2008	1	3	3	0,290

3 Die Transektmethode zur Bestimmung der Bodenbedeckung

Mulchauflagen im Feld lassen sich in ihrer Ausprägung als Anteil bedeckter Boden nicht sicher in ihrer absoluten Höhe direkt messen. Allerdings können verschiedene Methoden angewandt und untereinander abgeglichen werden. Anhand von Ergebnissen aus kontrollierbaren Labortests kann dabei auf die Genauigkeit der Methode im Feldeinsatz geschlossen werden. PFORTE (2010) konnte im Labor mit einer von ihm entwickelten fotogrammetrischen Bestimmungsmethode die Bedeckungsgrade von einfachen, relativ großen und streng rechteckigen Flächen mit geraden Kanten auf einer ebenen Fläche im Vergleich mit der Meterstabmethode und der Gitterrastermethode am genauesten bestimmen. Die Bedeckungsgrade betragen in diesem Test aber nie mehr als 40 %. In diesem Bestimmungsbereich wurden allgemein nur unwesentliche systematische Unter- oder Überschätzungen der tatsächlichen Werte bei den beiden visuellen Verfahren wie auch beim fotometrischen Prinzip ersichtlich. Die Qualitätsunterschiede zwischen der kamerabasierten Methode und den visuellen Einschätzungen der Bedeckungsgrade betrafen hauptsächlich die Größe der Streuung um den Mittelwert.

Sowohl die Gitterraster- und Meterstabmethode als auch die Transektmethode nach WINNIGE (1998) sind Rasterverfahren. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen nur in der Rasterstruktur. In verschiedenen Vergleichen von PFORTE (2010) in Feldversuchen wies die Gitterrastermethode im Feld hochsignifikante Korrelationsmaße mit der Fotogrammetrie zwischen 0,623 und 0,827 über den gesamten Bestimmungsbereich zwischen 0 % und 100 % Bedeckungsgrad auf. Die Gitterrastermethode führte jedoch erst oberhalb von Bedeckungsgraden von 40 % systematisch zu deutlich höheren Werten als die kamerabasierte Mulcherfassung. Für den Bestimmungsbereich

unter 40 % im Feld kann demnach von einer besonders hohen Übereinstimmung von den visuell ausgeführten Rasterverfahren und der Kamerabildauswertung ausgegangen werden.

In den Versuchen wurde die Transektmethode in der Abwandlung mit Farbmarkierungen auf einer weißen Leine angewandt. Wobei 100 Markierungen auf einer 15 m langen Leine in Bezug auf eine Überschneidung mit Mulchmaterial zu beobachten waren. Je Versuchsparzelle wurden zwei Wiederholungen an verschiedenen Stellen ausgeführt. Somit wurde ein Mittelwert über einen relativ großen Parzellenbereich ermittelt, was mit Verfahren wie der Gitterraster- bzw. der Meterstabmethode wegen des hohen Zeitaufwandes für die Datenerfassung schwerer zu realisieren ist.

Für die Bedeckungsgrade nach der Ernte und vor der ersten Bodenbearbeitung gilt als Faustzahl, dass ab 40 dt/ha Ernterückständen von Getreide- oder Leguminosen bereits eine Bodenbedeckung im Bereich von 90 % erreicht wird (Abbildung 2).



Abbildung 2: Stroh-Mulchauflage nach der Getreideernte mit einem Bedeckungsgrad von 90 % (am Foto geschätzt)

Mit zunehmender Strohmenge nähert sie sich asymptotisch an 100 % an (PAPENDICK & MCCOOL 1994). Damit kann in der Regel für den konventionellen Landbau, insofern keine Strohernte erfolgt, zunächst von sehr hohen Bedeckungsgraden ausgegangen werden. Diese hohen Bedeckungsgrade auf den ertragsstarken Lössböden wurden mit der Transektmethode auch plausibel dokumentiert. Besonderheiten, wie unerwartet geringe Ertragsbildung oder eine Strohernte, spiegelten sich in den Datenaufnahmen wider, so zum Beispiel die grundsätzlichen Ertragsunterschiede für Getreide zwischen den Löss- und Sandstandorten (Abbildung 3).

Die Datenqualität aus der Transektmethode charakterisierte sich durch das Vorliegen von Normalverteilungen (Shapiro-Wilk-Test, $\alpha=0,05$) und von homogenen Varianzen (Levene-Test, $\alpha = 0,05$) in den Varianten nach der Stoppelbearbeitung. Einzelne Abweichungen von der Homogenität der Varianzen ließen sich mit der Transformation $y = \ln(x)$ erfolgreich korrigieren (Tabelle 2). Insofern kamen parametrische statistische Tests zur Anwendung.

4 Ergebnisse der Feldversuche bei Beurteilung der gesamten Versuchsergebnisse

4.1 Bodenbedeckung vor und nach der Stoppelbearbeitung ohne Strohbergung

In den Ausgangssituationen aller zwölf Versuche, d. h. vor der ersten Bodenbearbeitung nach der Getreideernte, wurden durchweg Bodenbedeckungsgrade zwischen 50 und 100 % vorgefunden (Abbildung 3). Damit war der Bodenschutz allgemein ausreichend gegeben, wenn eine Bedeckung mit Mulch von 30 bis 50 % je nach Erosionsgefährdungsgrad als erforderlich angesehen wird (BRUNOTTE 2007).

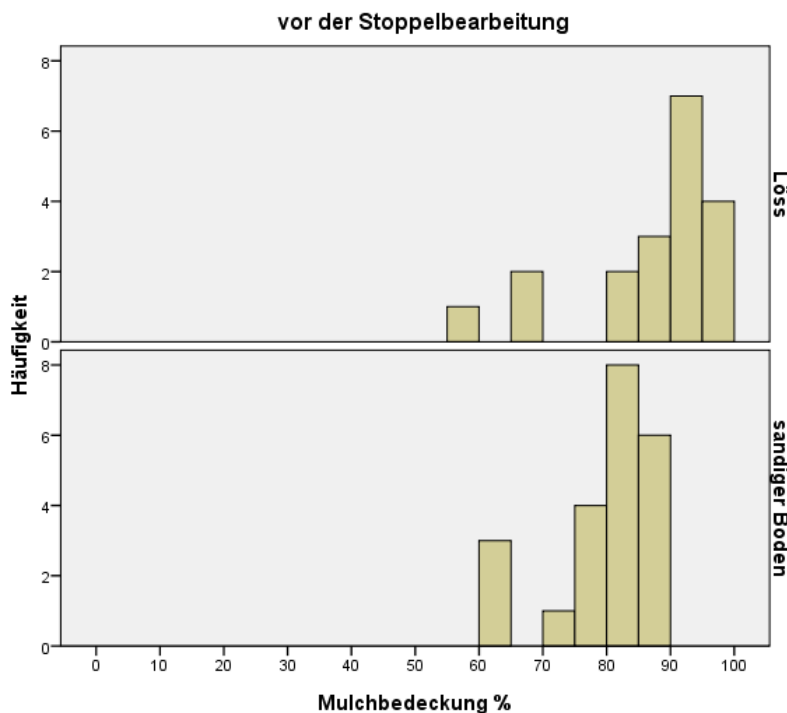


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Bodenbedeckung mit Mulchmaterial nach Winterweizen ohne Strohernte auf Lössböden und sandigen Böden in Sachsen vor einer Stoppelbearbeitung (Datengrundlage: 41 Varianten von 12 Versuchen 2008 bis 2011)

Löss und sandiger Boden unterschieden sich signifikant in Bezug auf die Häufung von Werten der Bodenbedeckung vor der Bearbeitung. Zwischen Löss mit 90-95 % bzw. sandigen Böden mit 80-85 % lag eine Differenz von zehn Prozentpunkten. Niedrige Bedeckungsgrade zwischen 60 und 70 % traten nur bei untypisch schwach entwickelten Getreidebeständen auf, die beispielsweise auf Fehler in der Bestellung und im Pflanzenschutz oder auf Auswinterung zurückgeführt werden konnten.

Neben Strohstoppeln und gehäckseltem Stroh wurden auch Weizenaufwuchs oder Wildpflanzen als Bodenbedecker auf den abgeernteten Äckern beobachtet. Der Grünaufwuchs lieferte in den visuellen Anteilsschätzungen mit Hilfe des Göttinger Schätzrahmens niedrige Bedeckungsgrade von 1 bis 14 % vor der Bearbeitung. Tabelle 3 gibt die visuelle Schätzung der Bodenbedeckung mit Unkraut in den Versuchen von 2010 und 2011 an. Unabhängig vom Besatz vor Versuchsbeginn wurde das Unkraut durch die Stoppelbearbeitung auf geringfügige Reste reduziert, wobei der Schwankungsbereich maximal neun Prozentpunkte betrug. Dieser Restbesatz war zu gering und dazu unregelmäßig verteilt, um in der weiteren Auswertung berücksichtigt werden zu können.

Tabelle 3: Bodenbedeckungsgrade durch Unkraut in Prozent; visuelle Schätzung mit dem Göttinger Schätzrahmen in den Parzellen von acht Versuchsanlagen vor und nach der ersten Stoppelbearbeitung in den Jahren 2010 und 2011

Jahr	Substrattyp	Parzellenanzahl	Zeitpunkt der Schätzung			
			vor 1. Arbeitsgang		nach 1. Arbeitsgang	
			Median	Spanne	Median	Spanne
2010	Sandig	16	5	19	1	3
	Sandig	24	2	23	2	9
	Löss	24	1	5	1	4
	Löss	16	2	4	0	2
2011	Sandig	24	14	55	2	3
	Sandig	12	9	23	3	7
	Löss	24	1	7	0	2
	Löss	12	1	3	0	4

Nach der Stoppelbearbeitung waren die Mulchauflagen auf allen Standorten drastisch reduziert. Das Punktediagramm in Abbildung 4 zeigt die Werteverteilung der Mulchauflage aller Versuchsvarianten in Abhängigkeit von der Ausgangssituation. Insgesamt wurde die 30 %-Linie der Bodenbedeckung mit Mulch in 41 von 51 Fällen nach der Bodenbearbeitung unterschritten. Die aus den Messwerten resultierende lineare Anpassungslinie mit

$$\text{Gleichung (1): } y = 0,293x + 0,562 \text{ (R}^2=0,251\text{)}$$

erreicht erst bei $x = 100\%$ Bedeckung vor der Stoppelbearbeitung den y -Wert 30 % Bodenbedeckung nach der Stoppelbearbeitung. Das heißt, dass nur bei besten Ausgangsbedingungen, wie sie vor allem bei hohen Weizenerträgen angetroffen werden, von einem ausreichenden Erosionsschutz nach einer ersten

Stoppelbearbeitung ausgegangen werden kann. Verminderte Mulchauflagen nach der Ernte, durch Strohernte oder generell durch schwach entwickelte Getreidebestände, lassen den Grad des Bodenschutzes weiter in kritische Bereiche abfallen.

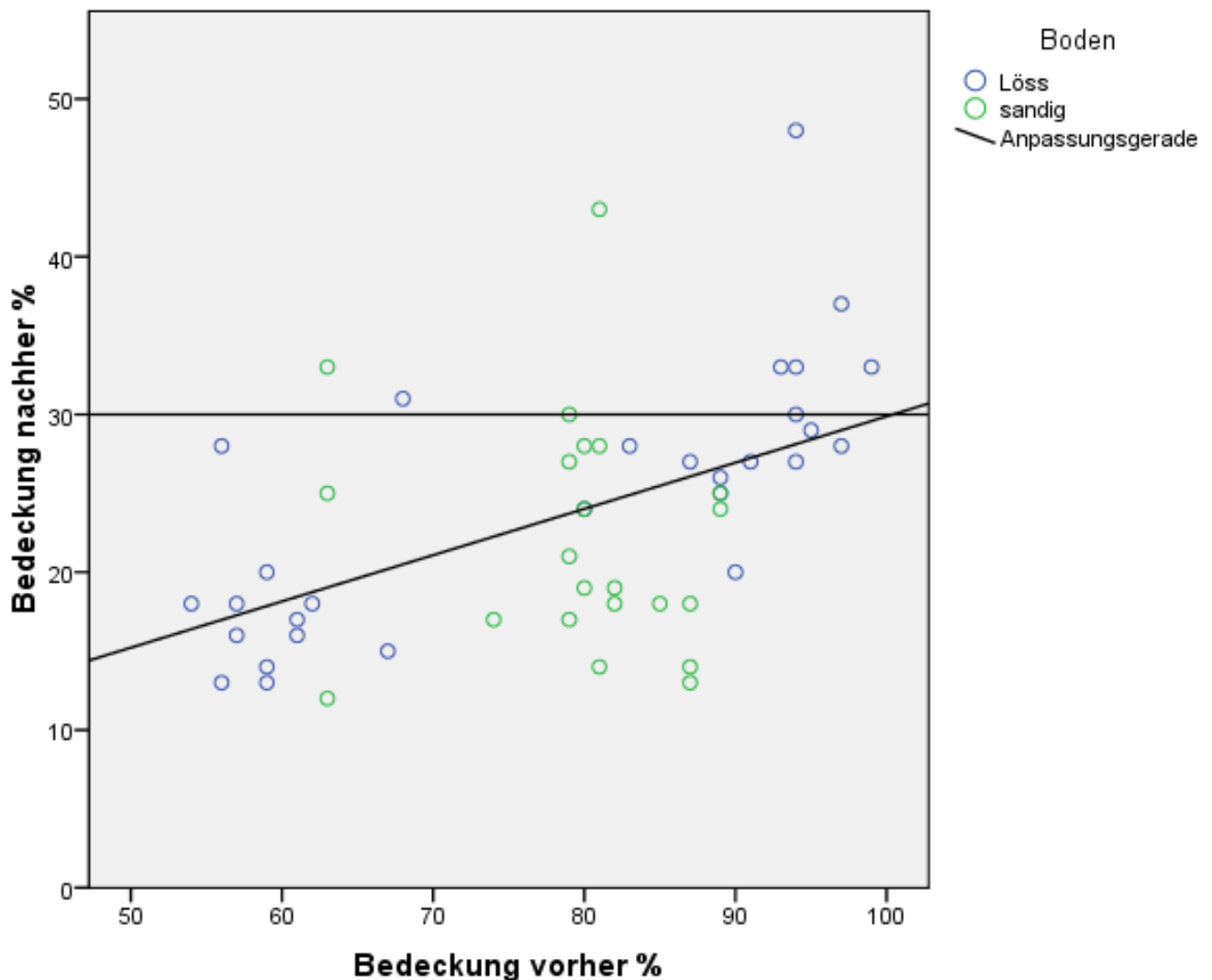


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Bodenbedeckung von Versuchsfeldern auf schluffigen Lössböden und sandigen Böden vor und direkt nach der Stoppelbearbeitung. Ausgleichsgerade, ansteigende Linie, $y = 0,293x + 0,562$; $R^2 = 0,251$ (die waagerechte Linie entspricht dem Mindestwert für einen wirksamen Erosionsschutz) $n = 51$

Bezogen auf die einzelnen Versuche konnten bei 14 von 41 Varianten ohne Strohernte die Unterschreitungen des Mindestwertes von 30 % Bedeckungsgrad statistisch gesichert werden. Elf Unterschreitungen kamen auf den sandigen Böden und drei Unterschreitungen auf den Lössböden vor (Tabelle 4).

