



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Streifenbodenbearbeitung vor Zuckerrüben und Körnermais



Schriftenreihe

3

2016

ISSN 1611-4159

Impressum

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: ILT@LfL.bayern.de
Telefon: 08161 71-3650

2. Auflage: Januar 2018

Druck: ES-Druck, 85356 Freising-Tüntenhausen

Schutzgebühr: 10,00 Euro

© LfL



Streifenbodenbearbeitung vor Zuckerrüben und Körnermais

Ergebnisse aus dem Agro-Klima-Forschungsprojekt
Streifenbodenbearbeitung – Strip-Tillage

Projektförderung:

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

**Dr. Markus Demmel¹, Hans Kirchmeier¹,
Benjamin Blumenthal², Dr. Marc Marx², Robert Brandhuber²**

¹LfL-Institut für Landtechnik und Tierhaltung

²LfL-Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Zusammenfassung.....11
2	Einleitung13
3	Stand des Wissens.....14
4	Material und Methoden:.....16
4.1	Betriebe und Standorte16
4.2	Feldversuche, Technik17
4.3	Bodentemperatur und Erosion.....21
4.4	Erträge und ertragsbildende Parameter24
5	Ergebnisse:26
5.1	Feldversuche, Technik26
5.2	Bodentemperatur31
5.3	Infiltration und Bodenerosion35
5.4	Erträge und ertragsbildende Parameter36
5.4.1	Zuckerrüben (Betriebe 1 und 2)36
5.4.2	Körnermais (Betrieb 3).....39
6	Schlussfolgerungen.....44
6.1	Feldversuche, Technik44
6.2	Bodentemperatur und Erosion.....45
6.3	Erträge46
7	Literaturverzeichnis.....47
8	Anhang50

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Vorrangige Motive für die Anwendung von Strip-Tillage in den USA (Quelle: The Report Card :Strip Till Guidelines www.reportcard.wordpress.com).	15
Abb. 2: Lage der Versuchsbetriebe in Bayern	16
Abb. 3: Zwölfreihiges, dreipunktangebautes Streifenlockerungsgerät mit Aggregaten mit Meißelschar und Hohlscheiben (Variante 1, Hersteller Yetter, Typ Maverick®).....	18
Abb. 4: Aggregat des zwölfreihigen aufgesattelten Streifenlockerungsgerätes mit zwei doppelt v-förmig angestellten gewellten Scheibensechen (Variante 2, Hersteller Dawn, Typ Pluribus®)	19
Abb. 5: Streifenbodenbearbeitung in Zwischenfrucht am 01.10.2010, Betrieb 1.....	19
Abb. 6: Zuckerrübensaat in die im Herbst gelockerten Streifen, 30.03.2011, Betrieb 1	20
Abb. 7: Streifenbodenbearbeitung mit Gülleinjektion am 07.04.2011, Betrieb 3.....	20
Abb. 8: Maisaussaat in die Anfang April gelockerten und mit Gülle versehenen Streifen am 20.04.2011, Betrieb 3.....	21
Abb. 9: 10 Messpunkte verteilt über 15 m; Messung in verschiedenen Tiefen; Lockerungsstreifen und unbearbeiteter Steg 18.04.2013; 13:00-15:00 Uhr	22
Abb. 10: 10 Messpunkte verteilt über 15 m; Lockerungsstreifen und unbearbeitet; 18.04.13 13:00-15:00 Uhr, Links der Sensor im Strip-Till-Streifen ohne und rechts mit Stoppelbearbeitung im Herbst.	22
Abb. 11: Kontinuierliche Messung (Datalogger) vom 7.04. -27.04.2014 Links: Strip-Till; rechts: betriebsübliche Mulchsaat mit intensiver Saatbettbereitung	23
Abb. 12: Kontinuierliche Messung (Datalogger) vom 21.03. -16.05.2014 Bild links: Strip-Till, Sensor in der Saatreihe, Bild rechts vorne: Mulchsaat mit (wenig) Saatbettbereitung, Bild rechts hinten: Mulchsaat ohne Saatbettbereitung	23
Abb. 13: Auswirkungen von Streifenbodenbearbeitung zu Mais auf die Bodenerosion durch Wasser – Bodenabtrag 38 mm/20 min (Schmidt 2012).....	24
Abb. 14: Versuchsaufbau beim Abschwemmversuch am 05.06.2012 auf Betrieb 3.....	24
Abb. 15: Handernte der Zuckerrübenparzellen mit Unterstützung der Arbeitsgemeinschaften des Verbandes der Fränkischen Zuckerrübenbauer e.V. und des Verbandes der Bayerischen Zuckerrübenbauer e.V.	25
Abb. 16: Links: Einbalkiger, dreipunktangebauter Rahmen für Yetter Maverick®, jede zweite Reihe an Verlängerungsholmen montiert Rechts: zweibalkiger, aufgesattelter Rahmen für Dawn Pluribus®, jeweils für Zuckerrüben mit 45 bzw. 50 cm Reihenabstand.	26
Abb. 17: Links: Anbau sechsreihiges Streifenbodenbearbeitungsgerät an einem gezogenen Güllefass, Rechts: Anbau sechsreihiges Streifenbodenbearbeitungsgerät an einem selbstfahrenden Ausbringfahrzeug.	27
Abb. 18: Vierreihiges, dreipunktangebautes Streifenbodenbearbeitungsgerät für Demonstrationsversuche des AELF Karlstadt 2010.	27
Abb. 19: Links: 20mm breites Messerschar, Rechts: 40 mm breites Meißelschar.	28

Abb. 20: Links: Streifenlockerung in Zwischenfruchtmischung mit Ramtillkraut (Wuchshöhe etwa 40 cm) am 13.10.2010 auf Betrieb 1, Rechts: Streifenlockerung in Senf (Wuchshöhe etwa 140 cm) am 11.10.2011 Betrieb 2.	29
Abb. 21: Streifenlockerung mit Gülleinjektion mit Zinkengerät Yetter Maverick® in 13-18 cm Tiefe. auf Betrieb 3.	30
Abb. 22: Streifenlockerung mit Gülleinjektion mit Scheibengerät Dawn Pluribus® in 0-15 cm Tiefe. auf Betrieb 3.	30
Abb. 23: Aufnahme der Versuchsfläche mit Streifenbodenbearbeitung mit Gülleinjektion mit einer Wärmebildkamera, 17.04.2014, 15:00 Uhr, Strip-Till Mais, Betrieb 3	31
Abb. 24: Bodentemperaturmittelwerte je Tiefe 13:00 – 15:00 Uhr, 18.04.2013, Betrieb 3	32
Abb. 25: Bodentemperatur an 13 Stellen im Strip-Till-Streifen ohne bzw. mit vorangegangener Stoppelbearbeitung im Herbst am 18.04.2013 13-15 Uhr, Betrieb 3	33
Abb. 26: Vergleich des Verlaufes der Bodentemperatur im gelockerten Streifen und bei Mulchsaat mit intensiver Saatbettbereitung (Grubber, 10 cm tief im Herbst) im Jahr 2014 in Zuckerrüben auf Betrieb 1	33
Abb. 27: Vergleich des Verlaufes der Bodentemperatur im gelockerten Streifen und bei Mulchsaat mit wenig intensiver Saatbettbereitung (Grubber) sowie ohne Saatbettbereitung („Direktsaat“) im Jahr 2014 in Zuckerrüben auf Betrieb 2	34
Abb. 28: Vergleich des Verlaufes der Bodentemperatur zwischen Strip-Till-Streifen und Mulchsaat mit Saatbettbereitung (Kreiselegge) im April 2014 in Mais LVFZ Achselschwang.....	34
Abb. 29: Vergleich des Wasserlaufs im vereinfachten Abschwemmversuch nach 12 Minuten und 200 Litern über eine Breite von 225 cm (Betrieb 3, 05.06.2012).....	35
Abb. 30: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2011 Betrieb 2 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).	36
Abb. 31: Relative bereinigte Zuckererträge (BZE) nach Streifenbodenbearbeitung und betriebsüblicher Bestellung (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) 2010-2014 bei Betrieb 1 und 2 (Bereinigter Zuckerertrag betriebsübliche Bestellung in jedem Jahr und an jedem Ort entspricht 100 %).	39
Abb. 32: Körnermaiserträge Streifenbodenbearbeitung 2010 Betrieb 3 (Mittelwert aus 10 Einzelwerten je Variante).....	40
Abb. 33: Relative Körnermaiserträge nach Streifenbodenbearbeitung und betriebsüblicher Bestellung (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) 2010-2014 bei Betrieb 3 (Körnermaisertrag betriebsübliche Bestellung in jedem Jahr und an jedem Ort = 100 %).	43
Abb. 34: Relative Körnermaiserträge in und neben der Fahrspur nach Streifenbodenbearbeitung und betriebsüblicher Bestellung (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) 2010-2014 bei Betrieb 3 (Körnermaisertrag betriebsübliche Bestellung in jedem Jahr und an jedem Ort = 100 %).	43
Abb. 36: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2010 Betrieb 1 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).	51
Abb. 37: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2010 Betrieb 2 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).	51

Abb. 38: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2011 Betrieb 1 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).	52
Abb. 39: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2011 Betrieb 2 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).	52
Abb. 40: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2012 Betrieb 1 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).	53
Abb. 41: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2012 Betrieb 2 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).	53
Abb. 42: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2013 Betrieb 1 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).	54
Abb. 43: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2013 Betrieb 2 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).	54
Abb. 44: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2014 Betrieb 1 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).	55
Abb. 45: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2014 Betrieb 2 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).	55
Abb. 46: Körnermaiserträge Streifenbodenbearbeitung 2010 Betrieb 3 (Mittelwert aus 10 Einzelwerten je Variante).....	56
Abb. 47: Körnermaiserträge Streifenbodenbearbeitung 2011 Betrieb 3 (Mittelwert aus 10 Einzelwerten je Variante).....	56
Abb. 48: Körnermaiserträge Streifenbodenbearbeitung 2012 Betrieb 3 (Mittelwert aus 10 Einzelwerten je Variante).....	57
Abb. 49: Körnermaiserträge Streifenbodenbearbeitung 2013 Betrieb 3 (Mittelwert aus 10 Einzelwerten je Variante).....	57
Abb. 50: Körnermaiserträge Streifenbodenbearbeitung 2014 Betrieb 3 (Mittelwert aus 10 Einzelwerten je Variante).....	58

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Standortfaktoren auf den Versuchsbetrieben	17
Tab. 2: Feldaufgänge Zuckerrüben nach Streifenbodenbearbeitung und betriebsüblicher Bestellung (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) 2010-2014 bei Betrieb 1/2.	37
Tab. 3: Bereinigte Zuckererträge (BZE) nach Streifenbodenbearbeitung und betriebsüblicher Bestellung (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) 2010-2014 bei Betrieb 1/2.	38
Tab. 4: Feldaufgänge Körnermais nach Streifenbodenbearbeitung und betriebsüblicher Bestellung (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) 2010-2014 bei Betrieb 3.	41
Tab. 5: Körnermaiserträge nach Streifenbodenbearbeitung und betriebsüblicher Bestellung (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) 2010-2014 bei Betrieb 3 (* 2010 und 2011 erhielt „Betriebsüblich“ zusätzlich 40 kg /ha N mineralisch).	42
Tab. 6: Bodenart und Porengrößenverteilung auf den Versuchsschlägen	50

1 Zusammenfassung

Konservierende Bestellverfahren für Reihenfrüchte wie die Mulchsaat ohne Saatbettbereitung bieten ein hohes Maß an Erosionsschutz. Sie sind aber in vielen Regionen Deutschlands wenig verbreitet, auch wenn ein hohes Erosionsrisiko besteht. Als Begründung wird häufig die langsame Bodenerwärmung unter der Mulchdecke und die Notwendigkeit, vor der Saat Gülle einzuarbeiten, genannt.

Mit dem Klimawandel werden allerdings häufiger Starkregenereignisse und Trockenperioden auftreten, so die aktuellen Prognosen. Damit wachsen die Anforderungen an das Erosionsschutzniveau. Auch das Potenzial der Böden, Wasser speichern zu können, muss in Zukunft optimal ausgenutzt werden.

Aus überwiegend in den USA durchgeführten Untersuchungen geht hervor, dass Streifenbodenbearbeitung („Strip-Tillage“ oder „Strip-Till“) die Vorteile einer intensiven Bodenbearbeitung in der Saatreihe mit denen der Direktsaat im Bereich zwischen den Reihen verbinden kann. Das Ergebnis ist ein sehr geringes Erosionsrisiko, eine gute Entwicklung der Bodenstruktur und ein hohes Infiltrationsvermögen für Niederschläge. Zumeist werden höhere Erträge erzielt als bei der Direktsaat.

Auf drei landwirtschaftlichen Betrieben in Bayern wurden in den Jahren 2010-2014 Verfahren der Streifenbodenbearbeitung bei den Reihenkulturen Zuckerrüben und Körnermais im Rahmen von Feldversuchen untersucht, insbesondere die technische Durchführbarkeit, die Vorzüglichkeit von Verfahrensvarianten und die Wirkung auf die Bodentemperaturen, das Pflanzenwachstum und den Ertrag. Die Strip-Till-Varianten wurden verglichen mit dem jeweils betriebsüblichen Verfahren, gekennzeichnet durch eine mehr oder weniger intensive aber durchwegs pfluglose Bodenbearbeitung. Für die Untersuchungen wurden zwei verschiedene, aus den USA importierte Strip-Till-Geräte eingesetzt, eines mit Scheibensechen, eines mit Meißelscharen als Lockerungswerkzeuge. Möglichkeiten zur Applikation von flüssigen organischen Düngern wurden durch Modifikation geschaffen.

Die Strip-Till-Geräte zeigten eine sehr gute Bodenanpassung (Parallelogramm geführt), die auch große Arbeitsbreiten zuließ. Sie konnten vorteilhaft mit hohen Arbeitsgeschwindigkeiten (10-14 km/h) eingesetzt werden. Das Arbeitsergebnis war auch in noch wachsenden Zwischenfruchtbeständen gut, selbst bei Wuchshöhen von bis zu 150 cm. Als Schlüssel für eine störungsfreie Arbeit erwies sich eine angepasste Einstellung der Räumsterne. Verbesserungspotenziale bestehen bei der Bedienfreundlichkeit zur Einstellung der Einzelwerkzeuge (Schneidscheibe, Räumsterne, Lockerungszinken und Hohl-scheiben) und der Arbeitstiefen.

Das absätzbare Verfahren mit getrennten Arbeitsgängen für Streifenbodenbearbeitung (vor Zuckerrüben im Herbst, vor Mais im Frühjahr zusammen mit Einbringen von Gülle) und Einzelkornsaat ermöglicht ideale Arbeitsgeschwindigkeiten für die unterschiedlichen Geräte, es können Verfahren mit maximaler Flächenleistung eingesetzt werden und der Boden kann in der Zwischenzeit abtrocknen und sich absetzen.

Generell ist darauf zu achten, dass die Böden bei der Streifenlockerung eine günstige Bodenstruktur aufweisen und vor allem nicht zu nass sind.

Mit Streifenbodenbearbeitung wurden bei Zuckerrüben auf dem Betrieb mit intensiverer Saatbettbereitung etwas geringere bereinigte Zuckererträge erzielt als in der betriebsüblichen Variante. Auf dem Betrieb mit weniger intensiver betriebsüblicher Saatbettbereitung waren die Erträge bei Streifenbodenbearbeitung (nach Stoppelbearbeitung) dagegen

gleichwertig, allerdings bei insgesamt etwas niedrigerem Ertragsniveau. Innerhalb der Streifenbodenbearbeitungsvarianten erbrachten die Varianten mit Stoppelbearbeitung und Zwischenfruchtanbau durchwegs höhere Erträge als das Verfahren ohne Stoppelbearbeitung (Anlage der Streifen direkt in die Stoppeln). Die unterschiedlichen Gerätetechniken beeinflussten die bereinigten Zuckererträge wenig, mit tendenziellen Vorteilen für das Gerät mit Lockerungsscheiben.

Bei Körnermais wurde die Streifenbodenbearbeitung mit dem Einbringen von Gülle in die Streifen vor Mais kombiniert. Die beste Streifenbodenbearbeitungsvariante erreichte die gleichen Erträge wie die betriebsübliche Mulchsaat mit Saatbettbereitung (Kurzscheibenegge nach Grubberstrich im Herbst). Die beiden Varianten ohne Stoppelbearbeitung fielen ertraglich deutlich ab. Anders als bei Zuckerrüben erwies sich bei Mais die Streifenlockerung mit Zinken als tendenziell vorteilhafter.

Bodentemperaturmessungen belegten die im Frühjahr deutlich bessere Erwärmung im gelockerten Streifen gegenüber dem nicht bearbeiteten Boden zwischen den Saatreihen, dies bis zu einer Tiefe von ca. 10 cm. Stoppelbearbeitung nach der Getreideernte führte im Frühjahr nach der Saat der Reihenkultur im Streifen zu höheren Bodentemperaturen als die Variante ohne Stoppelbearbeitung. Die günstigsten Bedingungen hinsichtlich Bodentemperatur bot der im Frühjahr zur Saatbettbereitung betriebsüblich flächig und intensiv bearbeitete Boden. Die Bodentemperaturen lagen dort noch etwas höher als im Streifen der Strip-Till-Variante.

Ein Versuch zum Abschwemmungsverhalten ergab, dass Oberflächenwasser in Böden mit Strip-Till-Verfahren sehr gut einsickern kann, vergleichbar mit flächendeckenden Mulchverfahren mit geringer Eingriffsintensität. Unter ungünstigen Bedingungen (sehr hoher Wasserzustrom, Anlage der Streifen in Gefällerrichtung und unter nassen Bedingungen) kann es allerdings zu Interflow kommen, also schnellem unterirdischen Abfluss im gelockerten Streifen.

Die Tatsache, dass eine starke Verminderung der Bodenbearbeitungsintensität zwar das Erosionsrisiko bei Starkregen deutlich mindert, dies aber auf Kosten der ansonsten möglichen Erträge, verweist auf die Notwendigkeit, Fruchtfolge und Flurgestaltung in das Vorsorgepaket zum Erosionsschutz mit aufzunehmen.

Insgesamt hat sich Streifenbodenbearbeitung für die Reihenkulturen Zuckerrüben und Mais in der abgeschlossenen Untersuchung für bayerische Verhältnisse als geeignet erwiesen. Besonders vielversprechend ist das Einbringen von Gülle beim Anlegen der Streifen im Frühjahr vor der Maissaat. Mit dem Verzicht auf flächendeckende Gülleausbringung und -einarbeitung wird in erosionsgefährdeten und -verfahrensbedingt - nicht zu steilen Lagen ein hohes Maß an Erosionsschutz erreicht. Die LfL führt diese Untersuchungen in Verbindung mit emissionsarmen und effizienten Güllestrategien weiter.

Streifenbodenbearbeitung erweitert somit das Spektrum konservierender Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren. Die Spezialgeräte sind allerdings aufwändig und teuer (4.000 - 8.000 €/Reihe inklusive Geräterahmen) und eignen sich deshalb vornehmlich für die überbetriebliche Maschinenverwendung, d.h. für Maschinenringe, Lohnunternehmen und Maschinengemeinschaften oder für spezialisierte Großbetriebe.