Tabelle 4: Anzahl und Signifikanz der Unterschiede bei der Bodenbedeckung nach der Stoppelbearbeitung hinsichtlich des 30 %-Wertes auf Basis des t-Tests ($\alpha = 5\%$); Datenbasis 41 Versuchsvarianten ohne Strohbergung

Abweichung vom Testwert 30,0		Lössboden	Sandiger Boden
Anzahl Ergebnisse			
nicht signifikant	= 30	14	11
signifikant	< 30	3	11
signifikant	> 30	2	0

Das arithmetische Mittel aller Versuchsvarianten erreichte 28 % Bodenbedeckung auf Löss und 22 % auf den sandigen Böden. Nur der Mittelwert der Versuchsvarianten auf dem sandigen Boden wich signifikant vom Mindestwert von 30 % ab (siehe Tabelle 23 im Anhang).

Die Bodenbedeckungen von Löss und vom sandigen Boden differenzierten sich im bearbeiteten Zustand mit sechs Prozentpunkten im Mittel der Versuche mit 95 %-iger Wahrscheinlichkeit.

Der Grad der Bodenbedeckung vor und nach einer Bodenbearbeitung beinhaltet wesentliche Veränderungen im Hinblick auf den Schutz des Bodens vor Wasser- oder Winderosion. Hierbei ist ein Bodenbedeckungsgrad mit Mulchmaterial ohne das Blätterdach lebender Pflanzen von 30 % der Wert, welcher den Bodenabtrag etwa um 50 % (entspricht dem Bodenverlustfaktor 0,5) gegenüber einem völlig unbedeckten Boden reduziert (USDA 1978). Deswegen sollte mindestens 30 % Bodenbedeckung aus Gründen des Erosionsschutzes durchgängig erhalten bleiben. Die hier dargestellten Versuchsergebnisse zeigen, dass kurz nach einem Stoppelsturz mit diversen Maschinen kein Bodenverlustfaktor weit unterhalb von 0,5 hinsichtlich der Erosion gewährleistet werden konnte, selbst wenn das gesamte Stroh auf dem Feld blieb. Im weiteren Zeitverlauf muss dazu mit einem mikrobiellen Strohabbau und damit mit einem noch ansteigenden Bodenverlustfaktor gerechnet werden, wenn keine zusätzlichen Erosionsschutzmaßnahmen getroffen werden.

Die Anteile der eingesetzten Maschinentypen in den Versuchen lagen bezogen auf die Zahl der Varianten von 54 % bei den Grubbern und 44 % bei den Scheibeneggen. Nur in einer Variante (2 %) arbeitete auf beiden Bodenstandorten eine Kreiselegge als einzige aktiv angetriebene Technik. Grubber und Scheibeneggen werden erfahrungsgemäß in Sachsen häufig eingesetzt.

4.2 Bodenbedeckung mit Strohbergung und nach erster Stoppelbearbeitung

Im Jahr 2010 wurden zwei Versuche auf Löss nach einer Strohernte ausgeführt. Es wurden dafür sechs verschiedene Arbeitstiefen-Geschwindigkeits-Kombinationen mit dem Flügelschargrubber bzw. vier verschiedene Geräte zur Stoppelbearbeitung getestet. Die Stoppellänge war mit 16 cm im Vergleich zu den anderen Versuchen eher kurz, sodass der Boden zu Beginn des Versuchs auf dem Lössstandort relativ schwach bedeckt war (Tabelle 5). In der Rangfolge aller zwölf Versuchseinheiten (mit und ohne Strohernte) belegte die Bodenbedeckung auf Löss nach der Ernte und Abfuhr des Strohs mit 59 % den letzten Rang (Tabelle 6).

Tabelle 5: Mulchauflagen in % Bedeckungsgrad im Versuchsjahr 2010 auf Löss nach Strohbergung und nach der Stoppelbearbeitung mit verschiedenen Geräten; (MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; V = Geschwindigkeit; D =Arbeitstiefe)

Maschine	Mulch % vorher		Einsatzparameter		Mulch % nachher	
	MW	SD	V [km/h]	D [cm]	MW	SD
Grubber, Flügelschar	60	6,24	8	12	16	3,10
Grubber, Gänsefußschar	54	6,69	8	10	18	2,50
Kreiselegge	56	5,11	4	4	28	4,03
Schwere Scheibenegge	57	8,02	10	5	18	2,39

Der Stoppelsturz führte nur mit einer Kreiselegge bei einer besonders flachen Arbeitstiefe von 4 cm mit 28 % zum Erhalt einer Mulchauflage, die noch einen Bodenverlustfaktor im Bereich von 0,5 erwarten ließ. Die Arbeiten des Grubbers mit Gänsefuß- oder Flügelscharen und die der schweren Scheibenegge hinterließen dagegen maximal 18 % Mulchbedeckung, was einem Bodenverlustfaktor von etwa 0,6 entspricht.

Tabelle 6: Bodenbedeckung in % bei 51 Versuchsvarianten vor und nach der Stoppelbearbeitung auf zwei Bodenstandorten in Sachsen von 2008-2011 mit und ohne Ernte des Strohs

Stroh	Zeitpunkt	Löss			Sandiger Boden		
		MW	SD	n	MW	SD	n
Vorhanden	Vorher	87	11,69	19	80	7,71	22
	Nachher	28	7,67	19	22	7,48	22
Geerntet	Vorher	59	2,51	10	.	.	0
	Nachher	18	4,13	10	.	.	0

Auf den Lössböden ist demnach im Falle der Stoppelbearbeitung bei Aberntung des Strohs zu erwarten, dass der Erosionsschutz besonders stark abfällt. Aus Gründen des Bodenschutzes ist daher auf eine Bodenbearbeitung bis zur neuen Aussaat zu verzichten oder eine Gründüngung am besten gleichzeitig mit der Stoppelbearbeitung auszubringen. Noch vorteilhafter wäre eine Direktsaat der Gründüngung, um die Risiken des Bodenabtrages möglichst gering zu halten.

Trotz einer geringen Stroheinarbeitungsrate der flach geführten Kreiselegge empfiehlt sie sich nicht als Alternative in der Stoppelbearbeitung, weil sie leicht Bodenverschlammung nach sich ziehen kann und eine hohe Arbeitsleistung braucht.

4.3 Arbeitstiefe und Mulchabbau

Die Relevanz der Arbeitstiefe im Zusammenhang mit dem Mulchabbau wurde an allen 51 Versuchsvarianten mittels Regressionsrechnungen in verschiedenen Gruppierungen geprüft.

Die Regressionsgerade für die Lössstandorte bestätigt einen signifikanten linearen Zusammenhang von Arbeitstiefe und verbleibender Mulchbedeckung bei einer geringen Güte der Anpassung ($R^2 = 0,276$) in der Form (angenähert)

$$\text{Gleichung (2): } y = -1x + 36$$

Mit dem Faktor -1 ist die Geradensteigung gering, denn bei einer Zunahme der Arbeitstiefe um 1 cm wird der Mehrabbau von 1 % Mulchmaterial errechnet. Gemäß dieser Gleichung kann eine Mulchbedeckung über 30 % kaum überschritten werden, weil die Konstante der in der Gleichung von +36 nur eine Arbeitstiefe von 6 cm erlaubt.

Die Experimente auf sandigen Böden lieferten dagegen keinen signifikanten linearen Zusammenhang von Arbeitstiefe und Bodenbedeckung.

Grubber- und Scheibeneggenvarianten getrennt berechnet, ohne weitere Untergruppierung nach Bodensubstrattyp, ergaben lediglich nicht signifikante lineare Beziehungen, die einander ähnlich waren. Es gab keinen Hinweis darauf, dass Scheibeneggen grundsätzlich anders als Grubber bei Tiefenverstellung den Mulchabbau herbeiführen (Tabelle 7). Eine weitere Gruppierung nach Maschinentypen und Böden brachte auch aufgrund der kleinen Datenmengen keine weiteren Auswertungsmöglichkeiten.

Die Unterschiede im Abbau der Bodenbedeckung auf Lössböden und sandigem Boden können in der Bindigkeit des Bodenmaterials begründet sein. Videoaufzeichnungen der Versuchsfahrten zeigten auf Sand eher ein Vorbeifließen des Bodens an den Scharen, während es auf Lössböden mehr zu einer „spanbildenden“ Arbeitsweise der Bodenbearbeitungswerkzeuge mit erhöhtem Mischeffekt kam. Demnach sollte die gesamte Stoppelbearbeitung insbesondere auf Lössböden möglichst flach, im Bereich von 5 cm Tiefe erfolgen. Damit wäre auch die Einhaltung der 30 % Bodenbedeckung nach Gleichung (2) möglich. Entsprechende Konzepte der Mechanisierung wären darauf abzustimmen und anzupassen, z. B. durch eine Tiefenführung etwa über Parallelogramme vor jedem Werkzeug eines Grubbers. Sonst besteht die Gefahr, dass der Boden nicht durchgehend gelockert wird, z. B. im Bereich von tief liegenden Fahrspuren.

Tabelle 7: Statistische Parameter linearer Regressionen der Bodenbedeckung in Abhängigkeit von der Tiefe der Stoppelbearbeitung auf unterschiedlichen Standorten und Maschinenteknik
(R^2 = Bestimmtheitsmaß, B = Faktor der Geradengleichung)

Gruppierung	Anzahl	R^2	Signifikanz	Konstante	B
Löss	29	0,276	0,003	35,838	-1,026
Sandiger Boden	22	0,025	0,485	25,158	-0,266
Grubber	30	0,124	0,056	31,023	-0,676
Scheibenegge	19	0,102	0,182	31,398	-0,728

4.4 Grubber, Scheibeneggen und Kreiselegge im Vergleich

Anhand der Versuchsergebnisse lässt sich kein signifikanter Unterschied im Mulchabbau zwischen den Maschinengrundtypen bei praxisüblich ausgeführten Arbeitseinstellungen (Tabelle 8 und Abbildung 5) finden. Es besteht allgemein die Gefahr, durch eine Bodenlockerung nach der Getreideernte einen ausreichenden Bodenschutz zu verlieren. Unabhängig davon, ob mit Grubber, Scheibenegge oder Kreiselegge gearbeitet wird, muss vorwiegend mit Bodenbedeckungsgraden von unter 30 % gerechnet werden. Sandigere und schluffreiche Böden verhalten sich in diesem Punkt ähnlich. Die Mediane der Mulchbedeckungen der Maschinentypen überspannten nur den engen Bereich zwischen 19 und 27 %.

Tabelle 8: Bereich der Einstellung von Arbeitstiefe und Arbeitsgeschwindigkeit der in den Versuchen eingesetzten Maschinen

	Anzahl	Tiefe [cm]		V [km/h]	
		Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Grubber	30	20	8	10,0	4,0
Scheibenegge	19	15	5	12,2	8,0
Kreiselegge	2	10	9	7,8	7,6

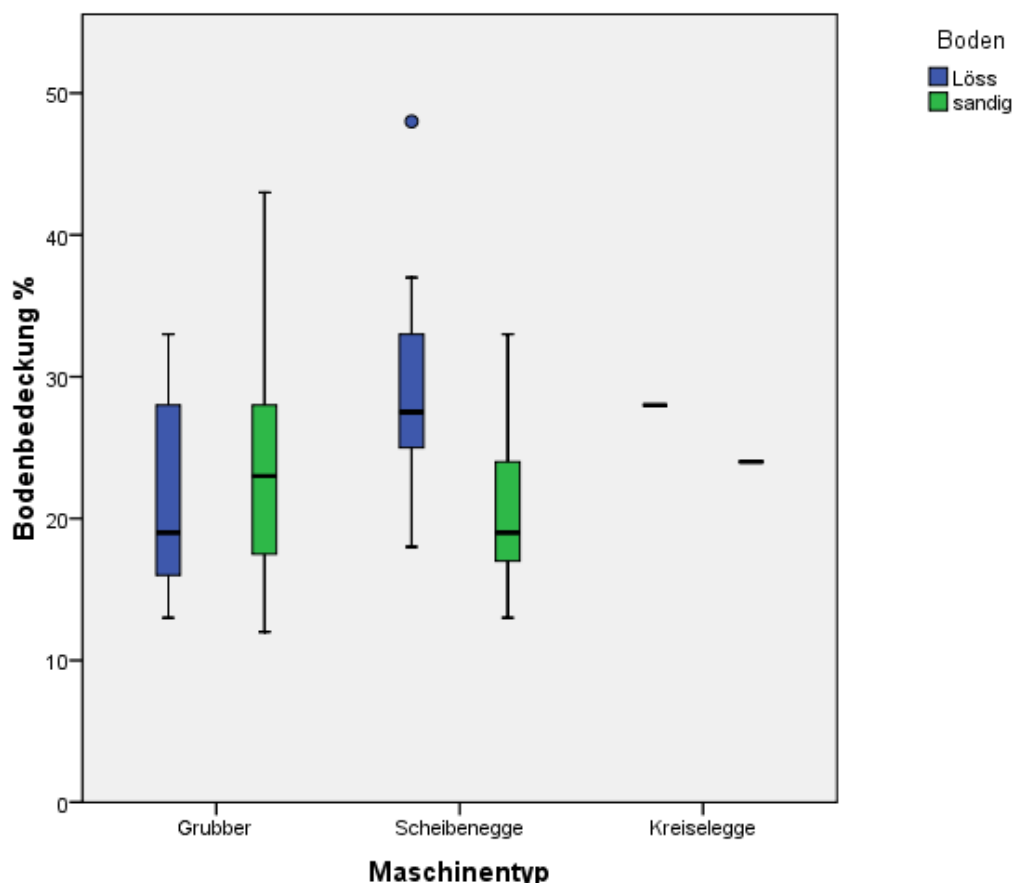


Abbildung 5: Bodenbedeckungsgrade nach erster Stoppelbearbeitung bei drei verschiedenen Maschinengrundtypen in zwölf Versuchen mit 51 Varianten über vier Jahre (o = Ausreißer)

5 Ergebnisse von einzelnen Versuchen zu speziellen Fragen des Maschineneinsatzes

5.1 Stoppellänge, Arbeitstiefe, Arbeitsgeschwindigkeit im Hinblick auf den Mulchabbau

Während der Versuche wurde visuell beobachtet, dass die Bodenwendung durch die Stoppeln behindert wurde. Insbesondere lange Stoppeln, die noch in größeren Bodenfragmenten mit ihren Wurzeln verankert waren, standen der Wendung des aufliegenden Bodens beim Grubbern entgegen. Gelöste und anfänglich aus der waagerechten Lage gekippte unregelmäßig geformte Bodenfragmente tendierten dazu, wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückzukehren. Außerdem ist Stroh wesentlich leichter als Boden und sperrig, sodass es sich dem Einmischen in den Boden widersetzt und erfahrungsgemäß mehr zum Aufschwimmen neigt.