Erfolgreicher Anbau mit Streifenbodenbearbeitung erfordert, wie bei allen Bestellverfahren mit deutlich reduziertem Bodeneingriff, in besonderer Weise die Berücksichtigung von Standorteigenschaften und Witterungsverlauf, insbesondere mit Blick auf die Auswahl der bestgeeigneten Technik mit optimaler Einstellung deren Komponenten und auf

die Terminierung der Feldarbeiten. Auch Fruchtfolge und Pflanzenschutz müssen zum Bodenbearbeitungsverfahren passen.

Weitere Forschungsarbeiten und die Auswertung von Erfahrungen aus der Praxis werden hilfreich sein, um Landwirte bei ihren Entscheidungen zu geeigneten bodenschonenden und an die zukünftigen Klimabedingungen angepassten Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren zu unterstützen.

2 Einleitung

Die Klimaforschung geht davon aus, dass es in Zukunft auch in Bayern neben einer weiteren Erhöhung der durchschnittlichen Jahrestemperatur zu einer zunehmend ungleichmäßigen Verteilung der Niederschläge mit ausgeprägten Wetterextremen kommen wird. Starkregen und ausgeprägte Trockenphasen werden häufiger auftreten (Umweltbundesamt, 2015). Um die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion unter diesen veränderten Rahmenbedingungen auf möglichst hohem Niveau zu halten, müssen die Böden so bearbeitet und behandelt werden, dass ihr Infiltrations- und Dränvermögen und ihre Fähigkeit, Wasser zu speichern, bestmöglich ausgeprägt ist. In erosionsgefährdeten Lagen wird ein höheres Erosionsschutzniveau erforderlich sein.

Weltweite Untersuchungen belegen, dass nicht wendende Bestellverfahren (pfluglose oder mulchende Bestellverfahren) zu nachweislich höheren Infiltrationsleistungen, besserem Dränvermögen, größerer Wasserspeicherfähigkeit und zu einem höheren Erosionsschutzniveau führen als die wendende Bodenbearbeitung mit ihrem intensiven Eingriff in die Bodenstruktur. Dennoch sind nicht wendende bzw. mulchende Bestellverfahren in Bayern nicht weit verbreitet. Die Gründe hierfür sind vielfältig, sie haben mit den natürlichen Produktionsbedingungen, mit der Agrarstruktur und auch den angebauten Kulturen zu tun.

Technologien zur sicheren Ortung, Führung und Steuerung von Fahrzeugen und Maschinen bieten vielversprechende Anwendungsmöglichkeiten im Ackerbau, die unter dem Begriff „Precision-Farming“ zusammengefasst werden. Mit hoch präzisen, satellitengestützten Ortungssystemen können Fahrwege von Landmaschinen und Lockerungsstränge von Bodenbearbeitungswerkzeugen exakt dokumentiert und jederzeit wieder lokalisiert und angesteuert werden. Dadurch wird es nicht nur möglich, Überlappungen zu vermeiden und Produktionsmittel einzusparen. Hochgenaue automatische Lenksysteme ermöglichen auch neue Ackerbausysteme wie Regelfahrspurverfahren oder die Streifenbodenbearbeitung, die bereits vor mehr als 20 Jahren erstmals diskutiert, jedoch nie in die Praxis überführt werden konnten.

Bei der Streifenbodenbearbeitung werden Kulturen mit größeren Reihenabständen in zuvor (Herbst oder zeitiges Frühjahr) gelockerte Streifen gesät. Auch die mineralische und organische Düngung kann in diese Streifen eingebracht werden. Die Streifenbodenbearbeitung entspricht der Grundbodenbearbeitung bzw. der Saatsbettbereitung. Zwischen den Streifen muss der Boden nicht mehr (tief) gelockert werden.

Erwartet wird, dass die Streifenbodenbearbeitung die Vorteile einer intensiven Bodenbearbeitung im Bereich (Reihe) der Kulturpflanzen mit den Vorteilen der „Nicht-Bearbeitung“ (No Till) zwischen den Pflanzenreihen verbinden kann.

Für das absätzbare, zweiphasige Verfahren, also die zeitliche Trennung von Streifenbearbeitung und Saat, ist die sichere Wiederfindung der linearen Elemente Fahrspur bzw. Lockerungsstrang essenziell. Die Attraktivität der Streifenbodenbearbeitung beruht nicht al-

lein auf der technischen Machbarkeit. Sie verspricht Vorteile bei Ertragssicherheit, Bodenschutz und Klimaanpassung. Auch sind Einsparungen beim Kraftstoffverbrauch und bei der Bodenbearbeitung zu erwarten, weil nicht mehr ganzflächig gelockert werden muss.). Mit verbesserter Bodenstruktur könnten auch die Lachgasemissionen sinken.

In Bayern herrschen andere klimatische Verhältnisse und die Agrarstruktur unterscheidet sich wesentlich von der in den USA. Die Verwundbarkeit des Systems Boden-Pflanze ist aber auch in Bayern auf vielen Standorten mit Blick auf Bodenerosion, Bodenverdichtung und Hitzeperioden in der Vegetationszeit hoch. Die Anbaufläche von Mais mit hohem Erosionsrisiko hat deutlich zugenommen. Der Klimawandel lässt vermehrt Witterungsextreme erwarten. Es besteht deshalb Bedarf, innovative Bewirtschaftungsmethoden zu testen bzw. zu adaptieren. In einem vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten geförderten Forschungsprojekt hat die LfL untersucht, ob Strip-Till-Verfahren unter bayerischen Anbaubedingungen funktionieren, welche technischen und pflanzenbaulichen Probleme auftreten können, wie diese mit Verfahrensanpassungen zu lösen sind und ob die erwarteten Effekte hinsichtlich Bodenerwärmung und Erosionsschutz eintreten. Das Forschungsprojekt der LfL startete mit dem Erntejahr 2009 und endete Ende 2014.

3 Stand des Wissens

Bereits in den Jahren 1984 - 1987 wies Estler (1989) in Untersuchungen in Bayern nach, dass eine streifenweise Bodenbearbeitung entlang der Maisreihe das Problem der langsamen Bodenerwärmung bei der Mulchsaat ohne Saatbettbereitung lösen kann. Wegen des oft feuchten Bodens, der geringen Flächenleistung und der schlechten Bodenanpassung konnte sich die damals praktizierte Frässaat jedoch nicht durchsetzen.

Seit Anfang des neuen Jahrtausends gewinnt insbesondere in den Mais- und Sojaanbaubereichen der USA die Streifenbodenbearbeitung - Strip-Tillage - zunehmend an Bedeutung. Neben Mais und Soja wird das Verfahren auch zu Zuckerrüben und im Baumwollanbau eingesetzt. Zur schnellen Verbreitung hat vor allem die Verfügbarkeit automatischer Lenksysteme für Traktoren beigetragen. Sie sind Voraussetzung dafür, dass die Saatgutablage sicher in den vorgelockerten Bereichen erfolgt. Dazu ist eine absolute Genauigkeit von mindestens +/- 5 cm notwendig, da die bearbeiteten Streifen nur 20 - 25 cm breit sind. Diese Genauigkeit kann mit Lenksystemen mit Realtime Kinematik Differential GPS (RTK-DGPS) erreicht werden. Die in den USA überwiegend eingesetzten Geräte zur Streifenlockerung sind im Kapitel „Methodik“ beschrieben, da diese Technik auch auf den Feldversuchen der LfL eingesetzt wurde.

Die Beweggründe der nordamerikanischen Farmer, Strip-Tillage anzuwenden, sind - neben der technischen Machbarkeit - stagnierende Erträge bei der weit verbreitet praktizierten strikten Direktsaat (No-Till). Vorzüge von No-Till, nämlich hervorragender Erosionsschutz und Konservierung der Bodenfeuchte, werden auch mit Strip-Tillage erreicht (Licht & Al-Kaisi, 2005). Gegenüber Direktsaat zeichnet sich Strip-Tillage jedoch mit schnellerer Bodenerwärmung und höherer biologischer Aktivität in den Lockerungssträngen, besserer Keimung und summa summarum höheren Erträgen (Overstreet & Hoyt, 2008; Morrison, 2002) aus. Die regional unterschiedlichen Hauptmotive zur Anwendung von Strip-Tillage in der Landwirtschaft der USA werden in Abbildung 1 aufgezeigt. Während im Nordosten das schnelle Abtrocknen und die schnellere Bodenerwärmung die größte Rolle spielt, ist es im Regenschatten der Rocky Mountains die bessere Speicherung der begrenzten Niederschläge, im zentralen Mittleren Westen der erhöhte Erosionsschutz und bei den

Dammkulturen im Süden (Baumwolle) die Möglichkeit, gezielt im Bereich der Dämme zu lockern ohne die Dämme, wie nach einer ganzflächigen Bodenbearbeitung, neu aufbauen zu müssen.



Abb. 1: Vorrangige Motive für die Anwendung von Strip-Tillage in den USA (Quelle: The Report Card :Strip Till Guidelines www.reportcard.wordpress.com).

Nash (2010) untersuchte die N_2O -Emissionen bei verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten, tendenziell waren die Lachgasemissionen in der Vegetationsperiode bei Strip-Tillage („deep banded N treatments“) im Vergleich zu No-Till („surface broadcast N treatments“) niedriger. In einer anderen aktuellen Studie (Omonode et al., 2011) wurden bereits bei No-Till-Varianten geringere kumulative N_2O -Emissionen festgestellt als bei Grundbodenbearbeitung mit Pflug oder Grubber, eine Strip-Till-Variante war in diesen Untersuchungen nicht vorhanden.

Auch in **Deutschland** ist die Streifenbodenbearbeitung in den letzten Jahren auf großes Interesse bei Forschung, Landtechnikfirmen, Beratern und Landwirten gestoßen. Es liegen zahlreiche, überwiegend in der landwirtschaftlichen Fachpresse veröffentlichte Berichte über Ergebnisse und Erfahrungen mit Streifenbodenbearbeitung vor. Die ersten Untersuchungen wurden ab 2007 auf dem Ihinger Hof (Universität Hohenheim) mit Zuckerrüben durchgeführt (Hermann, 2008) und ab 2009 auf Mais ausgedehnt (Hermann et al., 2010). Hermann konnte bestätigen, dass sich der Boden im gelockerten Streifen schneller erwärmt als bei der Mulchsaat ohne Saatbettbereitung, wobei der bereinigte Zuckerertrag im Mittel der drei Versuchsjahre 12 % höher war als bei der Mulchsaat (ohne Saatbettbereitung).

Schneider et al. (2009) stellen das große Potential der Streifenbodenbearbeitung beim Erosionsschutz in mitteldeutschen Lösslandschaften heraus, während Kowalewsky (2009) in Niedersachsen eine positive Ertragsreaktion bei einer streifenweisen Einarbeitung der Gülle vor der Saat feststellte.

Bischoff (2012) stellt mit Daten und Erfahrungen von Feldversuchen in Sachsen-Anhalt die Vorteile von Strip-Tillage zum Erosions- und Verdunstungsschutz sowie bei der Vermeidung von Nährstoffverlusten heraus. Er verweist darauf, dass die Streifenbodenbearbeitung dank des spurgetreuen Fahrens mit einem GPS-Lenkungssystem Trennung von Wuchs- und Fahrbereich ermöglicht (CTF-Verfahren).

Im Fokus stehen in Deutschland die klassischen Reihenkulturen Mais und Zuckerrüben, aber auch Raps in weiter Reihe, teils auch Körnerleguminosen und Getreide. Besonderes Interesse findet die Verknüpfung der Streifenbodenbearbeitung mit Reihen- bzw. Unterfußdüngung.

4 Material und Methoden:

4.1 Betriebe und Standorte

Mit drei landwirtschaftlichen Betrieben wurde eine Kooperation vereinbart, um auf deren Flächen Streifenversuche anlegen zu können. Die Betriebe liegen (1) im Landkreis Eichstätt (Fränkische Alb zwischen Donau und Altmühl), (2) im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen (Albanstieg in Donaunähe) und (3) im Landkreis Pfarrkirchen (Tertiärhügelland). Die Betriebe 1 und 2 sind viehlose Marktfruchtbetriebe mit Winterweizen, Raps, Zuckerrüben und z. T. Winterroggen. Betrieb 3 betreibt Bullen- und Hähnchenmast und baut Winterweizen, Raps und Körnermais an (Abb. 2:).

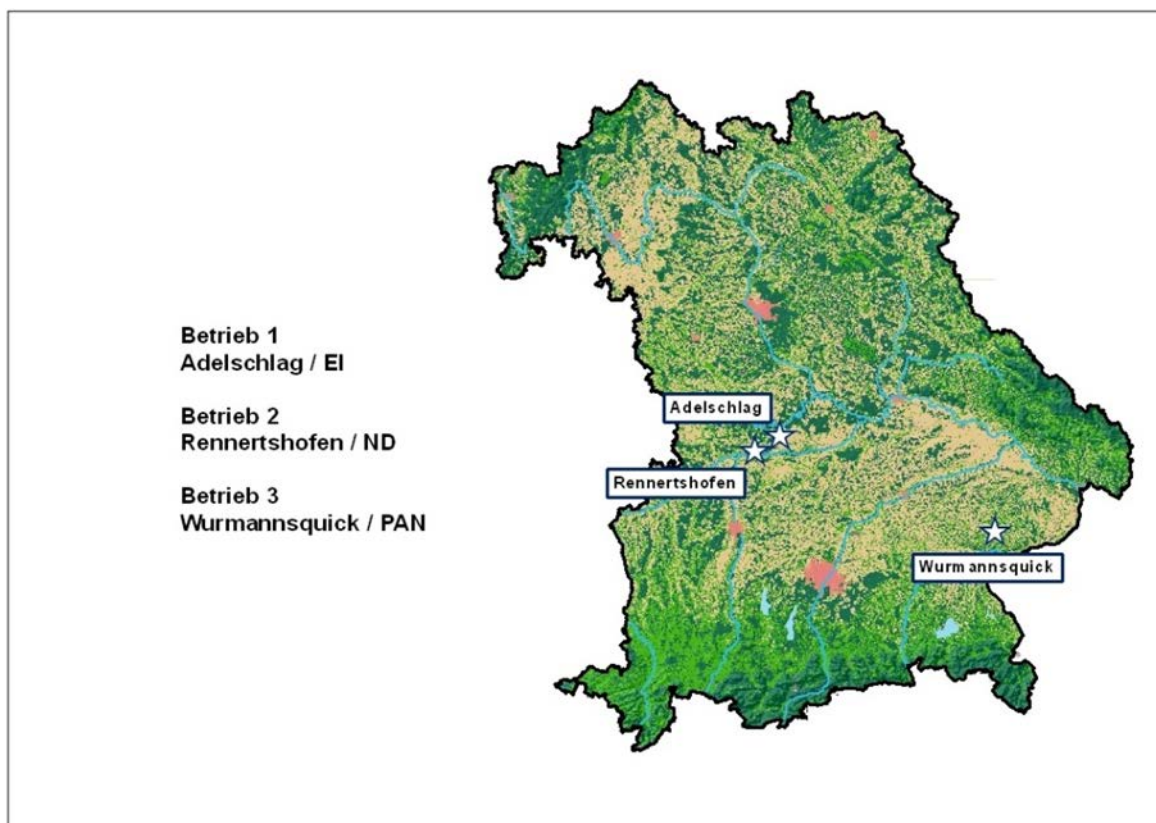


Abb. 2: Lage der Versuchsbetriebe in Bayern

Die drei Betriebe brachten wesentliche Voraussetzungen für die Durchführung der Versuche mit: pfluglose Bodenbearbeitung, Erfahrungen mit GPS-Ortung und automatischen Lenksystemen sowie Interesse an einer Weiterentwicklung ihres Ackerbaumanagements in Richtung Streifenbodenbearbeitung bei Reihenkulturen. Aufbauend auf die bereits vorhandene Technik wurden alle relevanten Traktoren - soweit noch nicht geschehen - mit hochgenauen Lenksystemen (RTK DGPS) aus- bzw. aufgerüstet. Dabei kamen sowohl Lenksysteme zum Einsatz, die direkt in die Lenkhydraulik eingreifen als auch universelle Nachrüstlösungen (für ältere Fahrzeuge). Auf dem Betrieb 1, der bei der betriebsüblichen Mulchsaat der Zuckerrüben die Saatbettbereitung sehr intensiv durchführt, war die Nach-

rüstung der Einzelkornsämaschine mit Doppelscheibenscharen für die Aussaat in die gelockerten Streifen erforderlich.

Die Standortbedingungen für die Betriebe gibt Tab. 1 wieder.

Tab. 1: Standortfaktoren auf den Versuchsbetrieben

Ort	Höhe ü. NN, m	Bodenart	LfL-Klimastation	Mittlere Jahrestemperatur, °C, (2008-2014)	Mittlerer Jahresniederschlag, mm (2008-2014)
Adelschlag Betrieb 1	430	Schluffiger Lehm	Häringhof	8,7	708
Rennertshofen Betrieb 2	450	Schluffiger Lehm	Burgheim	8,7	695
Wurmannsquick Betrieb 3	560	Stark lehmiger Sand	Frieding	8,9	891

Die Böden der Versuchsfelder sind durchwegs tiefgründig und insbesondere bei Betrieb 1 und 2 durch Lössüberdeckung geprägt. Vorherrschende Bodenart ist schluffiger Lehm (Lu) bei Betrieb 1, schluffiger Lehm bis mittel schluffiger Ton (Lu, Tu3) bei Betrieb 2 und stark lehmiger Sand bis schwach toniger Sand (Sl4, St2) bei Betrieb 3. Die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (jeweils für 1 m Tiefe berechnet) liegt bei Betrieb 1 bei ca. 150 bzw. 200 mm, bei Betrieb 2 bei ca. 160 mm und bei Betrieb 3 bei ca. 190 bzw. 160 mm und ist jeweils als hoch einzustufen.

Detaillierte bodenphysikalische Kenndaten der Versuchsfelder auf den drei Betrieben zeigt Tab. 6 im Anhang. Eine intensive Beprobung fand im Jahr 2013/14 statt.

4.2 Feldversuche, Technik

In den Strip-Tillage-Versuchen kamen zur Streifenlockerung zwei unterschiedliche Werkzeugkombinationen aus den USA zum Einsatz. Zu Projektbeginn war diese Technik in Europa nicht verfügbar und wurde deshalb direkt importiert. Die Werkzeugkombinationen bestehen aus vorauslaufenden Schneidscheiben zum Trennen des organischen Materials und einem Paar Räumsternen, die wie ein Schneepflug alles Pflanzenmaterial aus dem etwa 20 cm breiten Bearbeitungsbereich entfernen. Die eigentliche Lockerung erfolgt bis in eine Tiefe von 15 - 20 cm, in Variante 1 mittels eines Meißelschars, wobei ein Paar Hohl-scheiben verhindert, dass die aufgeworfene Erde aus dem Lockerungsbereich herausgeworfen wird (Abb. 3).