In einem speziellen Versuch 2010 (Nr. 6) auf einem sandigen Boden mit signifikant unterschiedlich gemähten Stoppelhöhen von 14 cm, 22 cm und 32 cm (Tabelle 9) wurde die zuvor beschriebene Beobachtung untersucht. Bearbeitet wurde mit dem Standardgrubber mit Flügelscharen bei 8 km/h Geschwindigkeit. Als zweiter Versuchsfaktor wurde die Arbeitstiefe in zwei Stufen (10 cm und 18 cm) variiert.

Tabelle 9: Differenzierung der Stoppellängen im Versuch

Mittlere Stoppellänge (cm)	Konfidenzintervall 95%	
	Untergrenze	Obergrenze
14	11,9	15,9
22	20,2	24,3
32	30,4	34,5

Das Ergebnis der Varianzanalyse zeigt, dass nur durch die Variation der Stoppellänge Unterschiede in der Bodenbedeckung angenommen werden können. Die Hypothese, dass die Arbeitstiefe einen Einfluss auf den Mulchabbau hat, musste jedoch zurückgewiesen werden. Wechselwirkungen zwischen der Stoppellänge und der Arbeitstiefe waren dabei nicht zu berücksichtigen (Tabelle 10).

Tabelle 10: Ergebnis der Varianzanalyse der Daten zur Mulchbedeckung im Versuch mit differenzierter Strohlänge und Arbeitstiefe; Signifikanzen kleiner 0,05 lassen auf Unterschiede schließen

Quelle	Zähler-Freiheitsgrade	Nenner-Freiheitsgrade	F-Wert	Signifikanz
Konstanter Term	1	6	400,035	0,000
Block	3	6	0,652	0,610
Stoppellänge	2	6	8,638	0,017
Arbeitstiefe	1	9	1,019	0,339
Stoppellänge x Tiefe	2	9	3,287	0,085

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten der Stoppellängen waren nur zwischen der kurzen Stoppel mit 14 cm Länge bei 20 cm Arbeitstiefe gegenüber den langen Stoppeln von 22 und 32 cm signifikant. Darüber hinaus zeigte sich, dass der Abbau der Mulchauflage auch bei langem Stroh im Mittel unter die 30 %-Grenze abfiel (Abbildung 4). In der einheitlichen Ausgangssituation vor der Bearbeitung wurden noch 81 % Bodenbedeckungsgrad auf dem sandigen Boden festgestellt.

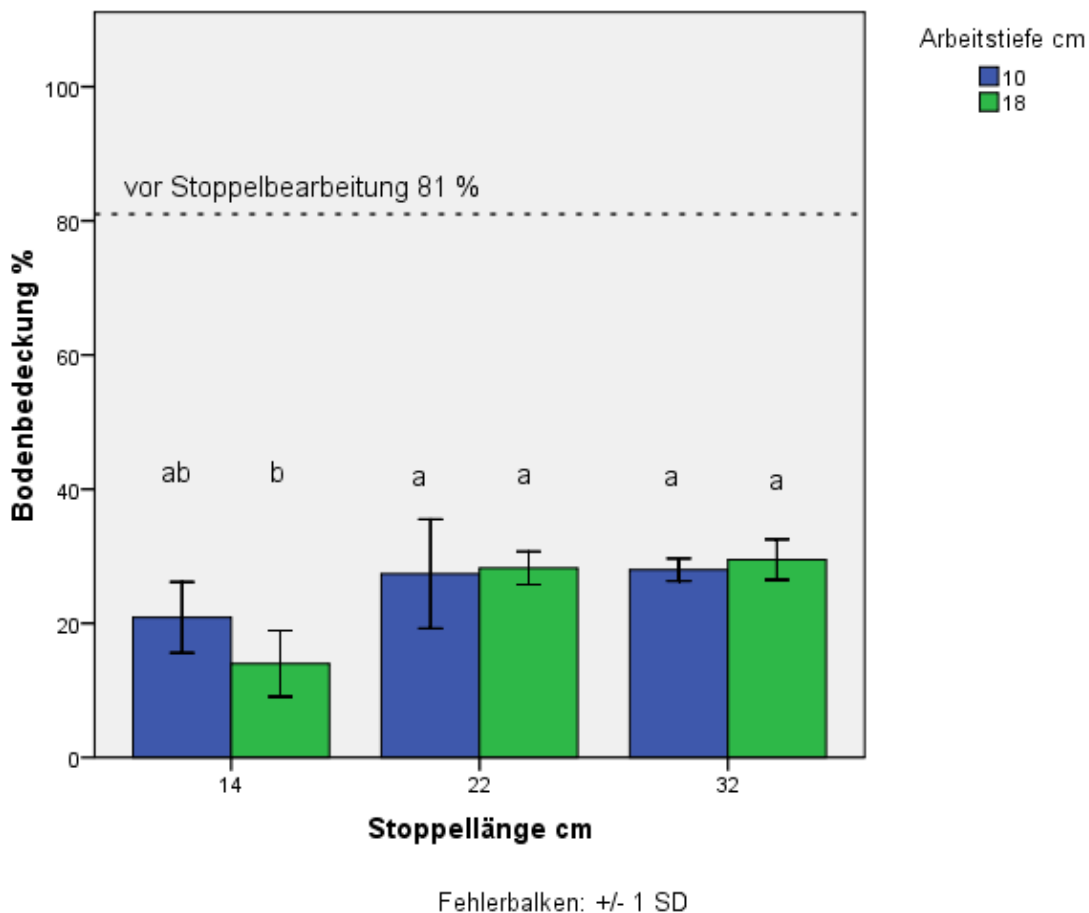


Abbildung 6: Mulchbedeckung nach der Bodenbearbeitung bei unterschiedlichen Stoppellängen; Mulchbedeckung vor der Bodenbearbeitung war 81 %. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen (Tukey-Test bei $\alpha = 0,05$; SD = Standardabweichung)

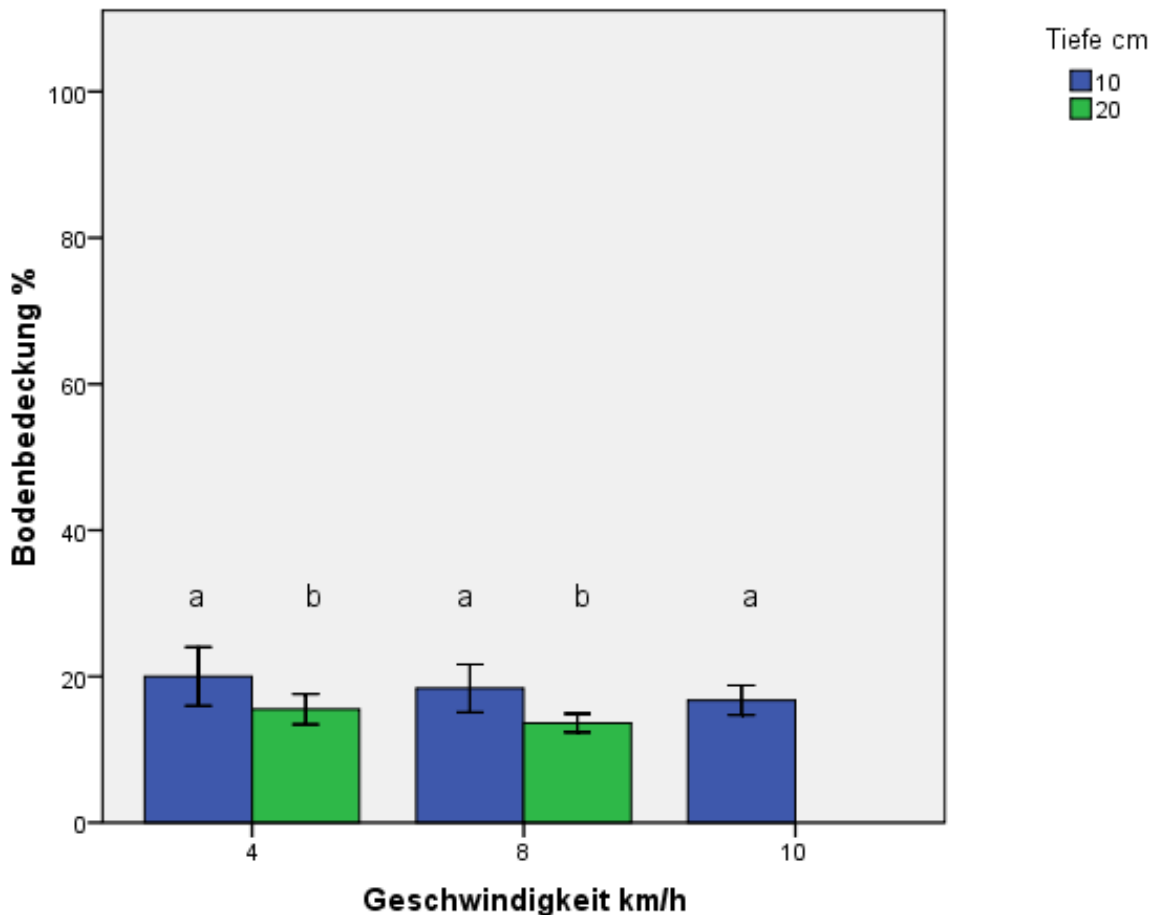
Auf allen Versuchsflächen in den verschiedenen Versuchsjahren wurden betriebsüblich zu 73 % Stoppellängen unter 20 cm vorgefunden. 55 % der Messwerte für die Stoppelhöhe erreichten maximal die Länge von 15,7 cm (Median) (Tabelle 11). Somit bergen die Schneidwerkeinstellungen beim Drusch noch Potenzial für einen Ausbau des Erosionsschutzes, insofern die folgende Aussaattechnik trotz langem Stroh eine qualitativ ausreichende Kornablage gewährleistet.

Tabelle 11: Stoppelhöhen auf elf Praxisschlägen, die auch als Versuchsflächen dienten

	Stoppelhöhe (cm)
Median	15,7
Spannweite	13,7
Minimum	12,2
Maximum	26

5.2 Wirkung von Arbeitstiefe und Arbeitsgeschwindigkeit auf die Mulchbedeckung

Unterschiede in der Arbeitstiefe und -geschwindigkeit beim Grubbern auf einem Lössboden nach Strohernte, bei 60 % Mulchbedeckung in der Ausgangssituation, differenzierten sich in der Mulchauflage nur durch den Faktor Arbeitstiefe (Versuch Nr. 7, 2010). Mit der Erhöhung der Arbeitstiefe von 10 cm auf 20 cm reduzierte sich die Bodenbedeckung aber nur leicht um 4 % von 18 auf 14 % (Abbildung 7). Die Variation der Arbeitsgeschwindigkeit entfaltete keine Wirkung auf die Intensität des Mulchabbaus. Allgemein erreichten die Bodenbedeckungsgrade an diesem Versuchsort jedoch nicht mehr als 20 %.



Fehlerbalken: +/- 1 SD

Abbildung 7: Bodenbedeckung nach einer Stoppelbearbeitung mit dem Flügelschargrubber mit Variation der Geschwindigkeit und Arbeitstiefe nach Strohernte; Stoppelhöhe = 13 cm, Mulchbedeckungsgrad vor der Bearbeitung 60 %; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$); SD = Standardabweichung

Gemessen an der Verdoppelung der Arbeitstiefe erscheint der erhöhte Mulchabbau von 4 %-Punkten relativ moderat, sodass bei diesem Parameter kaum von einer wirkungsvollen Steuerung des Mulchabbaus gesprochen werden kann. Trotzdem leitet sich daraus der Hinweis ab, möglichst flach zu arbeiten, weil damit auch der Energieverbrauch gedrosselt wird.

5.3 Einstellung einer Scheibenegge

Scheibeneggen in ihrer langen Bauform mit im Winkel verstellbaren Werkzeugachsen (auch schwere Scheibeneggen genannt) lassen eine Anpassung der Bodenlockerung an die Bodenbedingungen und Bearbeitungsziele durch variable Anstellwinkel der Bodenbearbeitungsscheiben grundsätzlich zu. Unter dem Gesichtspunkt des Bodenschutzes werden schwere Scheibeneggen aber aufgrund ihres großen Potenzials zur Wendung des Bodens kritisch gesehen. Die Möglichkeiten der Regulierung des Mulchabbaus durch die Maschineneinstellungen wurden experimentell geprüft.

Der Feldversuch auf zwei Bodenstandorten im Jahr 2011 wurde mit den drei festgelegten Faktoren Arbeitstiefe und -geschwindigkeit sowie Schnittwinkel mit je zwei Stufen geplant. Weil die am Gerät eingestellten Arbeitstiefen nicht wie geplant konstant eingehalten werden konnten, wurde jede Kombination aus Geschwindigkeit und Arbeitstiefe als Variante gewertet (Versuche Nr. 9 und 11, 2011).

Die Varianzanalyse ließ für keinen Standort auf signifikante Unterschiede zwischen den Arbeitseinstellungen schließen (Abbildungen 8 und 9). Im Mittel über alle Varianten wurde die Mulchauflage von 81 und 86 % auf dem sandigen Boden bzw. Löss-Boden jeweils auf unter 30 % gesenkt (18,2 bzw. 26,6 %; Stoppelhöhen 14 bzw. 20 cm).

Auch zwischen der aufgewendeten Zugleistung und der verbliebenen Mulchbedeckung bestand keine signifikante Korrelation. Die Koeffizienten nach Pearson waren jeweils leicht negativ. Sie wiesen aber mit -0,045 für den sandigen Boden und -0,102 für den Lössboden lediglich Signifikanzen von 0,834 bzw. 0,635 auf. Obwohl der Zugleistungsunterschied bis nahe 100 % heranreichte, zeigte dieser keine Differenzierung im Mulchabbau (Tabelle 12). Der unerwartet geringere Zugleistungsbedarf für den Lössstandort gegenüber dem sandigen Standort dürfte auf eine günstigere Bodenfeuchte und leichte systematische Abweichungen in der Tiefeinstellung der Scheibenegge in Bezug auf die Soll-Tiefe zurückzuführen sein.

Tabelle 12: Zugleistungsbedarf je m Arbeitsbreite für eine Scheibenegge bei der Stoppelbearbeitung in Abhängigkeit von Geschwindigkeit, Arbeitstiefe und Anstellwinkel

Zugleistungsbedarf P (kw/m Arbeitsbreite)			Arbeitstiefe (cm)					
Boden	Tempo (km/h)	Winkel (°)	5			10		
			Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum
sandig	8	12	17	18	17	21	22	20
		18	20	21	18	20	23	18
	12	12	27	28	25	.	.	.
		18	32	37	30	.	.	.
Löss	8	12	13	14	13	19	21	18
		18	16	17	14	20	24	19
	12	12	23	24	21	.	.	.
		18	25	27	23	.	.	.