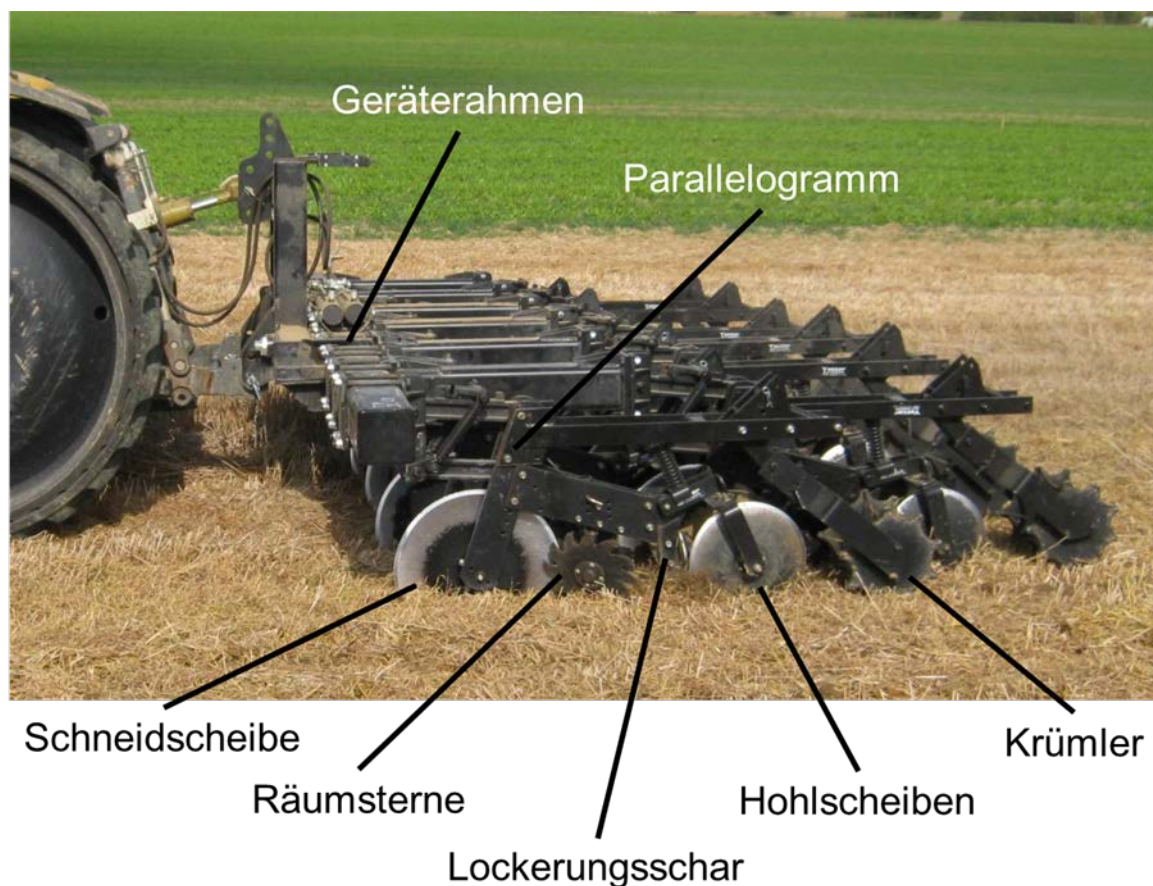


Abb. 3: Zwölfreihiges, dreipunktangebautes Streifenlockerungsgerät mit Aggregaten mit Meißelschar und Hohlscheiben (Variante 1, Hersteller Yetter, Typ Maverick®)

In Variante 2 werden zwei doppelt V-förmig angestellte und gewellte Scheibenseche zur Lockerung eingesetzt. Den Abschluss bildet jeweils eine Art Krümelwalze, welche die aufgeworfene Erde etwas zerkleinern und rückverfestigen soll (Abb. 4).

Beide Werkzeugkombinationen sind Parallelogramm geführt und weisen Gewichte zwischen 150 und 300 kg pro Reihe auf. Sie wurden an in Deutschland eigens gefertigte 4,5 bzw. 6 m breite Geräterahmen montiert.

Auf den Marktfruchtbetrieben 1 und 2 wurden mit den beiden unterschiedlichen Lockerungsaggregaten (Scheiben und Zinken) Streifen in 45 bzw. 50 cm Abstand für die Rübensaat angelegt. Die Lockerung erfolgte im Herbst direkt in die Getreidestoppeln der Vorfrucht oder nach einem Grubberstrich zur Stoppelbearbeitung mit Zwischenfruchtaussaat (Abb. 5).

Ohne weitere Vorarbeit erfolgte die Rübensaat mit Einzelkornsäegeräten mit Scheibenscharen in die Lockerungsstreifen (Abb. 6). Um die erzeugten Lockerungsstreifen exakt zu treffen, wurden die Spuren beim Lockern mit hochgenauen, RTK basierten automatischen Lenksystemen auf den Traktoren angelegt und aufgezeichnet, an den Sätraktor mit Speicherkarte übertragen und wieder exakt abgefahren.

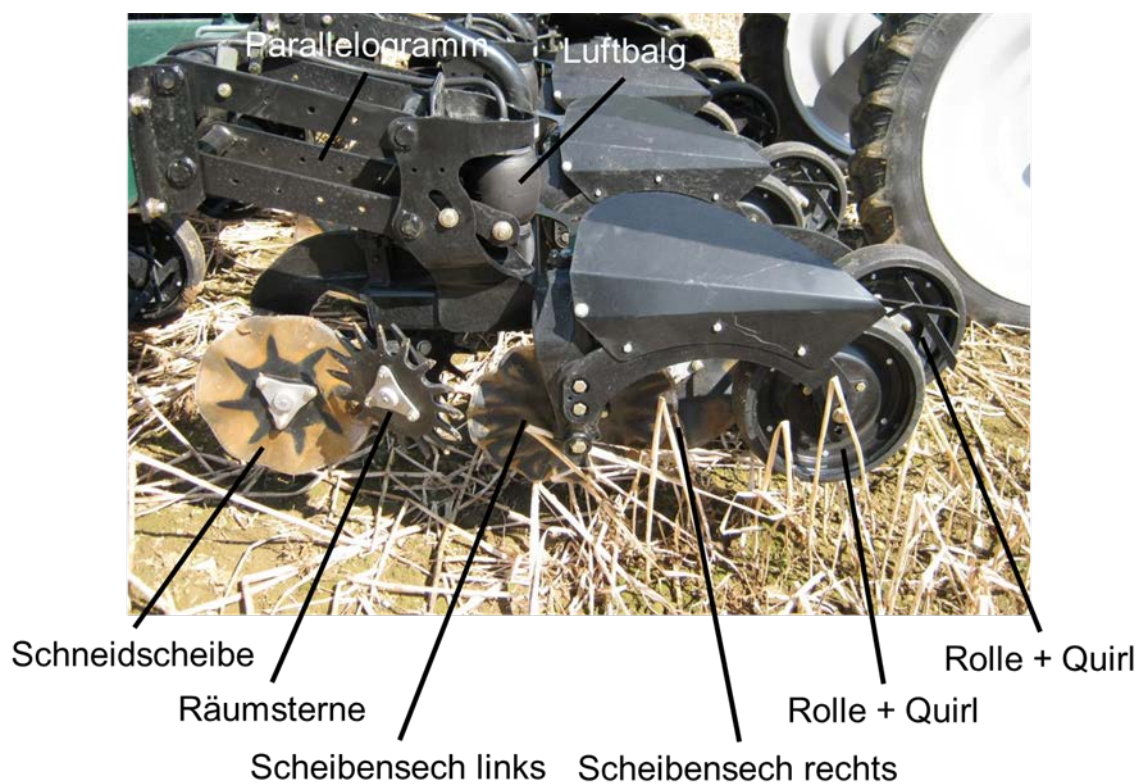


Abb. 4: Aggregat des zwölfreihigen aufgesattelten Streifenlockerungsgerätes mit zwei doppelt v-förmig angestellten gewellten Scheibensechen (Variante 2, Hersteller Dawn, Typ Pluribus®)



Abb. 5: Streifenbodenbearbeitung in Zwischenfrucht am 01.10.2010, Betrieb 1



Abb. 6: Zuckerrübensaat in die im Herbst gelockerten Streifen, 30.03.2011, Betrieb 1

Auf Betrieb 3 wurde die Streifenbodenbearbeitung im Frühjahr mit der Ausbringung von 20 - 25 m³/ha Gülle etwa 14 Tage vor der Maisaussaat kombiniert (Abb. 7) und (Abb. 8). Dazu wurde an den Heckkraftheber des Güllefasss ein 4,5 m breiter Geräterahmen mit 6 Werkzeugeinheiten im Abstand von 75 cm gekoppelt. Auch hier wurden die beiden unterschiedlichen Werkzeugeinheiten verglichen. Die Streifenbodenbearbeitung im Herbst, die sich bei den Rüben bewährt hat, kommt wegen der gleichzeitigen Ausbringung von Gülle nicht in Betracht.



Abb. 7: Streifenbodenbearbeitung mit Gülleinjektion am 07.04.2011, Betrieb 3



Abb. 8: *Maisaussaat in die Anfang April gelockerten und mit Gülle versehenen Streifen am 20.04.2011, Betrieb 3*

4.3 Bodentemperatur und Erosion

Der Schwerpunkt der bodenphysikalischen Untersuchungen lag auf der Untersuchung der Bodenerwärmung im bearbeiteten Streifen und im unbearbeiteten Zwischenraum und dem Vergleich der Temperaturentwicklung mit den betriebsüblichen Varianten Mulchsaat mit Saatbettbereitung, wobei auch die unterschiedliche Intensität der Saatbettbereitung auf den beiden Betrieben mit Zuckerrüben (Betrieb 1 und 2) Berücksichtigung fand.

Hierzu wurden mit speziellen Mini-Dataloggern (HOBO 4-Chanel Analog Data Logger UX120-006M mit Sensoren TMC20-HD und TMC50-HD) kontinuierliche Messungen in zwei Tiefen über mehrere Wochen durchgeführt (Abb. 11, Abb. 12). Zu bestimmten Zeiten wurden zusätzlich Messreihen mit Einzelmessungen (Dostmann electronic P 700 mit Messfühler PT 100) über mehrere Stunden erstellt (Abb. 9, Abb. 10).

Darüber hinaus wurde im Mais auf Betrieb 3 in einem vereinfachten Abschwemmversuch im Jahr 2012 untersucht, ob das am Standort erreichbare Erosionsschutzniveau mit den Ergebnissen der Messungen des Landesamtes für Geologie, Landwirtschaft und Forst in Sachsen übereinstimmt (Schmidt, 2011, Abb. 13).

Während bei den Untersuchungen in Sachsen über einen Kleinregner 38 mm Niederschlag innerhalb von 20 Minuten aus 2 m Höhe auf eine Fläche von 1 m² appliziert wurden, wurden beim vereinfachten Abschwemmversuch aus einem großen Kunststoffbehälter 200 l Wasser über eine Verteilleitung mit gleichverteilten Ablassbohrungen auf 225 cm Breite innerhalb von 12 Minuten abgelassen (Abb. 14). Die Methode orientiert sich an einer Veröffentlichung von Leys et al. (2010).



Abb. 9: 10 Messpunkte verteilt über 15 m; Messung in verschiedenen Tiefen; Lockerungsstreifen und unbearbeiteter Steg 18.04.2013; 13:00-15:00 Uhr



Abb. 10: 10 Messpunkte verteilt über 15 m: Lockerungsstreifen und unbearbeitet; 18.04.13 13:00-15:00 Uhr, Links der Sensor im Strip-Till-Streifen ohne und rechts mit Stoppelbearbeitung im Herbst.



Abb. 11: Kontinuierliche Messung (Datalogger) vom 7.04. -27.04.2014 Links: Strip-Till; rechts: betriebsübliche Mulchsaat mit intensiver Saatbettbereitung

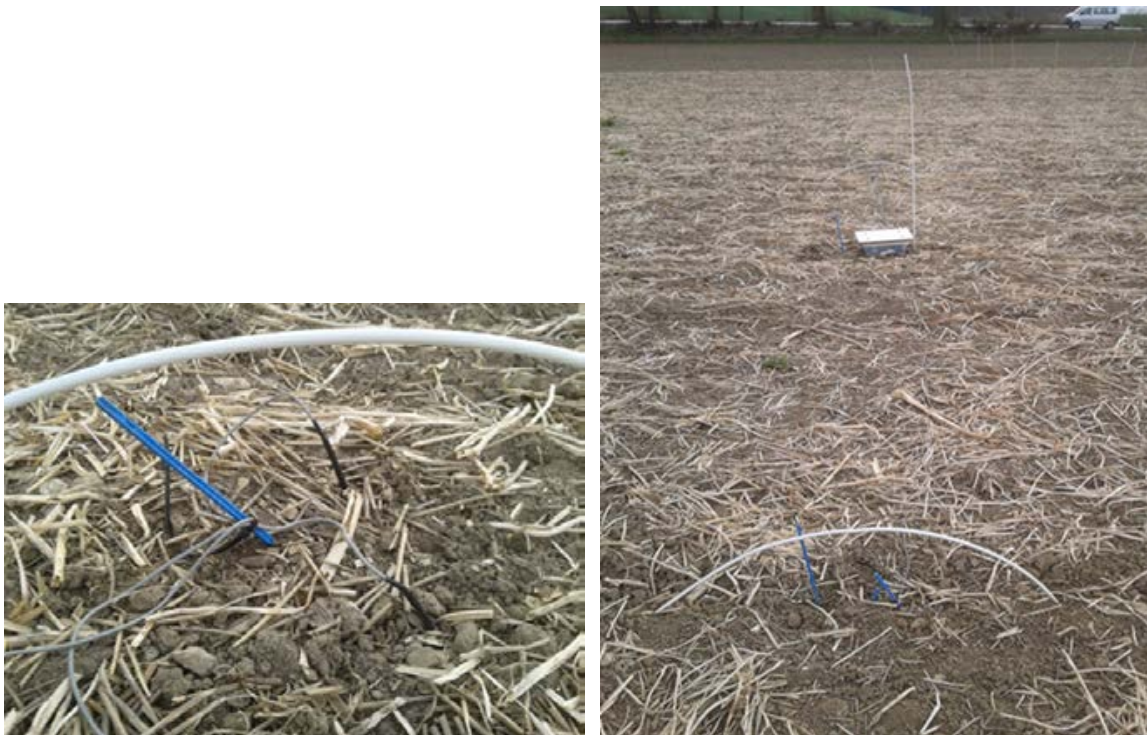


Abb. 12: Kontinuierliche Messung (Datalogger) vom 21.03. -16.05.2014 Bild links: Strip-Till, Sensor in der Saatreihe, Bild rechts vorne: Mulchsaat mit (wenig) Saatbettbereitung, Bild rechts hinten: Mulchsaat ohne Saatbettbereitung

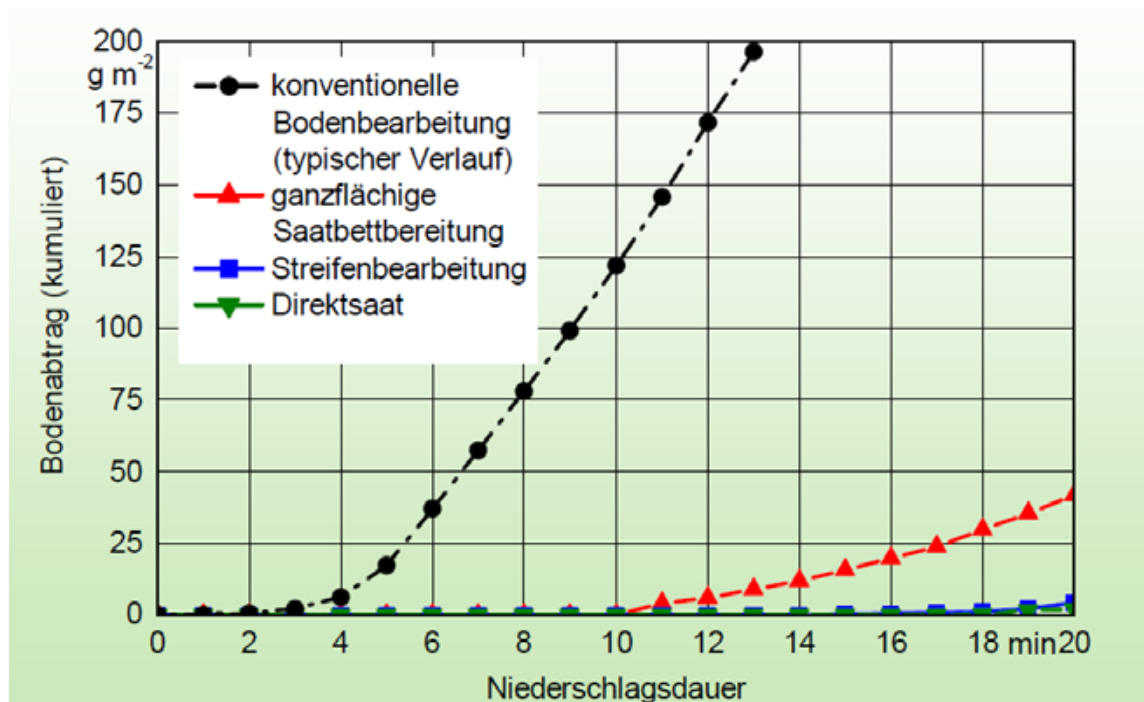


Abb. 13: Auswirkungen von Streifenbodenbearbeitung zu Mais auf die Bodenerosion durch Wasser – Bodenabtrag 38 mm/20 min (Schmidt 2012)



Abb. 14: Versuchsaufbau beim Abschwemmversuch am 05.06.2012 auf Betrieb 3

4.4 Erträge und ertragsbildende Parameter

Sowohl bei Zuckerrüben (Betrieb 1 und 2) als auch bei Körnermais (Betrieb 3) wurden vier Versuchsvarianten (zwei Geräte, jeweils direkt in die Stoppel und nach einer Stoppel-

bearbeitung im Herbst mit fallweiser Zwischenfruchtbestellung) mit der betriebsüblichen mulchenden Bestellung (Mulchsaat mit/ohne Saatbettbereitung) verglichen.

Bei den Zuckerrüben wurden dazu pro Variante und Jahr mittels Handernte jeweils 10 m² in vierfacher Wiederholung geerntet (Abb. 15). In der Zuckerfabrik (Südzucker Ochsenfurt) wurden sowohl der Rohertrag als auch die üblichen Parameter wie rel. Zuckergehalt und Zuckerertrag ermittelt.



Abb. 15: Handernte der Zuckerrübenparzellen mit Unterstützung der Arbeitsgemeinschaften des Verbandes der Fränkischen Zuckerrübenbauer e.V. und des Verbandes der Bayerischen Zuckerrübenbauer e.V.

Beim Körnermais wurde ebenfalls eine Handbeerntung (Kolben) mit je 1,5 m² durchgeführt. Hier wurde zwischen dem befahrenen und unbefahrenen Reihen unterschieden und es wurden getrennt jeweils 10 Wiederholungen je Variante und Jahr geerntet. Anders als bei Rüben wird vor Mais im Frühjahr Gülle ausgebracht; dabei können Bodenverdichtungen entstehen, die in den betroffenen Maisreihen Unterschiede im Feldaufgang und im Ertrag hervorrufen. Die Kolben wurden an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft getrocknet und dann gedroschen.