Als Ursache der geringen Steuerbarkeit des Mulchabbaus beim Einsatz einer Scheibenegge muss in Betracht gezogen werden, dass bereits mit einer Arbeitsweise mit 12° Winkeleinstellung, 5 cm Arbeitstiefe und bei 8 km/h Arbeitsgeschwindigkeit das Maximum der Boden-Stroh-Mischwirkung der Scheibenegge annähernd erreicht wurde (Abbildungen 8 und 9). Zu prüfen wären deswegen auf jeden Fall Arbeitsgeschwindigkeiten um 4 km/h. Noch flachere Einstellungen als 5 cm sind wenig empfehlenswert, weil dadurch die vollflächige Bearbeitung nicht mehr gewährleistet ist.

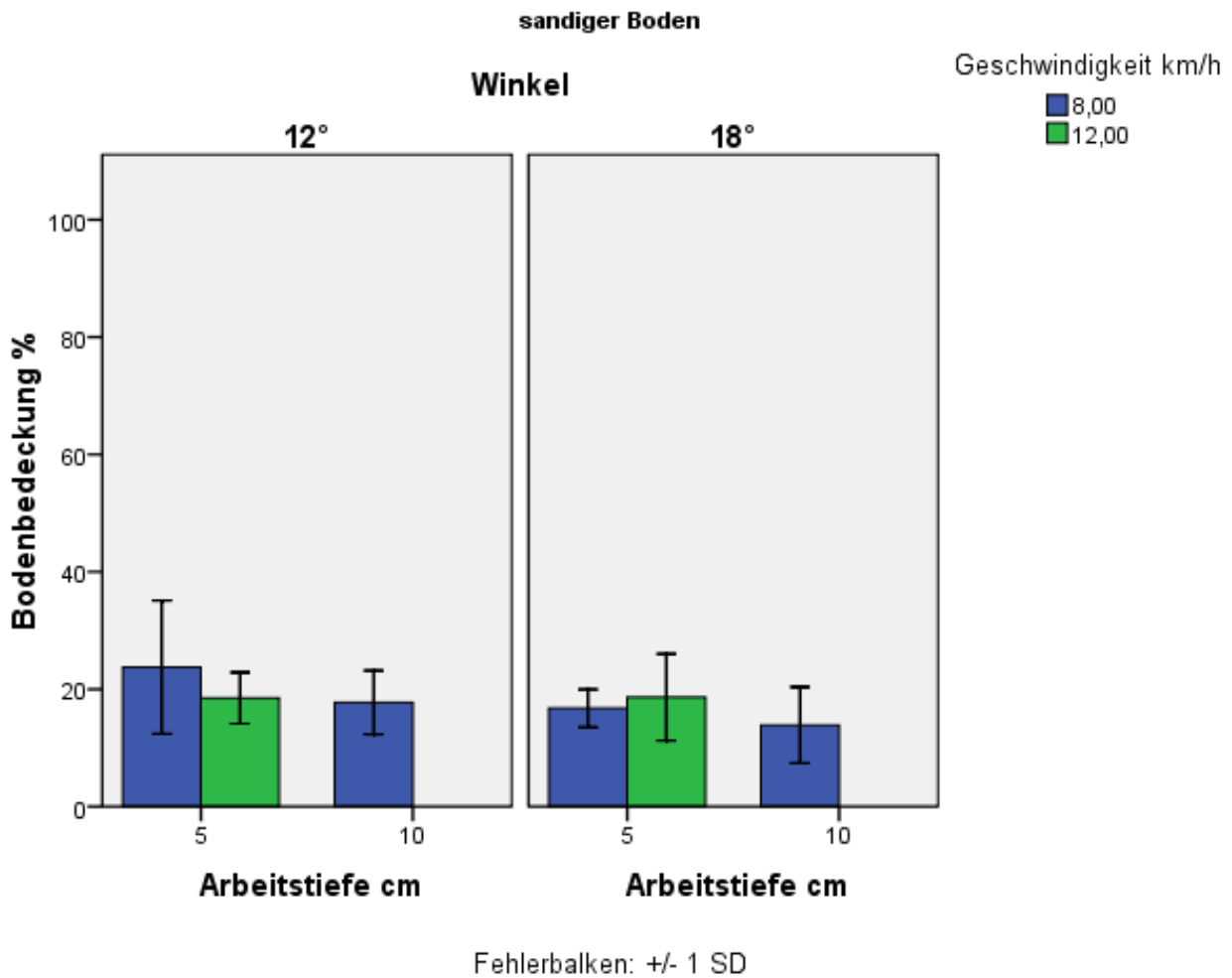


Abbildung 8: Bodenbedeckung nach Stoppelbearbeitung mit einer Scheibenegge bei unterschiedlicher Arbeitsintensität auf sandigem Boden; Bodenbedeckung vor der Bearbeitung war 81 %

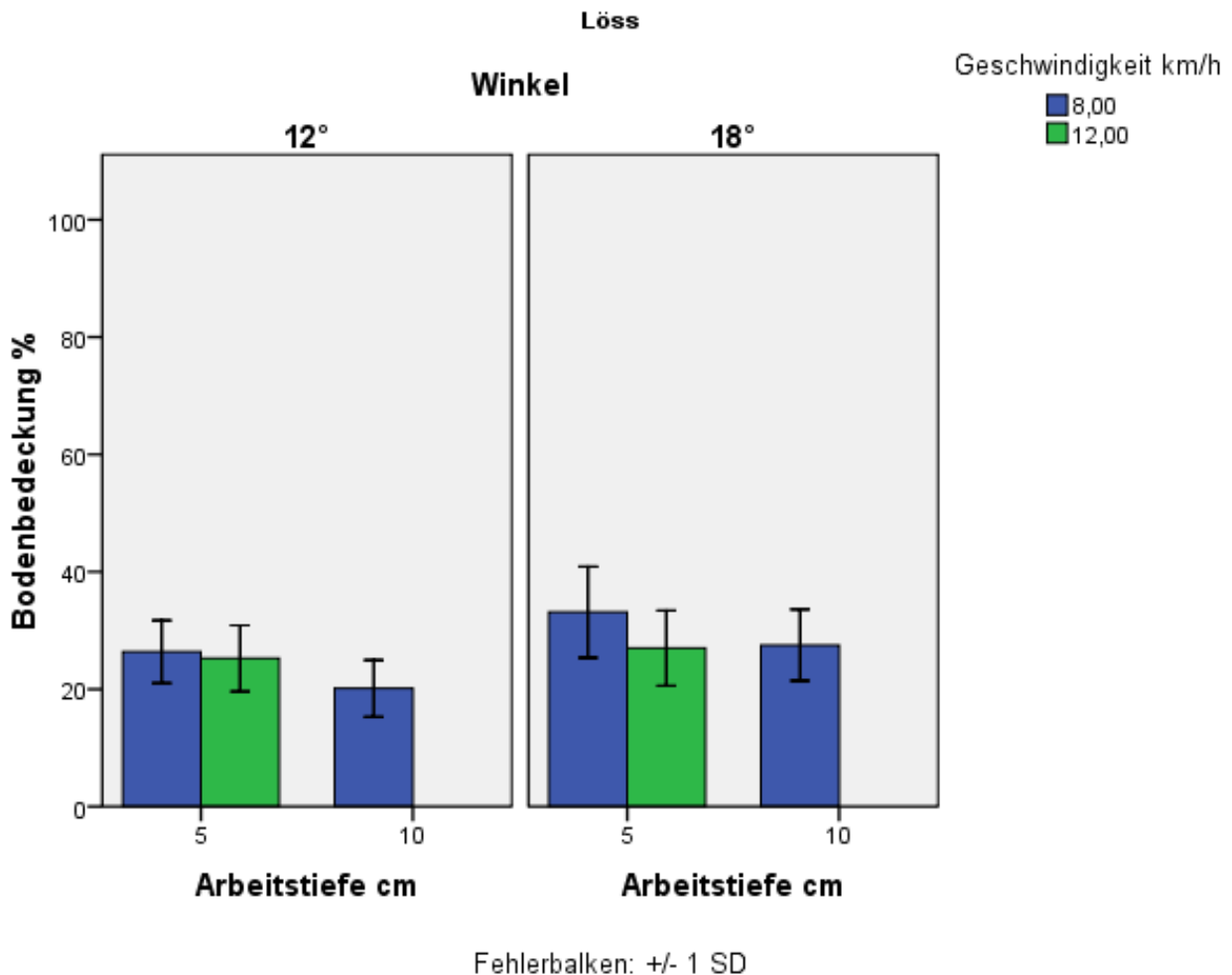


Abbildung 9: Bodenbedeckung nach Stoppelbearbeitung mit einer Scheibenegge bei unterschiedlicher Arbeitsintensität auf Lössboden; Bodenbedeckung vor der Bearbeitung war 88 %

5.4 Entwicklung der Mulchbedeckung im zeitlichen Verlauf

Nach einer Stoppelbearbeitung ist die weitere Entwicklung der Bodenbedeckungsgrade in Bezug auf die Erosionsfestigkeit einer Ackerfläche von Interesse. Die Bedeckungsgrade könnten sich durch das Freilegen des flach eingearbeiteten Strohs über Setzungsprozesse des lockeren Bodens oder durch ein Freiwehen und Freispülen des eingearbeiteten Strohs durch Wind und Wasser im Laufe der Zeit verändern. Sicher ist, dass die Mulchbedeckung durch Rotteprozesse des Strohs reduziert wird. Neben dem Stroh und der Spreu ist auch ein Potenzial von Unkraut- und Kulturpflanzensamen vorhanden, das den Bodenschutz allmählich durch das Auflaufen und Aufwachsen wieder verbessern kann. Je nach Umfang der Unkrautsamenmenge im Boden, Strategie der Stoppelbearbeitung und Herbizideinsatz kann dieser Faktor unterschiedlich in seiner Intensität ausfallen. Über den Winter 2010/2011 wurde die Entwicklung der Bodenbedeckung an zwei Standorten in 32 Versuchspartzellen auf zwei unterschiedlichen Standorttypen von August bis März verfolgt.

Auf dem leichteren Boden wurde nach der Ernte ein Median der Bodenbedeckung von 85 % am 24. August 2010 erfasst. Dieser Wert reduzierte sich durch die Stoppelbearbeitung in einem Arbeitsgang mit unterschiedlichen Maschinen (Grubber, Kurzscheibenegge und Kreiselegge) auf 19 %. Bis zum 27. Oktober 2010 regenerierte sich

die Bodenbedeckung auf 44 %, um über den Winter bis zum 1. März auf 73 % anzusteigen. Im gleichen Zeitraum verdichtete sich die Bodenbedeckung auch in der Kontrolle, eine nicht bearbeitete Fläche, bis auf 96 %. (Tabelle 13). Somit erreichte der Bodenschutz über die Wintermonate in jedem Fall wieder ein ausreichendes Maß mit einem Bedeckungsgrad von deutlich über 30 %. Tabelle 14 zeigt, dass direkt vor und direkt nach (27.08.) der Stoppelbearbeitung im Wesentlichen das Stroh mit Anteilen von 89 bzw. 96 % an der gesamten Bedeckung die Bodenbedeckung bildete und weniger das Unkraut mit 11 bzw. 4 %. Ab Oktober stellte sich ein kräftiger Grünaufwuchs aus Unkraut und Ausfallgetreide ein, der dann für den Hauptteil der Bodenbedeckung bis zum März verantwortlich war. Es konnte auch beobachtet werden, dass ein gewisser Anteil an Unkraut im Winter abfror und sich damit das Grünaufwuchs-Stroh-Verhältnis variabel zeigte.

Tabelle 13: Regeneration der Bodenbedeckung nach der Weizenernte bis zum März des Folgejahres auf sandigem Boden in Nordsachsen; (alle Median-Unterschiede signifikant; Wilcoxon-Test, $\alpha = 0,05$)

Termin	Bodenbearbeitung	n	Median	Spannweite
24.08.2010	Unbearbeitet	16	86	32
27.08.2010	Bearbeitet	16	19	43
27.10.2010	Bearbeitet	16	44	52
01.03.2011	Bearbeitet	16	73	37
01.03.2011	Unbearbeitet	7	96	11

Tabelle 14: Verhältnisse der Anteile der Ernterückstände und des Grünaufwuchses der Bodenbedeckung in einem Feldversuch auf sandigem Boden (August 2010 bis März 2011, n = 16 Versuchspartzen; Schätzung mit Göttinger Rahmen, 24.08. = vor der Bodenbearbeitung)

Bewuchs bzw. Mulchmaterial	24.08.10	27.08.10	27.10.10	01.03.11
Unkraut/Getreideaufwuchs	11 %	4 %	73 %	60 %
Stroh/Spreu	89 %	96 %	27 %	40 %

Auf dem Lössstandort, auf dem das Stroh abgeerntet und zusätzlich der Aufwuchs des Ausfallgetreides mit einem Herbizid bekämpft wurde, konnte erwartungsgemäß in den Versuchspartzen keine Regenerierung der Bodenbedeckung durch Grünaufwuchs beobachtet werden. Die Mittelwerte der Bodenbedeckung fielen von 62 % nach der Ernte auf 18 % nach der Stoppelbearbeitung ab und blieben auf diesem niedrigen Niveau mit kleineren Schwankungen bis in den März nahezu konstant (Tabelle 15). Die Grünaufwuchsanteile wurden höchstens mit 1 % vom Bedeckungsgrad eingestuft, sodass sie zu keinem Zeitpunkt relevant für den Bodenschutz waren und in Tabelle 15 nicht dargestellt sind. Die Spreuanteile reduzierten sich durch die Bodenbearbeitung von 20 % auf weniger als 1 % und waren dadurch nach der Bearbeitung nicht mehr von Belang.

Der Bewirtschafter der betreffenden Ackerfläche reagierte auf diese Situation, indem er nach der Ernte keine Stoppelbearbeitung ausführte. Somit blieb der Erosionsschutz über den Winter maximal erhalten. Die Unkrautkontrolle erfolgte mit einem Herbizid und die Bodenbearbeitung wurde kurz vor Aussaat der Folgekultur durchgeführt.

Tabelle 15: Entwicklung der Mulchauflage von Stroh und Spreu bei einer Stoppelbearbeitung im Feldversuch auf Lössboden von August 2010 bis März 2011; Stroh war abgeerntet; Herbizide verhinderten einen Grünaufwuchs

Termin	Mittelwert	Spannweite
August, vor Bearbeitung	62 %	13 %
August, nach Bearbeitung	18 %	8 %
Oktober	10 %	3 %
März	16 %	7 %

Die Ergebnisse der Zeitreihe auf Löss zeigen, dass nach einer Stoppelbearbeitung im Laufe der Zeit keine wirkungsvolle Erhöhung der Mulchbedeckung durch Freiblasen oder -spülen von besonders flach unter der Oberfläche liegenden Strohpartikeln aus dem Boden erfolgt. Aber auch eingearbeitetes Stroh stabilisiert die Böden gegen Erosion, allerdings ist diese Wirkung wesentlich geringer als die von auf der Bodenoberfläche liegendem Stroh (USDA 1978). Ausfallgetreidekörner und Unkrautsamen sind gemäß der vorliegenden Ergebnisse dagegen in der Lage, eine Ackerfläche nach einer Stoppelbearbeitung im Sommer hinsichtlich der Erosionsdisposition bis zum Spätherbst und über den Winter wirksam zu stabilisieren. Eine vergleichbare Funktion können Zwischenfrüchte übernehmen, wenn Unkrautpflanzen nicht als Bodenbedecker dienen sollen.

5.5 Erste und zweite Stoppelbearbeitung

In der Praxis wird die Stoppel häufig in zwei Arbeitsgängen bearbeitet. Der erste Arbeitsgang dient der Strohverteilung und dem Auflaufen von Ausfallgetreide. Es wird möglichst flach gearbeitet, um keine Getreidekörner in tiefe Bodenschichten zu vergraben, aus denen ein Auflaufen oder Keimen unsicher ist. Der zweite, tiefere Arbeitsgang hat die Aufgabe, den aufgelaufenen Grünaufwuchs zu vernichten, der aus Getreide und Unkraut bestehen kann. Dieser Arbeitsgang kann auch die Funktionen Einebnung der Bodenoberfläche und Lockerung tieferer Bodenschichten beinhalten.

Mit zwei Feldversuchen (Nr. 10 und 12) im Jahr 2011 wurde diese Strategie in der Bodenbearbeitung simuliert. Dabei wurde jedoch die zeitliche Abfolge der beiden Arbeitsgänge auf wenige Stunden zusammengedrängt. Ziel war es, den Abbau von Mulchschichten unter diesen Bedingungen zu untersuchen und das Einmischen von Ernterückständen in das Bodenprofil zu beobachten. Dafür wurde je ein Standort auf Löss und auf sandigem Boden ausgewählt. Der erste Arbeitsgang am 17. August 2011 wurde 5 cm flach mit einer Scheibenegge und nachfolgend der zweite Arbeitsgang mit verschiedenen Grubbern und Scheibeneggen durchgeführt.

In der Ausgangssituation nach der Getreideernte (Sommergerste nach ausgewintertem Weizen) auf dem sandigen Standort war der Ackerboden in Versuchspartellen durchschnittlich zu 87 % einheitlich mit Mulchmaterial, Unkraut und Ausfallgerste bedeckt (Abbildung 10). Die Stoppelhöhe wurde mit 14 cm bestimmt. Der erste 5 cm flache Arbeitsgang zum Stoppelsturz quer zur Aussaatrichtung reduzierte die Bodenaufgabe gleichmäßig um 76 Prozentpunkte auf nur noch 11 %. Der zweite Arbeitsgang längs zu den Drillreihen mit zwei Varianten von Grubberscharen und einer Kurzscheibenegge erhöhte die Mulchschicht sogar wieder signifikant. Sie wurde am 18. August 2011 auf 23 % Bedeckungsgrad höher als nach der ersten Bearbeitung bestimmt.

Dieses erhöhte Niveau wurde an einem weiteren Boniturtermin am 31.08.2011 mit 21 % bestätigt. Unterschiede zwischen den eingesetzten Maschinen traten zu keinem Zeitpunkt auf. Der Minimalwert von 30 % Bedeckungsgrad wurde - gemessen an den Mittelwerten - nicht erreicht. Was sich jedoch nicht für jede Maschine statistisch absichern ließ.

Ansteigende Bedeckungsgrade lassen sich durch den aufkommenden Grünaufwuchs erklären. Bei fehlendem Unkrautaufwuchs ist im Laufe der Zeit eher mit einem abnehmenden Bodenbedeckungsgrad durch den Abbau der Strohpartikel zu rechnen.

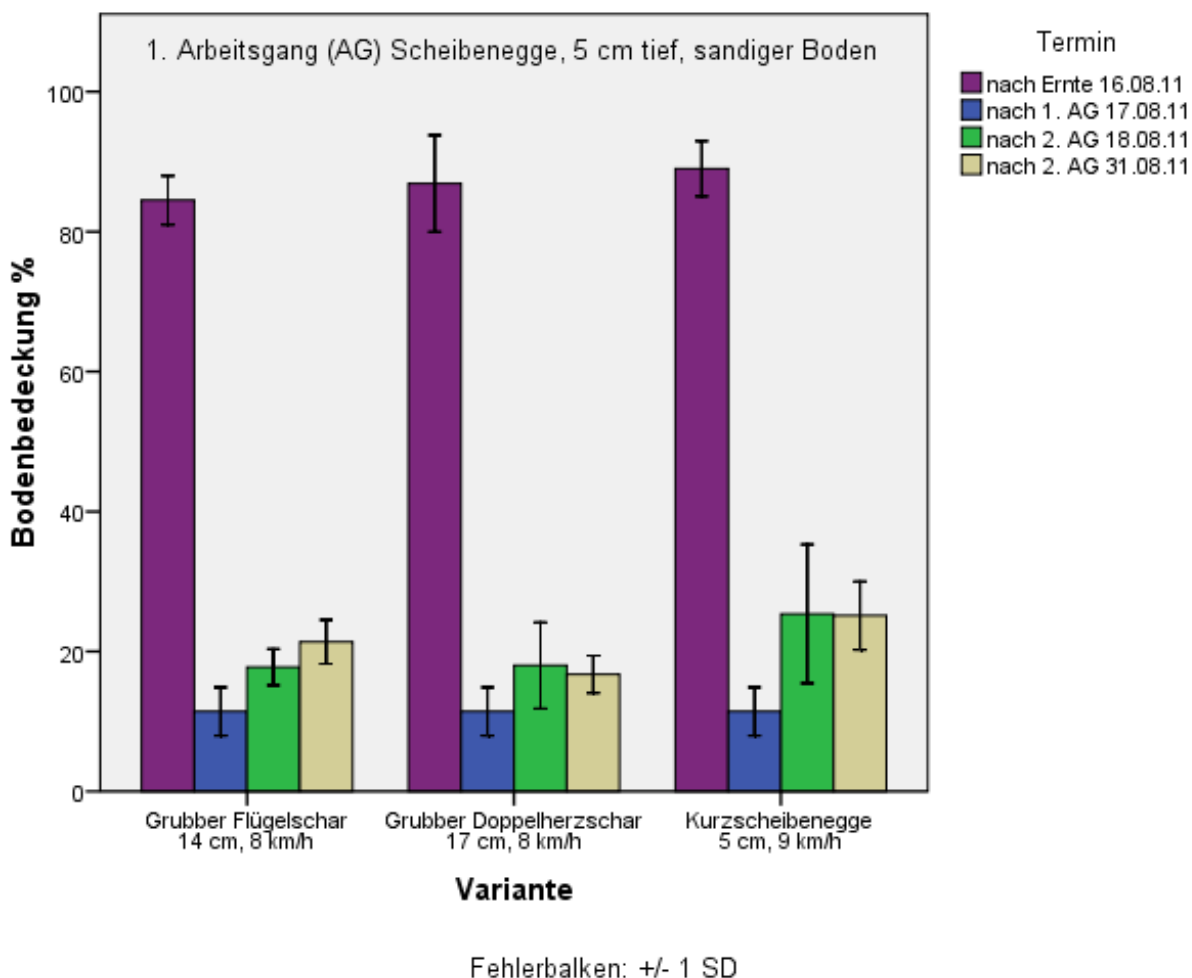


Abbildung 10: Entwicklung der Bodenbedeckung auf sandigem Boden im Verlauf von zwei Arbeitsgängen bei der Stoppelbearbeitung mit einheitlichem ersten Arbeitsgang mit 5 cm Tiefe; angegeben sind Arbeitstiefe (cm) und Arbeitsgeschwindigkeit (km/h); SD = Standardabweichung

Der Versuch mit der gleichen Fragestellung wurde auf dem Lössboden bei 18 cm Stoppellänge und 94 % Bodenbedeckung ausgeführt. Wobei der Standardgrubber mit Flügelscharen als auch mit Doppelherzscharen zum Einsatz kam. Zusätzlich wurde die Betriebsvariante, ein Kombinationsgerät aus Flügelschargarubber und Spatenwälzeger, getestet.

Der erste Arbeitsgang zum Stoppelsturz am 23.08.2011 mit der 5 cm flach eingestellten Scheibenegge bei 8 km/h Geschwindigkeit quer zur Aussaatrichtung reduzierte die Bodenaufgabe, die hauptsächlich aus Stroh und Spreu

bestand, um 50 % auf 47 %. Der zweite Arbeitsgang längs zu den Drillreihen führte auf diesem Standort zum weiteren Abbau der Mulchschicht im Mittel aller Maschinen auf 28 %. Unterschiede zwischen den Maschinen ließen sich auch hier gleich nach deren Einsatz nicht nachweisen. Bei einem Boniturtermin 23 Tage später gab es allgemein einen Trend zu weiter verringerten Bedeckungsgraden auf im Mittel 18 %. Der im Betrieb genutzte Grubber mit einem hinterlassenen Bedeckungsgrad von 25 % unterschied sich dabei signifikant vom Grubber mit Doppelherzschar in Verbindung mit tieferer Bearbeitung (12 %) (Abbildung 11).

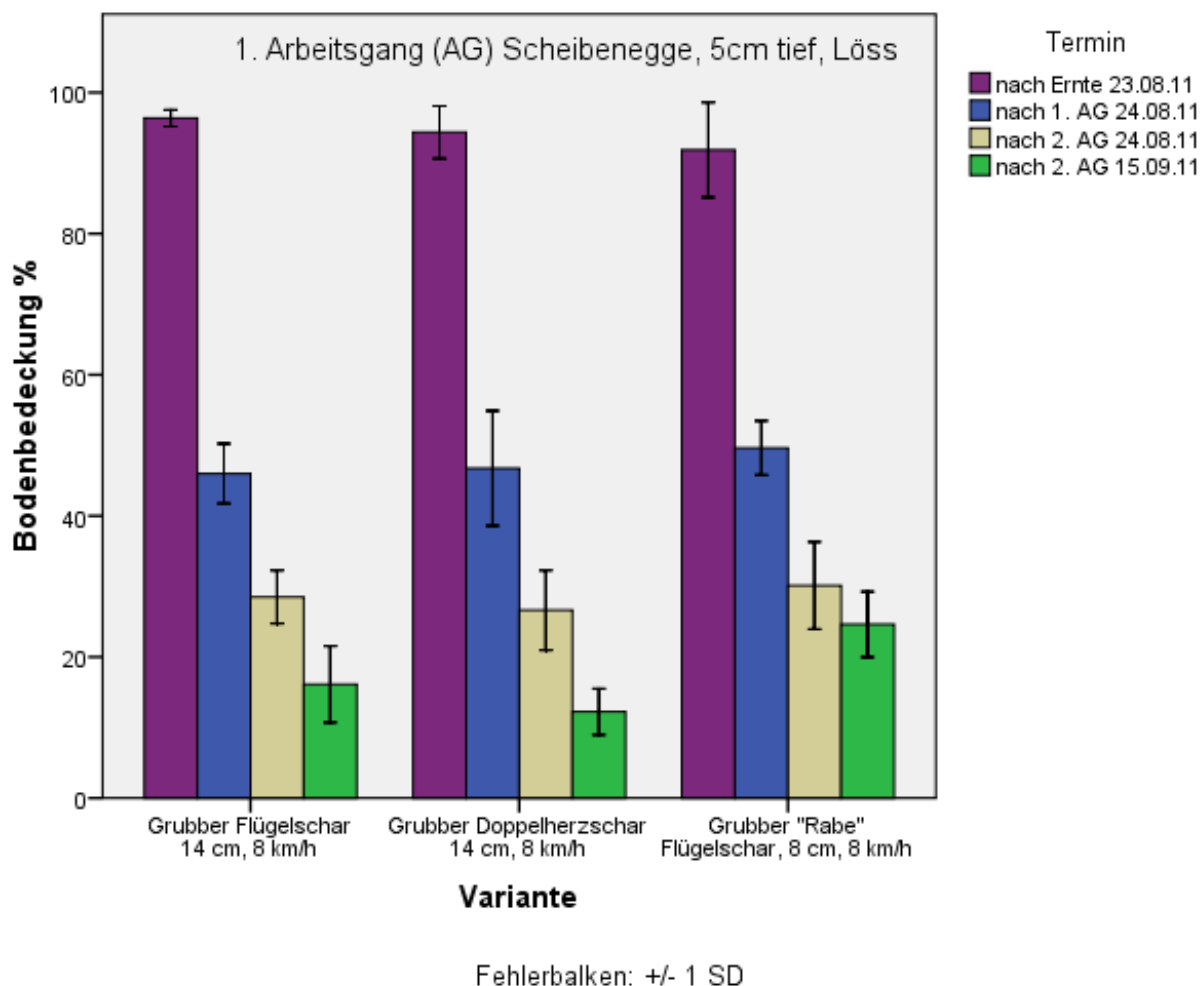


Abbildung 11: Entwicklung der Bodenbedeckung auf Lössboden im Verlauf von zwei Arbeitsgängen bei der Stoppelbearbeitung mit einheitlichem ersten Arbeitsgang mit 5 cm Tiefe; angegeben sind Arbeitstiefe (cm) und Arbeitsgeschwindigkeit (km/h); SD = Standardabweichung; Grubber „Rabe“ unterscheidet sich signifikant von Grubber Doppelherzschar zum Termin 15.09.2011 (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Der Lössstandort wies einen geringen Unkrautbesatz auf. Deswegen lässt sich die weitere Abnahme der Bodenbedeckungsgrade nach dem zweiten Arbeitsgang bis zum 15. September (Abbildung 11) durch einen beginnenden Abbau der Strohreste erklären. Neben den schwerer biologisch abbaubaren eigentlichen Strohhalmen bilden auch die feinen Blattreste und Spelzen einen Teil der Bodenbedeckung. Diese feinen Bestandteile bauen sich anscheinend schnell ab.

Die Ergebnisse beider Versuche zeigen, dass spätestens bei einem zweiten Arbeitsgang eine Bodenbedeckung mit Mulchmaterial unter der Grenze von 30 % zu erwarten ist.

Im Vergleich zu den anderen Versuchen mit nur einem Arbeitsgang ordneten sich die Bedeckungsgrade in den gesamten Datenpool bei geringen Abweichungen von Mittelwert und Median ein (Tabelle 16). Es ließen sich dabei zwischen diesen beiden Gruppen weder unterschiedliche Varianzen mit dem Levene-Test noch Lageunterschiede der Werteverteilungen mit dem U-Test nachweisen. Ein zweiter Arbeitsgang auf der Stoppel verringert demnach nicht zwangsläufig den Erosionsschutz durch den Abbau der Bodenbedeckung. Allerdings wird die Krümelstabilität zunehmend geschwächt, sodass jeder Arbeitsgang zur Bodenbearbeitung negativ für den Erosionsschutz bewertet werden muss.