5 Ergebnisse:

5.1 Feldversuche, Technik

Aus den USA wurden im Jahr 2009 jeweils 12 Streifenbodenbearbeitungs-Reiheneinheiten mit Zinken (Yetter Maverick®) und mit Lockerungsscheiben (Dawn Pluribus®) gekauft. Entsprechende Geräterahmen konnten nicht in den USA beschafft werden, da die dort gültigen gesetzlichen Regelungen Straßenfahrt mit bis zu 450 cm Außenbreite zulassen. Für die unterschiedlichen Untersuchungen wurden deshalb eigene Rahmen mit 300 cm, 450 cm und 600 cm Breite gebaut, die beiden letzten hydraulisch klappbar.

Die für das Forschungsvorhaben in den USA beschafften Strip-Tillage-Einheiten sind ursprünglich für Reihenweiten von 75 cm (30“) konstruiert. Es war nicht möglich sie für Reihenweiten von 45 und 50 cm (Zuckerrüben) direkt nebeneinander an einem Geräteholm anzuordnen. Entsprechend wurde jedes zweite der leichteren Yetter Elemente (Gewicht pro Reihe etwa 150 kg) durch 100 cm lange Holme nach hinten versetzt angeordnet. Bei den schwereren Dawn Elementen (300 kg pro Reihe) wurde ein aufgesattelter Geräterahmen mit zwei Geräteholmen im Abstand von 160 cm gebaut, an denen die Elemente versetzt angebaut werden konnten (Abb. 16).



Abb. 16: Links: Einbalkiger, dreipunktangebauter Rahmen für Yetter Maverick®, jede zweite Reihe an Verlängerungsholmen montiert Rechts: zweibalkiger, aufgesattelter Rahmen für Dawn Pluribus®, jeweils für Zuckerrüben mit 45 bzw. 50 cm Reihenabstand.

Für die Streifenbodenbearbeitung mit Gülleinjektion zu Mais wurden 6 Reiheneinheiten an einen klappbaren, dreipunktangebauten einbalkigen Rahmen direkt angebaut. Der Rahmen trug auch den Rotationsverteiler zur Verteilung der Gülle auf die 6 Reihen. Das gesamte Gerät wurde entweder in die Dreipunkthydraulik eines angehängten Güllefasses (2010-2012) oder an ein selbstfahrendes Ausbringfahrzeug für Gülle (2103-2014 Claas Xerion®) angebaut (Abb. 17).



Abb. 17: Links: Anbau sechsreihiges Streifenbodenbearbeitungsgerät an einem gezogenen Güllefass, Rechts: Anbau sechsreihiges Streifenbodenbearbeitungsgerät an einem selbstfahrenden Ausbringfahrzeug.

Zur Unterstützung von Demonstrationsvorhaben an unterschiedlichen Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Bayern wurden auch immer wieder Streifenbodenbearbeitungsgeräte mit vier Reihen an einem 3 m breiten Rahmen aufgebaut (Abb. 18)



Abb. 18: Vierreihiges, dreipunktangebautes Streifenbodenbearbeitungsgerät für Demonstrationsversuche des AELF Karlstadt 2010.

Die Streifenbodenbearbeitungsgeräte wurden mit typischen Arbeitstiefen von 15-18 cm eingesetzt, vereinzelt auch bis 20 cm, jedoch nie tiefer. Grund hierfür waren Beratungsempfehlungen aus den USA, die Strip-Tillage als intensive Saatbettbereitung (intensive seedbed preparation) einordnen und von einer Bearbeitung tiefer als 20 cm (8“) dringend abraten.

Die beiden unterschiedlichen Typen von Streifenbodenbearbeitungsgeräten funktionierten von Anfang an ohne größere Probleme. Es stellte sich aber schnell heraus, dass es für eine qualitativ hochwertige Arbeit erforderlich ist, die unterschiedlichen Werkzeuge in den Reiheneinheiten passend einzustellen. Hier spielen die Räumsterne eine Schlüsselrolle. Sie

sollen ausschließlich Pflanzenmaterial aus dem Lockerungsbereich herausarbeiten. Bei zu tiefer Einstellung greifen sie zu aggressiv in den Boden ein und bewegen Boden nach außen. Die Arbeitstiefeinstellung der Räumsterne erfolgt beim Yetter Maverick® mittels Steckstiften in einer Lochkulissee, bei Dawn Pluribus® mittels Drehrad und Gewindespindel. Beides ist zeitaufwändig und nicht komfortabel, besonders wenn es gilt, 12 Reihen einzustellen. Um die Geräte schnell und einfach an unterschiedliche Einsatzverhältnisse (Bodenverhältnisse, Zwischenfrüchte) anpassen zu können, sollte die Arbeitstiefe von der Traktorkabine aus verstellt werden können, am besten in Kombination mit einer Verstellung der Auflagekräfte (Be- und Entlastung). Erste Lösungen sind seit 2013 auf dem Markt verfügbar (SLY france Stripcat II®, Dawn Pluribus®).

Entscheidend für die Wirkung der Bodenlockerung erwies sich beim Gerät mit Lockerungszinken (Yetter Maverick®) die Form des Zinkens bzw. des Schar. Die Schare sollen den Boden aufbrechen, aber kein Bodenmaterial von unten nach oben fördern. Sie sollen auf keinen Fall nur einen Schlitz schneiden. Für die Versuche standen drei Zinken- bzw. Scharformen zur Verfügung, ein 20 mm schmales „Messerschar“ und ein 40 mm breites Meißelschar ohne bzw. mit Güllerohr am Rücken des Zinken (Abb. 19).



Abb. 19: Links: 20mm breites Messerschar, Rechts: 40 mm breites Meißelschar.

Außer bei extrem trockenen Bodenbedingungen führt das Messerschar nur zu Schlitzern im Boden. Deshalb wurde ausschließlich das 40 mm breite Meißelschar eingesetzt.

Die Streifenlockerungsversuche erfolgten nicht nur direkt in die Stoppeln der Vorfrucht sondern auch nach Stoppelbearbeitung kombiniert mit einer Zwischenfruchtaussaat, dann in die wachsenden Zwischenfrüchte im Herbst oder in die abgefrorenen Zwischenfrüchte im Frühjahr (Abb. 20).



Abb. 20: Links: Streifenlockerung in Zwischenfruchtmischung mit Ramtillkraut (Wuchshöhe etwa 40 cm) am 13.10.2010 auf Betrieb 1, Rechts: Streifenlockerung in Senf (Wuchshöhe etwa 140 cm) am 11.10.2011 Betrieb 2.

Besonders bei der Arbeit in Zwischenfrüchten ist die richtige Einstellung der Räumsterne Bedingung für eine verstopfungsfreie Arbeit. Darüber hinaus hat sich herausgestellt, dass auch ein bestimmter Bodenwiderstand für eine störungsfreie Funktion erforderlich ist. Ähnlich wie bei Pflügen führt ein zu lockerer Boden zum Schieben anstatt zum Aufbrechen des Bodens und bei entsprechendem Pflanzenmaterial auf der Bodenoberfläche zu Verstopfungen. Hier hat sich das Streifenbodenbearbeitungsgerät mit Lockerungsscheiben (Dawn Pluribus®) als empfindlicher erwiesen als das Gerät mit Lockerungszinken. Die Erklärung hierfür dürfte in der Tatsache liegen, dass die gewellten und doppelt angestellten Lockerungsscheiben sich drehen müssen, um den Boden anzuheben und zu bewegen.

Generell lässt sich feststellen, dass bei den engen Reihenabständen von 45 bzw. 50 cm die Strohräumer dazu neigen, loses Material (Stroh, Spreu) in den benachbarten Lockerungstreifen zu werfen. Dies hat zur Folge, dass die Streifen mit Material bedeckt sein können, im Extremfall kam es zu Verstopfungen. Ursache hierfür ist wiederum die ursprüngliche Konstruktion der Geräte für 75 cm Reihenabstand. Von der Einzelkornsätechnik für Engreihen mit 37,5-50 cm Reihenweite in den USA (Narrow row planter 15-22“ row width) sind modifizierte Räumsterne mit spitzerem Anstellwinkel bekannt, die das organische Material weniger weit werfen. Erste Geräte wie das SLY france Stripcat II® verwenden bereits diese Bauelemente.

Die beiden verwendeten Streifenlockerungsgeräte unterscheiden sich auch grundlegend bei der Injektion der Gülle. Durch die unterschiedlichen Funktionsprinzipien erfolgte die Gülleinjektion auf verschiedene Art und Weise und in unterschiedlichen Tiefen. Während durch das auf der Rückseite des Zinken mit Meißelschar des Yetter Maverick® angeordnete Auslaufrohr die Gülle als „konzentrierter“ Strang auf eine Tiefe von 13-18 cm abgelegt wird (Abb. 21), wird der flüssige Wirtschaftsdünger beim Dawn Pluribus® in das gesamte, durch die Lockerungsscheiben bearbeitete Erdband in eine Tiefe von 0-15 cm eingemischt (Abb. 22). Neuere Untersuchungen (Bischoff 2015, Laurenz 2015) berichten von der Vorzüglichkeit einer Unterflur-Düngung mit flüssigen Wirtschaftsdüngern im eng begrenzten (konzentrierten) Band etwa 7 cm unterhalb des Saatkorns, um die Stickstoffeffizienz zu steigern.



Abb. 21: Streifenlockerung mit Gülleinjektion mit Zinkengerät Yetter Maverick® in 13-18 cm Tiefe. auf Betrieb 3.