Es konnten keine Faktoren in den erhobenen Daten gefunden werden, die den geringen Abbau der Mulchschicht auf dem Löss-Standort nach dem ersten Arbeitsgang verursacht haben. Der Wert von 48 % Bedeckung ist der höchste beobachtete Wert in allen Versuchen. In Frage kommen für diese Ausprägung die Bodenart, die Feuchte und Dichte des Bodens bis 5 cm Tiefe sowie die etwas größere Stoppellänge im Vergleich zum sandigen Standort.

Tabelle 16: Vergleich von Zentral- und Streuungswerten von Prüfgliedern mit Stoppelbearbeitung in einem bzw. in zwei Arbeitsgängen

Parameter	Ein Arbeitsgang	Zwei Arbeitsgänge
Anzahl Prüfglieder	44	6
Mittelwert	23,5	24,5
Median	24,0	26,0
Standardabweichung	7,9	5,3
Minimum	12	18
Maximum	48	30
Spannweite	36	12
Tests auf Unterschiede der Verteilungen		
Levene-Test, Signifikanz		0,215
U-Test, exakte Signifikanz		0,515

Zu beachten ist, dass in diesen Feldversuchen beide Arbeitsgänge unmittelbar aufeinander folgten. In der Praxis ist es sinnvoll, die Arbeitsgänge soweit auseinander zu ziehen, dass mit dem zweiten Arbeitsgang aufgelaufenes Ausfallgetreide vernichtet wird. Ob das Absetzen der im ersten Arbeitsgang gelockerten flachen Bodenschicht die Stroheinarbeitung beim zweiten Arbeitsgang im Vergleich zum ausgeführten Versuch verändert, ist nicht untersucht worden. Mit dem Ausschalten von Grünaufwuchs in einem zweiten Arbeitsgang muss aber mit einer negativen Wirkung auf den Erosionsschutz gerechnet werden.

5.6 Vergleich verschiedener Grubberschare

Die Schartypen an Schwergrubbern lassen sich in der Regel mit wenig Aufwand austauschen. Allgemein besteht dabei die Frage nach einer effektiven Form hinsichtlich der gestellten Arbeitsaufgaben bei der Stoppelbearbeitung. Die durchgängige Bodenlockerung soll leichtzünftig erfolgen und eine möglichst ebene Oberfläche und Sohle hinterlassen. Außerdem wird eine gleichmäßige Einmischung der Ernterückstände in das Bodenprofil erwartet. Speziell unter dem Aspekt des Bodenschutzes ist aber auch der Erhalt einer umfangreichen Mulchauflage gefordert. Das ist mit einem umfassenden Einarbeiten von z. B. Stroh jedoch aus den logischen Zusammenhängen nicht kombinierbar.

Im Jahr 2008 kam ein leichter Grubber mit drei Balken ohne Nachläufer im Versuch (Nr. 1) mit drei verschiedenen Schartypen zum Einsatz. Dieses Anbaugerät mit drei Meter Arbeitsbreite war mit starren Scharstielen ausgerüstet, deren Anstellwinkel einzeln präzise auf 90 Grad zur Bodenoberfläche justiert werden konnte. Der Strichabstand wurde auf 34 cm eingestellt.

Drei Arten handelsüblicher fabrikneuer Schare wurden getestet (Abbildung 12). Zum Einsatz kamen Doppelherzschare in 140 mm und 180 mm breiter Ausführung sowie die Kombination aus dem schmalen Doppelherzschar (135 mm) und einem Flügelschar mit 42 cm Schnittbreite. Für die Ausführung der Variante mit Flügelscharen mussten außerdem Zusatzgewichte von 200 kg am Grubber aufgelegt werden, um den sicheren Einzug der Werkzeuge zu gewährleisten.



Abbildung 12: Doppelherzschare mit 135 mm und 180 mm Breite sowie Doppelherzschar (135 mm) mit 42 cm schneidenden Flügeln

Die Arbeitstiefen und -geschwindigkeiten der Varianten konnten in engen Bereichen konstant gehalten werden. Die Arbeitstiefen lagen zwischen 14 cm bis 15 cm, die Arbeitsgeschwindigkeiten zwischen 8,1 km/h bis 8,4 km/h (Tabelle 17).

Beim Versuchseinsatz ließen sich zwischen dem schmalen und dem breiten Doppelherzschar bei allen geprüften Parametern keine Unterschiede nachweisen. Zugleistungsbedarf, Einebnung der Oberfläche, Rautiefe der Sohle und das Einmischen des Mulchmaterials verliefen annähernd gleich. Das Flügelschar verzeichnete jedoch davon abweichende Ergebnisse.

Im Unterschied zu den Doppelherzscharen verlangte das Flügelschar einen erhöhten (spezifischen) Zugleistungsbedarf von 20 kW/m Arbeitsbreite gegenüber 16 kW/m. Ursache ist nicht nur die Scharform, sondern auch der zusätzliche Massebedarf, der für den sicheren Einzug zusätzlich montiert werden musste. In nachfolgenden vergleichenden Versuchen mit konstanter Grubbermasse wurde der erhöhte Zugleistungsbedarf der Flügelschare nicht bestätigt.

Die Wiederholung des Versuchs im folgenden Jahr 2009 (Nr. 2-4) auf drei weiteren Standorten mit einem neuen, schwerer gebauten Grubber beim Test des 180 mm Doppelherz- und des Flügelschares zeigte, dass bei zusätzlicher Montage der Flügelschare nur ein nicht signifikanter Mehrbedarf an Zugleistung von 1 kW je Meter Arbeitsbreite gemessen wurde.

Während die Flügelschare die Bodenoberfläche ebenso rau hinterließen wie die Doppelherzschar, verringerten sie dagegen die Rauzahl R_z der Bearbeitungssohle um 50 %. Die sich in der Schnittbreite überlappenden Flügel lockerten den zu bearbeitenden Horizont vollständig auf (Abbildung 13).

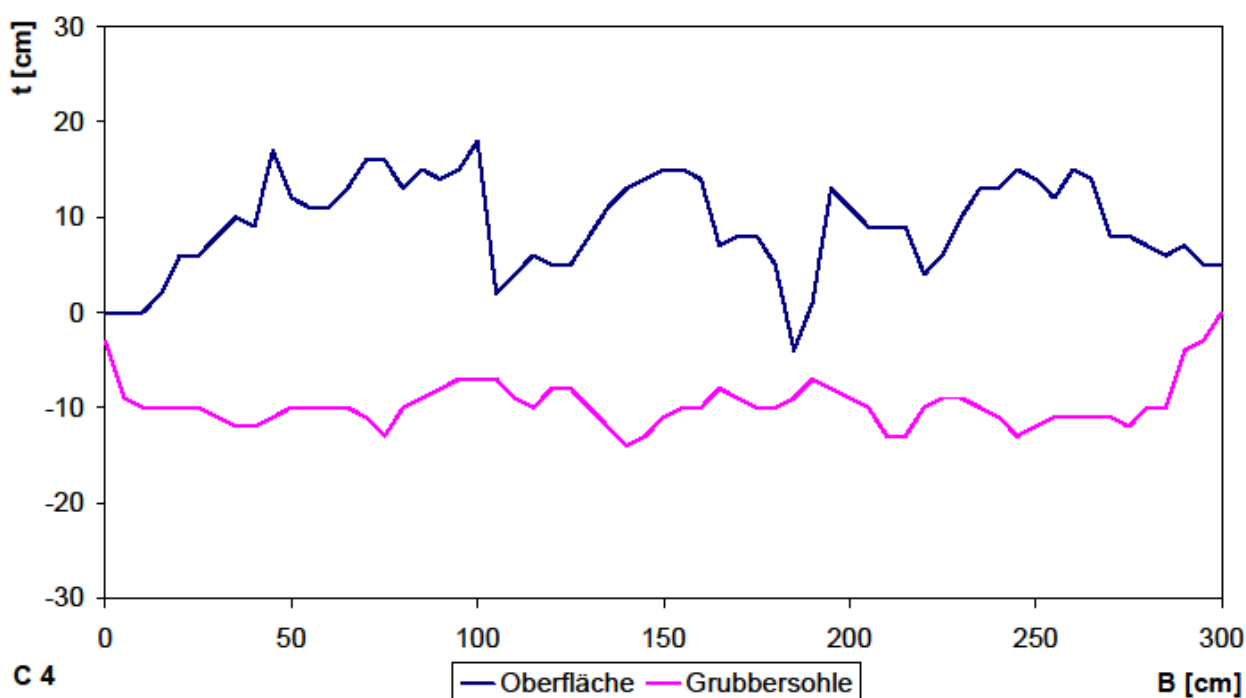


Abbildung 13: Beispiel eines Rauheitsprofil der Bodenoberfläche und der bearbeiteten Sohle über die gesamte Arbeitsbreite eines Grubbers mit einer Arbeitsbreite $B = 300$ cm unter Verwendung von Flügelscharen ohne Einsatz von nachlaufenden Einebnungswerkzeugen; Standort: Löss; C4 = Kennzeichen der Parzelle

Die Doppelherzschar brachen in der Regel bei der gewählten Arbeitstiefe von 14 bis 15 cm den leicht plastischen Lössboden nur streifenweise auf, sodass Stoppeln und Unkraut an vielen Stellen unverändert im Boden verwurzelt blieben (Abbildung 15). Schätzungen am aufgegrabenen Profil ergaben, dass nach dem Durchgang der Doppelherzschar etwa ein Drittel unbearbeitet blieb.



Abbildung 14: Streifenweise gelockerter Lössboden bei der Stoppelbearbeitung mit einem Grubber mit Doppelherzscharen

Das Einarbeiten der Erntereste, hauptsächlich Getreidestroh, erfolgte mit den Flügelscharen auf dem gleichen Niveau wie mit den Doppelherzwerkzeugen. Mit nur einem Arbeitsgang wurden hohe Mulchbedeckungsgrade zwischen 80 und 94 % vor dem Arbeitsgang zum Teil auf unter 30 % nach der Bearbeitung reduziert. Zu 77 bis 83 % wurden das Stroh, die Stoppeln und die Unkrautpflanzen nur flach bis 10 cm eingearbeitet. 17 bis 23 % der organischen Substanz wurde tiefer im Profil bis 15 cm, der Arbeitstiefe der Scharspitzen, wiedergefunden. Ein gleichmäßiges Einmischen war unter diesen Bedingungen demnach nicht erfolgt (Abbildung 15).



Abbildung 15: Beispiel für geringe Vermischung von Stohteilern und Boden bei der Stoppelbearbeitung

Eine ebene Sohle konnte sowohl auf zwei Lössböden als auch auf einem sandigen Boden mit dem breiten Doppelherzschar allein nicht sicher realisiert werden (Tabelle 17). Insofern können Flügelschare am Schwergrubber bei flacher Bodenbearbeitung ohne Einschränkung empfohlen werden, um zu einer vollständigen Bodenlockerung zu gelangen. Auf der Kostenseite ist dabei aber ein höherer Werkzeugverschleiß anzusetzen. Der durchgehende Schnitt der Schare dürfte die Unkrautregulierung unterstützen, indem diese Wildpflanzen komplett aus dem Erdverbund gelockert werden und dadurch leichter vertrocknen oder sich zumindest langsamer weiterentwickeln (Abbildung 16).



Abbildung 16: Beispiel für eine raue Bodenoberfläche nach Stoppelbearbeitung mit einem Flügelscharrgrubber ohne nachlaufende Einebnungswerkzeuge. Die Sohle ist für diesen Schartyp in der Regel wellig, aber komplett durchschnitten. Die groben Bodenaggregate erhöhen den Erosionsschutz leicht der gering mit Mulchmaterial bedeckten Fläche.

Im Vergleich anderer Maschinentypen mit dem Grubber zeigte sich hinsichtlich der ebenen Sohlenausprägung ein leichter Vorteil für eine schwere x-förmige Scheibenegge. Dabei tendieren Scheibeneggen dazu, den bearbeiteten Bodenhorizont nicht vollständig aufzulockern (Abbildung 17).



Abbildung 17: Beispiel für eine ebene Oberfläche (geringe Rautiefe), aber bei unvollständiger Bodenlockerung nach der Stoppelbearbeitung mit einer Scheibenegge auf einem Lössboden; Erosionsdisposition ist durch geringe Bodenbedeckung und feine Bodenaggregate hoch

Bei der Rautiefe der Oberfläche ist zu berücksichtigen, dass eine raue Oberfläche mehr Erosionsschutz bietet als eine ebenere. Dies kommt in der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) im Relativen Bodenabtrag (RBA) zum Ausdruck (SCHWERTMANN et al. 1987). Sogenannte Nachläufer wie Walzen, Striegel oder Einebnungsscheiben zur Abstützung der Maschinen oder Planierung der Bodenoberfläche lieferten in Versuchen signifikante Effekte hinsichtlich der Rautiefe der Bodenoberfläche. Die ebenste Bodenoberfläche hinterließ eine Kurzscheibenegge mit Striegel und Walzen als Nachläufer mit 3 cm Rautiefe. Diese geringe Rautiefe kann dabei als „Saatbettqualität“ eingestuft werden.

Aus der Sicht des Bodenschutzes sollte das Einebnen auf das unbedingt erforderliche Maß reduziert werden, auch wenn dabei vom gewohnten Bild einer optisch ansprechenden Ackeroberfläche abweichend gehandelt wird. Neben den Nachteilen eines zu ebenen Ackers mit Blick auf den Erosionsschutz muss auch auf das Nachlassen der Krümelstabilität durch jeden einzelnen Arbeitsgang hingewiesen werden (KÄMMERER 1999). Eine geringe Krümelstabilität fördert die Bodenverschlammung und somit den Oberflächenabfluss von Niederschlagswasser, weil die Wasserinfiltration zurückgeht.

Stroh ließ sich nach den in Tabelle 17 ausgeführten Versuchen mit Grubbern und Scheibeneggen nicht gleichmäßig in den Boden einarbeiten. Häufig blieben mehr als 80 % des vorhandenen Strohs in der Schicht von 0 bis 5 cm Tiefe liegen, selbst wenn 10 bis 15 cm tief gelockert wurde. Trotzdem verblieb nur ein geringer Teil des Strohs direkt auf der Bodenoberfläche, was durch geringe Bedeckungsgrade des Bodens von etwa 30 % zum Ausdruck kam.

Insgesamt führte die Stoppelbearbeitung nicht nur zu ungünstigen Bedingungen in Bezug auf die Stärke des Erosionsschutzes, sondern auch für eine potenziell direkt folgende Aussaat, weil sich Stroh und Stoppeln vorwiegend dicht unter der Bodenoberfläche ansammelten und somit einen Aussaatprozess sowie den folgenden Keimungsvorgang von Saatgut behindern konnten.

Tabelle 17: Maschineneinstellungen und Ergebnisse bei der Stoppelbearbeitung mit unterschiedlichen Maschinen in Versuchen mit Blockanlage bei vier Wiederholungen; R_z = Rautiefe, MW = Mittelwert, Max. = Maximum, n. e. = nicht erhoben

Bodensubstrat Versuchsjahr Stoppellänge	Größe	Einheit	Schartyp am Grubber			Geräte der Betriebe		
			Schar, 180 mm	Schar, 135 mm	Flügel- schar	X-Scheibenegge	Kurzscheibenegge	Kurz- grubber
Löss 2008 15 bis 27 cm	Arbeitstiefe, MW	cm	9 a*	8 a	10 a			
	Arbeitstiefe, Max.	cm	14 a	15 a	14 a			
	Geschwindigkeit	km/h	8,3 a	8,4 a	8,1 a			
	Leistungsbedarf	kW/m	16 b	16 b	20 a			
	R _z , Oberfläche	cm	11 a	11 a	10 a			
	R _z , Sohle	cm	10 a	12 a	5 b			
	Bedeckung, vor	%	91 a	80 a	94 a			
	Bedeckung, nach	%	27 a	24 a	33 a			
	Stroh in 0-5 cm	%	83 a	77 a	80 a			
Löss 2009 26 cm	Arbeitstiefe, MW	cm	8 a		10 a	3 b		
	Arbeitstiefe, Max.	cm	13 a		14 a	5 b		
	Geschwindigkeit	km/h	8,0 a		7,9 a	etwa 10		
	Leistungsbedarf	kW/m	15 a		15 a	n.e.		
	R _z , Oberfläche	cm	15 a		15 a	n.e.		
	R _z , Sohle	cm	11 a		11 a	5 b		
	Bedeckung, vor	%	12 a		5 b	3 c		
	Bedeckung, nach	%	13 b		15 b	31 a		
	Strohanteil in 0-5 cm	%	73 a		81 a	93 a		
Sandiger Boden 2009 17 cm	Arbeitstiefe, MW	cm	8 a		7 a		6 a	
	Arbeitstiefe, Max.	cm	11 a		11 a		9 a	
	Geschwindigkeit	km/h	8,1 b		8,1 b		10,0 a	
	Leistungsbedarf	kW/m	10 b		11 b		14 a	
	R _z , Oberfläche	cm	10 a		11 a		3 b	
	R _z , Sohle	cm	6 a		5 a		4 b	
	Bedeckung, vor	%	63		63		63	
	Bedeckung, nach	%	25 ab		34 a		12 b	
	Stroh in 0-5 cm	%	89 a		98 a		97 a	

Löss 2009 16 cm	Arbeitstiefe, MW	cm	10 a		9 a			4 b
	Arbeitstiefe, Max.	cm	13 a		12 a			9 b
	Geschwindigkeit	km/h	8,1 b		8,0 b			9,5 a
	Leistung	kW/m	16 b		17 b			22 a
	R _z , Oberfläche	cm	10 ab		11 a			7 b
	R _z , Sohle	cm	7 a		5 a			6 a
	Bedeckung, vor	%	97 a		99 a			97 a
	Bedeckung, nach	%	28 b		33 ab			37 a
	Stroh in 0-5 cm	%	65 b		58 b			83 a

* unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede auf einem Standort, Tukey-Test $\alpha = 0,05$

5.7 Gänsefußschar kombiniert mit Scheibensech als Maschinenaufbau für geringe Mischwirkung

Die Ausrüstung eines Grubbers kann auch mit Gänsefußscharen erfolgen. Dieser Schartyp ist dem Flügelschar in der Arbeitsweise ähnlich. Beide Werkzeuge können den Boden komplett durchschneiden. Gänsefußscharen lassen eine ebenere Bearbeitungssohle als Flügelschare erwarten und sind damit für flaches Arbeiten prädestiniert. Der flache Keilwinkel dieses Schares und das Fehlen eines Werkzeuges im mittleren Bereich am Scharstiel verspricht außerdem wenig Mischwirkung in Bezug auf Stroh und Boden. Die günstige Scharform und flaches Arbeiten lassen einen geringen Zugleistungsbedarf erwarten. Um die Mischwirkung der Gänsefußschar weiter zu unterdrücken, wurde im Feldversuch vor jedes Schar zusätzlich ein schweres Scheibensech montiert (Abbildung 18). Der senkrechte Schnitt dieses Sechs im Boden vor jeder Scharspitze sollte dafür sorgen, dass der Boden an dem Scharstiel vorbeifließt und nicht durch den Scharstiel mit dem Stroh gemischt wird. Dieser Maschinenaufbau sollte den besten Fall einer Bodenlockerung im Sinne des Erosionsschutzes darstellen, aber auch technische Einflüsse auf den Erosionsschutz in einer noch breiteren Spanne darstellen, als dies mit den gängigen Maschinen auf dem Markt möglich ist.



Abbildung 18: Scheibenseche am Grubber vor Gänsefußscharen als Versuchsanordnung zur Bodenlockerung mit geringer Bodenwendung.

Mit dieser speziellen Geräteanordnung wurden vergleichende Feldversuche (Nr. 5 und 8) an zwei Orten im Jahr 2010 ausgeführt. An einen Grubber wurden dafür nacheinander sowohl Flügelschar als auch Gänsefußschar mit Scheibensechen angebaut und getestet. Außerdem wurden Scheibeneggen und eine Kreiselegge als Vergleichsvarianten in die Versuche aufgenommen.

Auf dem trockenen Sandboden bestätigte sich die vorhergesagte geringe Mischwirkung der Gänsefußschar-Sech-Kombination. Mit 43 % Bodenbedeckung nach dem Durchzug der Gänsefußschar bei 8 cm Arbeitstiefe war dieser Wert im Vergleich zu einer Kurzscheibenegge (13 %) und einer Kreiselegge (24 %) bei gleicher Arbeitstiefe signifikant am höchsten. Das Flügelschar wurde, gemessen an der Mittelscharspitze, tiefer geführt, um eine komplette Bodenlockerung zu erreichen. Die mittlere Arbeitstiefe lag bei 8 cm. Mit dieser Einstellung wurde die Strohmulchschicht auf das gleiche Niveau abgebaut wie mit der Kreiselegge oder der Kurzscheibenegge. Beim Zugleistungsbedarf lagen Gänsefußschar und Kurzscheibenegge auf dem gleichen niedrigen Niveau. Besonders hoch war der Leistungsbedarf für die Kreiselegge (Tabelle 18).

Im Wesentlichen wurde das Stroh in einer Bodentiefe von 0 bis 5 cm wiedergefunden. Die Kurzscheibenegge erreichte die tiefste Einbringung (Tabelle 19).

Tabelle 18: Mulchbedeckung und Zugleistungsbedarf für verschiedene Geräte-Arbeitstiefen-Kombinationen bei der Stoppelbearbeitung auf sandigem Boden bei einheitlicher Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/h, bei 15 cm hohen Stoppln und 82 % Bodenbedeckung vor der Bearbeitung; Bodenfeuchte 10 %, Porenvolumen 44 % (GD = Grenzdifferenz)

Gerät, Werkzeug	Arbeitstiefe (cm)	Zugleistungsbedarf kW/m, GD LSD-Test 2,84	Mulchbedeckung % Tukey-Test, $\alpha = 0,05$
Grubber, Gänsefußschar, Scheibensech	8	9,6	43 a*
Grubber, Flügelschar	15 (Scharspitze, mittlerer Scharteil) 8 (Mittelwert)	16,2	17 b
Kurzscheibenegge	8	12,1	13 b
Kreislegge	8	28,5 (inklusive Zapfwelle)	24 b

*verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede

Tabelle 19: Tiefenverteilung der Anteile des Strohs im Bodenprofil des sandigen Bodens, LSD-Test mit Bonferroni-Korrektur, $\alpha = 0,05$.

Maschine	Kurzscheibenegge	Grubber Flügelschar	Grubber Gänsefußschar	Kreislegge
Arbeitstiefe	8 cm	15 cm	8 cm	8 cm
Strohanteil in Tiefe bis 5 cm	63b*	88ab	94ab	100a
> 5 cm	36a	12ab	6b	0b

*verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede

Auf dem Lössboden konnte die Arbeitsweise der Gänsefußschare hinsichtlich des Erhalts eines besonders hohen Erosionsschutzes nicht bestätigt werden (Tabelle 20). Die Auswertung von Videosequenzen ergab, dass die Seche die vertikale Bodenbewegung am Scharstil nicht in dem Maße wie erwartet unterdrückten. Schon ein geringer seitlicher Versatz von der Schnittlinie des Sechs und der Scharspitze reichte auf Löss aus, um den Secheinsatz wirkungslos zu machen.

Trotz Vorschnitt wurde der Boden ähnlich stark am Scharstiel nach oben geführt wie am mittleren Doppelherzschar bei den Flügelscharen. Insofern gab es auch keine Unterschiede bei der Mulchbedeckung. Die Arbeitssohle war auffallend eben (Abbildung 19).



Abbildung 19: Raue Oberfläche mit wenig Mulchauflage auf Löss und ebener Bearbeitungssohle nach Stoppelbearbeitung mit Gänsefußscharen und Scheibensechen am Grubber ohne Einebnungswerkzeuge

Die Kreiselegge fiel durch das Hinterlassen einer vergleichsweise hohen Bodenbedeckung von 28 % auf. Dabei arbeitete sie in diesem Versuch mit 4 cm Tiefe auch besonders flach. Die Arbeitssohle war buckelig ausgeprägt (Abbildung 20).

Auch hier ist der Leistungsbedarf für die Kreiselegge mit 37 kW/m Arbeitsbreite besonders hoch.



Abbildung 20: Arbeitsergebnis einer Kreiselegge bei der sehr flachen Stoppelbearbeitung: relativ feine ebene Oberfläche und buckelige Bearbeitungssohle. Die geringe Stroheinarbeitung unterstützt die Erosionsfestigkeit. Die feine Bodenaufbereitung fördert Verschlammung.

Tabelle 20: Zugleistungsbedarf für verschiedene Geräte-Arbeitstiefen-Kombinationen bei der Stoppelbearbeitung auf einem Lössboden bei einheitlicher Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/h (Stoppellänge 14 cm, Bodenbedeckung vor Bearbeitung 57 %, Bodenfeuchte 25 %, Porenvolumen 48 %)

Gerät, Werkzeug	Arbeitstiefe cm	Geschwindigkeit km/h	Zugleistungsbedarf kW/m, GD LSD 5,9; 6,5 für Scheibenegge	Mulchbedeckung % Tukey-Test, $\alpha = 0,05$
Grubber, Gänsefußschar	10	8	16	18 b*
Grubber, Flügelschar	12 (Spitze mittleres Schar)	8	19	16 b
Scheibenegge, X-Form	5	11	18	18 b
Kreiselegge	4	8	37 (inklusive Zapfwelle)	28 a

*verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede

In Bezug auf die Rautiefe der Oberflächen hinterließ der Grubber ohne Nachläufer mit den verschiedenen Schararten auf beiden Substrattypen die höchsten Werte. Die unterschiedliche Scharausrüstung am Grubber wirkte sich auf das Oberflächenprofil nur wenig aus.

Die Scheibeneggen einschließlich ihrer Nachläufer hinterließen die niedrigsten Rautiefen der Bodenoberflächen. Besonders eben hinterließ das Gänsefußschar die Bearbeitungssohlen (Tabelle 21).

Beim Erosionsschutz in der Praxis sollte die Notwendigkeit und Gestaltung der nachlaufenden Stütz- und Einebnungswerkzeuge überprüft werden, um die Rauigkeit des Bodens sowie die Größe der Bodenaggregate zu optimieren. Im Allgemeinen wird nicht auf Walzen verzichtet werden können, weil diese Geräte auch der Tiefenführung der Zinkenwerkzeuge dienen.

Tabelle 21: Rautiefe in cm von Oberfläche und Sohle nach dem Durchgang von verschiedenen Maschinen zur Stoppelbearbeitung

Bodencharakter	Sandig		Schluffig (Löss)	
	Oberfläche	Sohle	Oberfläche	Sohle
Kurzscheibenegge mit Nachläufern	2,7	Nicht erhoben	Nicht eingesetzt	
Scheibenegge	Nicht eingesetzt		5,7	6,6
Grubber, Flügelschar	9,2	6,9	11,0	9,2
Grubber, Gänsefußschar	8,2	1,0	9,7	9,2
Kreiselegge, Rohrstabwälzgegge	3,2	Nicht erhoben	6,3	4,4

6 Diskussion und Schlussfolgerungen

Aus den vorliegenden Ergebnissen lassen sich keine allgemeingültigen Schlussfolgerungen für die Auswahl und Steuerung der Gerätetechnik bei der Stoppelbearbeitung ziehen. Im Hinblick auf den Erosionsschutz muss für alle untersuchten Maschinen mit einem zu intensiven Mulchabbau schon durch einen einzigen Arbeitsgang bei den üblichen Arbeitstiefen zwischen 8 cm bis 20 cm gerechnet werden.

Nur in zwei Fällen von 51 Versuchsvarianten blieben nach einer einfachen Stoppelbearbeitung signifikant mehr als 30 % Bodenbedeckung erhalten. Hierbei handelte es sich um zwei Varianten auf Lössboden, zum einen um einen handelsüblichen Flügelschargarubber mit Nachläufern (3 m Arbeitsbreite, 9 cm Arbeitstiefe, 16 cm Stoppellänge, 9,5 km/h Geschwindigkeit) und zum anderen um eine einfache Scheibenegge ohne Nachläufer (2,5 m Arbeitsbreite, 5 cm Arbeitstiefe, 18,5 cm Stoppellänge, 8 km/h Geschwindigkeit). Die Bedeckungsgrade vor der Bearbeitung betragen 94 bzw. 97 % und nach der Bearbeitung 37 bzw. 48 %.

Eine Mulchschicht mit mindestens 30 % Bodenbedeckungsgrad reicht aus, um den Bodenabtrag durch Niederschlag um die Hälfte gegenüber vollständiger Bedeckung zu reduzieren (Verlustfaktor = 0,5). Dafür werden etwa 5 dt/ha Trockenmasse organische Substanz benötigt. 20 dt/ha Trockenmassen führt zu 50 bis 70 % Bodenbedeckung, wodurch der Bodenabtrag auf unter 8 % gedrückt wird (Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern 2002). Für die Bodenverhältnisse in Sachsen bestätigen Abtragsmessungen von MÜLLER 2009 diese Zusammenhänge. Allerdings wurde hier eine gepflügte Parzelle als Vergleichsgröße genutzt. Nach einem Grubbereinsatz mit 34 % verbliebener Bodenbedeckung mit Winterweizenstroh reduzierte sich der Bodenabtrag von 51 bis 70 % gegenüber der gepflügten Variante. Bei einem simulierten Starkniederschlag von 36 l/m² in 20 min wurden jedoch 87 bis 143 g Boden auf der einen Quadratmeter großen

Testfläche abgetragen. Demgegenüber halbierte eine Direktsaat bei 91 % Bodenbedeckung die Bodenverluste nochmals um 50 %.

Die Arbeitstiefe kam als Steuergröße, um die Mulchauflage über 30 % zu halten, in den Feldversuchen nicht zum Ausdruck. Auch die Beschränkung auf nur einen Arbeitsgang zeigte nicht durchweg Vorteile gegenüber einer Kombination von zwei Arbeitsgängen. Das Aufbrechen und Zerkleinern des Bodens als Gemeinsamkeit aller Maschinen scheint der ursächliche Effekt für die intensive Bodenüberdeckung von Mulchmaterial zu sein. Weiterführend zeigten auch Versuche von WILHELM (2010) zum zweiten Arbeitsgang in der Stoppel auf einem Schluffboden mit einem Grubber, dass Bedeckungsgrade von 30 % nicht zuverlässig erreicht werden.

Der Aufbau einer Werkzeugkombination mit Scheibensechen vor Gänsefußscharen mit dem Ziel, das Stroheinmischen in den Boden weitestgehend zu unterdrücken, erfüllte in den Versuchen nur auf sandigem Boden die Erwartung. Auf Löss konnte der Bodenschutzfaktor mit dieser Werkzeuganordnung dagegen nicht verbessert werden. Beim Einsatz von Gänsefußscharen muss immer deren relativ schwaches Einzugsverhalten für den Einsatz bewertet werden. Dafür sichert dieses Schar ein vollständiges Durchschneiden des Bodenhorizontes und verlangt nur wenig Zugleistung. Die Kombination von Scheibensech und Gänsefußschar erschwert zusätzlich den Einzug der gesamten Werkzeuganordnung, sodass keine Empfehlung dafür ausgesprochen werden kann.

Flügelschargrubber oder Kurzscheibeneggen werden in der Praxis besser akzeptiert als Grubber mit Gänsefußscharen. Dabei wird auch der Nachteil von Kurzscheibeneggen in Kauf genommen, weil der Einzug der Scheibeneggen bei flacher Arbeit nicht immer gegeben ist.

Durch die Überdeckung dieser Unregelmäßigkeiten durch aufgeworfenen Boden wird der Mangel von den Nutzern anscheinend relativ wenig wahrgenommen. Beim Einsatz von Doppelherzscharen sollten diese mit Flügeln ergänzt werden, um das komplette Durchschneiden oder Aufbrechen des Bodenhorizontes abzusichern. Insbesondere für die Unkrautbekämpfung lassen sich darüber Vorteile erzielen. Der Mehrbedarf an Zugleistung für die zusätzliche Bestückung ist nicht unbedingt messbar.

Die grundsätzlich hohen Arbeitsgeschwindigkeiten, die in den Versuchen immer gleich 4 km/h oder größer waren, müssen als weitere Ursache des generell hohen Mulchabbaus in Betracht gezogen werden. Wesentlich langsamer gezogene Geräte sind jedoch nur eine theoretische Möglichkeit Mulchauflagen zu erhalten, denn Flächenleistungen im heutigen Bedarf werden damit keinesfalls abgebildet.

Selbst die Stoppellänge ist nur ein begrenzter Ansatzpunkt, den Erosionsschutz zu verbessern. Außerdem fordern lange Stoppeln an der Bodenoberfläche von den nachfolgenden Arbeitsgängen viel Toleranz für den Strohdurchgang ab, zum Beispiel hinsichtlich des Sävorgangs. Deswegen wird meist vorgeschlagen, Stoppeln und Häcksel extrem kurz zu halten, um die technischen Aussaatbedingungen bei Mulchsaaten zu optimieren (STEMANN 2009). Dem Erosionsschutz ist diese Strategie entgegengerichtet. Sehr feine Mulchpartikel wie zum Beispiel Spreu wurden in den Versuchen umfassend eingemischt. Weil sich längere Strohbestandteile, z. B. Stoppeln von 15 bis 25 cm Länge, in den Versuchen kaum tiefer als 10 cm in den Boden einmischen ließen, bietet sich eher die Strategie an, die Stroheinarbeitung komplett zu vermeiden. Aufgrund der Übertragung von pilzlichen Krankheiten in den Folgekulturen werden dann jedoch unbedingt weite Fruchtfolgen notwendig, was sich genau gegen die herrschenden Trends in der Praxis richtet.

Rein technisch gesehen scheint nach den Versuchsergebnissen das Verfahren Mulchsaat aus Sicht des Erosionsschutzes zunächst wenig entwicklungsfähig. Als Weg der Verfahrensoptimierung bleibt nach Gleichung 2 (S. 17) der Arbeitstiefenbereich mit weniger als 6 cm zu untersuchen übrig. Um wiederholbare Ergebnisse für

diesen Tiefenbereich zu produzieren, werden nur einzeln in der Tiefe geführte Bodenbearbeitungswerkzeuge in Frage kommen. Denn es hat sich gezeigt, dass die gängige Technik bei sehr flacher Einstellung, meist sogar systematisch, unbearbeitete Bodenbereiche zurücklässt. Dies steht zum Beispiel einer optimalen mechanischen Unkrautregulierung bei der Stoppelbearbeitung entgegen und es lassen sich nach dieser Art der Bodenvorbereitung keine gleichmäßigen Aussaatbedingungen erwarten. Bei weniger als 6 cm Arbeitstiefe kommt das Einarbeiten von größeren Strohmenngen von vornherein nicht mehr in Frage, weil dadurch kein funktionierender Saathorizont im Sinne eines Keimbettes hergestellt werden kann. Sehr flach arbeiten zum Beispiel die Geräte Schwerstriegel und Kelly-Egge.

Wird Stroh von einer erosionsgefährdeten Fläche abgeerntet, sollten auf jeden Fall zusätzliche stabilisierende Maßnahmen eingesetzt werden, um den Bodenabtrag zu minimieren. Es bietet sich an, auf die Stoppelbearbeitung zu verzichten oder mit Zwischenfrüchten schnell eine ausreichende Bodenbedeckung zu reproduzieren. Die Auswahl der Zwischenfrüchte richtet sich nach den jeweiligen Standorteigenschaften und der Fruchtfolge. Die Ergebnisse zum Anbau von Zwischenfrüchten aus dem Anbaujahr 2011 (SCHMIDT & GLÄSER 2012) haben gezeigt, dass sich vor allem mit Zwischenfruchtgemengen sichere und wüchsige Bestände etablieren lassen. Mit einem gut entwickelten Zwischenfruchtbestand lässt sich ein hohes Maß an Agrarumweltleistung erzielen.

Als weitere Alternative in der konservierenden Bodenbearbeitung rückt die Streifenbearbeitung der Ackerböden in den Fokus von Praxis und Forschung. Mit dieser Methode lassen sich einige Nachteile der Mulchbodenbearbeitung auf der gesamten Bodenoberfläche abstellen.

Besonders die Qualität des Saatbettes kann mit einer intensiveren streifenweisen Bodenbearbeitung verbessert werden, vor allem, wenn das aufliegende Mulchmaterial aus dem Saatsbereich durch rotierende Rechen entfernt wird und somit keine Mulchmatratze im Saathorizont produziert werden kann.

Letztlich kann nach den vorliegenden Ergebnissen nur empfohlen werden, auch die Bodenbearbeitung ohne Pflug obligatorisch mit einer umgehenden Wiederbegrünung zu kombinieren, um den Boden vor übermäßigen Erosionsvorgängen zu bewahren.

7 Zusammenfassung

In Sachsen wurden von 2008 bis 2011 zwölf Versuche zur Stoppelbearbeitung mit Grubbern, Scheiben- und Kreiseleggen durchgeführt. Ziel war es, Einsatzhinweise für die verschiedenen Maschinentypen zu entwickeln, um auch bei pflugloser Bodenbearbeitung die Gefahr von Bodenerosion weiter zu verringern. Dazu wurde vor allem die Bodenbedeckung mit Mulchmaterial als wichtiger Indikator für den Schutzgrad beobachtet. Zusätzlich wurden Daten zum Einmischen von Stroh in den Boden erhoben, die Ausprägung der Bodenoberflächen und Bearbeitungssohlen ermittelt und der Zuggleistungsbedarf für die Geräte gemessen. Als Varianten wurden verschiedene Maschinen getestet. Dabei kamen auch unterschiedliche Scharausrüstungen am Grubber in die Untersuchungen. Des Weiteren wurden Arbeitstiefen, Stoppellängen und Arbeitsgeschwindigkeiten variiert. Auch Zeitverläufe der Entwicklung von Mulchauflagen über mehrere Monate wurden aufgezeichnet. Die Anlage der Versuche erfolgte mit vier Wiederholungen als Block- oder Spaltanlagen.

Die Ergebnisse zur Bodenbedeckung konnten nur wenig durch Veränderung der Einsatzbedingungen der Stoppelbearbeitungsmaschinen beeinflusst werden. Schon nach einem Arbeitsgang sanken die Bodenbedeckungsgrade vielfach unter die kritische Grenze von 30 % ab, auch wenn dichte Strohaufgaben mit über

90 % Bedeckungsgrad nach der Ernte vorhanden waren. In dieser Hinsicht ließen sich keine gravierenden Unterschiede zwischen den Maschinen feststellen. Selbst die unterschiedlichen Arbeitseinstellungen führten zu keiner klaren Differenzierung in den Arbeitsergebnissen. Dazu wurden z. B. auch die Anstellwinkel, die Arbeitstiefe und die Arbeitsgeschwindigkeit bei einer Scheibenegge verändert. Für die Abhängigkeit des Mulchabbaus von der Ausgangssituation der Mulchauflage nach der Ernte und von der Arbeitstiefe wurden Gleichungen angegeben.

Bei einem zweiten Arbeitsgang in der Stoppel muss nicht immer mit einem weiteren Abbau der Stroh-Mulch-Schicht gerechnet werden. Im Laufe der Zeit vom Sommer bis zum Frühling kann der Schutz des Bodens vor Erosion wieder ansteigen, wenn genügend Unkraut oder Ausfallkorn auflaufen und sich etablieren kann. Flächen mit abgeerntetem Stroh sind einer besonders hohen Erosionsgefahr ausgesetzt, wenn sie bearbeitet werden.

Insgesamt erscheint es sinnvoll, für die Erosionsfestigkeit einer bearbeiteten Fläche eine Aussaat von Zwischenfrüchten vorzusehen, um den Mangel an Mulchmaterial auf jeden Fall ausgleichen zu können.

Das Einmischen von Stroh in den Boden wurde von den Grubbern, Scheiben- und Kreiseleggen eher schlecht ausgeführt. Im Wesentlichen bleibt das Stroh in der Schicht bis 5 cm oder 10 cm im Boden auch bei Arbeitstiefen bis 18 cm liegen. Wird eine vollflächige Bodenbearbeitung benötigt, sind Flügelschare oder Gänsefußschare die beste Wahl. Andere Techniken neigen dazu, den Boden nur unvollständig zu durchschneiden.

Im Zugleistungsbedarf übertrifft vor allem die Kreiselegge alle anderen untersuchten Maschinen. Gänsefußschare liefern in diesem Punkt niedrige Werte und können mit Kurzscheibeneggen konkurrieren. Die Montage von Flügelscharen am Grubber setzt dessen Zugleistungsbedarf allenfalls geringfügig hoch.

8 Literatur

- BRUNOTTE, J. (2007): Konservierende Bodenbearbeitung als Beitrag zur Minderung von Bodenschadverdichtungen, Bodenerosion, Run off und Mykotoxinbildung im Getreide. FAL Braunschweig, Landbauforschung Völknerode Sonderheft 305, 159 S.
- KAEMMERER, A. (1999): Raum-Zeit-Variabilität von Aggregatstabilität und Bodenrauhigkeit. Diss. Univ. TU München.
- Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.) (2002): Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern – Bodenerosion, 2. Auflage. 86 S.
- MCCOOL, D.; HAMMEL, J.; PAPENDICK, R. (1995): Surface Residue Management. In USDA (Hrsg.): Crop Residue Management To Reduce Erosion and Improve Soil Quality. S. 10-16.
- MÜLLER, E. (2009): Optimierung des Erosionsschutzes durch kleinräumige Steuerung der Bodenbearbeitungstiefe im Rahmen konservierender Bodenbearbeitungsverfahren. In: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.): Maßnahmen zur Erosionsminderung im konventionellen und ökologischen Landbau unter Einbeziehung der teilschlagspezifischen Bodenbearbeitung. Schriftenreihe Heft 2/2009, S. 39-71.
- SCHMIDT, A.; GLÄSER, H. (2012): Anbau von Zwischenfrüchten. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.).
- SCHWERTMANN, U.; VOGEL, W.; KAINZ, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Ulmer-Verlag Stuttgart. S.64
- STEMANN, G. (2009): Strohmanagement – Schlüsselrolle in pfluglosen Anbausystemen. In: Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (Hrsg.): Tagungsband zum D.K. Feldtag Perspektiven in der konservierenden Bodenbearbeitung. Kassel, S. 26-31.
- PFORTE, F. (2010): Entwicklung eines Online-Messverfahrens zur Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades bei der Stoppelbearbeitung zu Mulchsaatverfahren. Diss. Univ. Kassel.
- USDA (Hrsg.) (1979): Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook Nr. 537, 69 S.
- WILHELM, B. (2010): Konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau - Analyse einer Verfahrenstechnik im Kontext der Bodenfruchtbarkeit. Diss. Uni. Kassel, 144 S.
- WINNIGE, B.; CORZELIUS, U.; FRIELINGHAUS, M. (1998): Indikation der aktuellen Erosionsgefährdung mit Hilfe der Bodenbedeckung. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 88.

9 Anhang

Tabelle 22: Bodenfeuchte und Porenvolumen in den Versuchen zur Stoppelbearbeitung von 2008 bis 2011

Boden	Jahr	Versuchsnummer	Bodenfeuchte %	Porenvolumen %
Löss	2008	1	23,6	47,1
		2	14,6	53,4
	2010	4	19,7	48,2
		2	14,5	50,2
		7	23,1	49,8
		8	25,3	48,2
2011	11	23,8	48,5	
	12	23,2	50,5	
Sand	2009	3	6,2	43,8
		5	10,7	44,3
	2011	6	10,0	48,9
		9	17,4	41,1
		10	17,9	42,7

Tabelle 23: Ergebnisse des t-Tests zur Abweichung vom Wert 30 % beim Mulchbedeckungsgrad nach der Stoppelbearbeitung (getrennt nach den Ergebnissen auf Lössböden und sandigen Böden, bei Mittelwerten von 28 % bzw. 22 %)

Testwert = 30						
	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	95 % Konfidenzintervall der Differenz	
					Untere	Obere
Löss	-1,076	18	,296	-1,89474	-5,5931	1,8036
Sandiger Boden	-4,932	21	,000	-7,86364	-11,1796	-4,5477

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Martin Hänsel, Ellen Müller, Dr. Walter Schmidt
Abteilung Pflanzliche Erzeugung/Referat Pflanzenbau

Redaktion:

Ellen Müller
Abteilung Pflanzliche Erzeugung/Referat Pflanzenbau
Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen
Telefon: +49 35242 631-7108
Telefax: +49 35242 631-7199
E-Mail: ellen.mueller@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

02.09.2013

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.