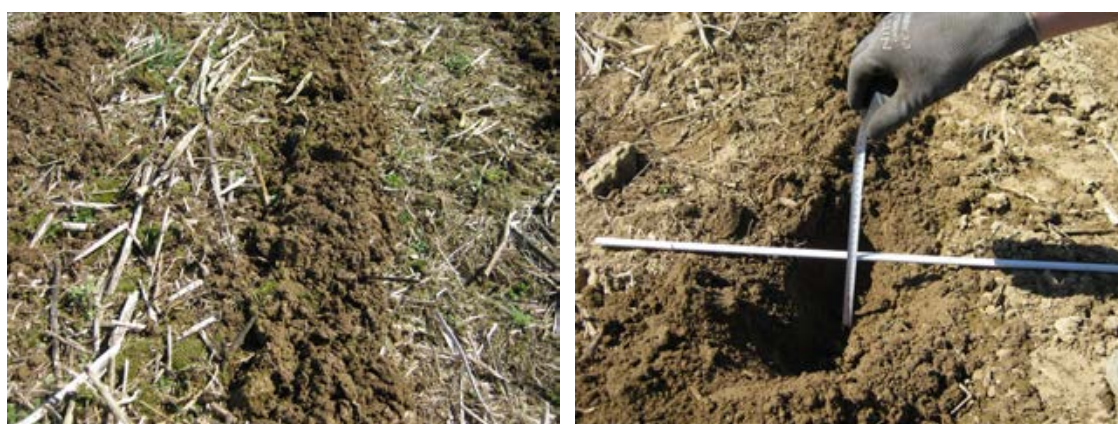


Abb. 22: Streifenlockerung mit Gülleinjektion mit Scheibengerät Dawn Pluribus® in 0-15 cm Tiefe. auf Betrieb 3.

Aufbauend auf die bereits vorhandene Technik wurden - soweit noch nicht geschehen - alle relevanten Traktoren mit hochgenauen Lenksystemen (RTK DGPS) aus- bzw. aufgerüstet. Dabei kamen sowohl Lenksysteme zum Einsatz, die direkt in die Lenkhydraulik eingreifen als auch universelle Nachrüstlösungen (für ältere Fahrzeuge). Es wurde aber weder eine passive noch eine aktive Gerätesteuerung eingesetzt. Auf jedem Betrieb kam ein Lenksystem eines anderen Herstellers zum Einsatz, innerhalb eines Betriebes jedoch nur jeweils ein Fabrikat. Die Korrektursignale entstammten auf Betrieb 1 von einer lokalen Feststation übermittelt durch Funk (2 m Band), auf Betrieb 2 von einer benachbarten Feststation übermittelt durch Internet und Funk und auf Betrieb 3 von einem Referenzstationsnetzwerk übermittelt durch Mobilfunk GSM:

Die Genauigkeit kann grundsätzlich als ausreichend für die absätzigte Streifenbodenbearbeitung angesehen werden. Es zeigte sich jedoch, dass Lösungen mit elektromechanischem Eingriff in die Lenkung (Elektromotor am Lenkrad) und ohne Lenkwinkelsensor mit sehr viel mehr Lenkausschlägen arbeiten, damit deutlich unruhiger und mit mehr Abweichungen als Systeme mit elektrohydraulischem Lenkventil und Lenkwinkelsensor.

Da die Versuchsflächen zumeist wenig seitliche Hangneigung aufwiesen, die Einzelkornsäugeräte in der Dreipunkthydraulik angebaut waren und die größte Arbeitsbreite 6 m betrug, war eine zusätzliche Gerätelenkung in den Versuchen nicht erforderlich. Beim Einsatz ausschließlich aufgesattelter Geräte auf stärkerem Seitenhang wird die aktive Gerätelenkung unumgänglich.

5.2 Bodentemperatur

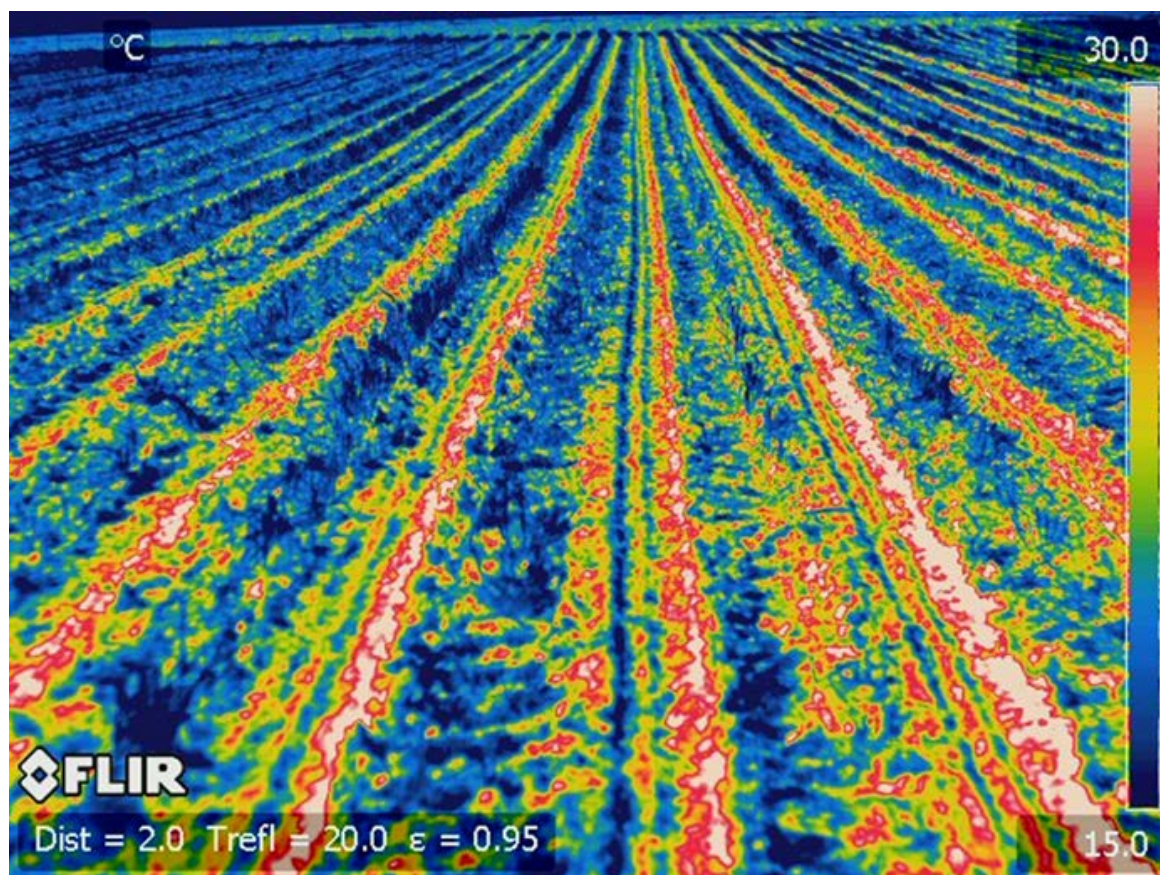


Abb. 23: Aufnahme der Versuchsfäche mit Streifenbodenbearbeitung mit Gülleinjektion mit einer Wärmebildkamera, 17.04.2014, 15:00 Uhr, Strip-Till Mais, Betrieb 3

Nachteil einer Mulchsaat ohne Saatbettbereitung („Direktsaat“) kann die verzögerte Erwärmung im Saathorizont sein. Im Strip-Till-Verfahren soll die Erwärmung in der gelockerten Saatreihe gefördert werden, dem Keimling wären damit optimale Entwicklungsbedingungen geboten.

Mit einer Wärmebildkamera wurden exemplarisch am 17.04.2015 Aufnahmen gemacht, um die Temperaturunterschiede zwischen dem gelockertem Streifen und dem festem Steg zu visualisieren. Abb. 23 zeigt die Unterschiede an einem warmen Frühjahrsnachmittag eindrücklich auf (17.05.2014, 14:00 Uhr, Betrieb 3). In die Streifen war am 02.04.2014 Gülle eingebracht worden, der Mais war am 14.04. gesät worden.

Bei den Temperaturmessungen wurde verglichen (1) zwischen dem gelockerten Streifen und dem unbearbeiteten Steg zwischen den Streifen, (2) zwischen „mit und ohne“ Stoppelbearbeitung im vorausgegangenen Sommer und (3) zwischen Streifen und flächiger Mulchsaat mit intensiver (Betrieb 1) bzw. ohne Saatbettbereitung (Betrieb 2).

Die Temperatur-Messergebnisse belegen:

Im Vergleich Strip-Till-Streifen bearbeitet mit Streifen unbearbeitet („Steg“) ist der bearbeitete Strip-Till- Streifen erwartungsgemäß deutlich wärmer als der „Steg“ (Abb. 24), und zwar bis zu einer Tiefe von ca. 10 cm.

Im Vergleich Strip-Till-Streifen mit gegenüber ohne Stoppelbearbeitung (im Sommer nach der Getreideernte) ist der Strip-Till-Streifen ohne Stoppelbearbeitung im Frühjahr in 10 cm Tiefe kühler als der Streifen mit Stoppelbearbeitung, sowohl nachts wie auch tagsüber (Abb. 25, Betrieb 3, Mais).

Im Vergleich Strip-Till-Streifen zu Mulchsaat mit intensiver Saatbettbereitung auf Betrieb 1 erwärmt sich der Strip-Till Streifen in 10 cm Tiefe langsamer und kühlt nachts (teils) stärker aus als flächig intensiv bearbeiteter Boden (Abb. 26, Betrieb 1). Das gleiche Ergebnis wurde auf einem Strip-Till-Versuch der LfL in Achselschwang erzielt (Abb. 28), nach Saatbettbereitung mit Kreiselegge erwärmt sich der Boden stärker als im gelockerten Streifen.

Dagegen sind auf Betrieb 2 die Unterschiede zwischen dem Strip-Till-Streifen und den Varianten ohne bzw. mit weniger intensiver Saatbettbereitung geringer, nachts kühlt die Variante mit Saatbettbereitung etwas weniger stark aus, an einzelnen Tagen erwärmt sich die Variante ohne Saatbettbereitung („Direktsaat“) stärker. Insgesamt hebt sich der Strip-Till-Streifen nicht deutlich und systematisch von den Varianten mit und ohne Saatbettbereitung ab.

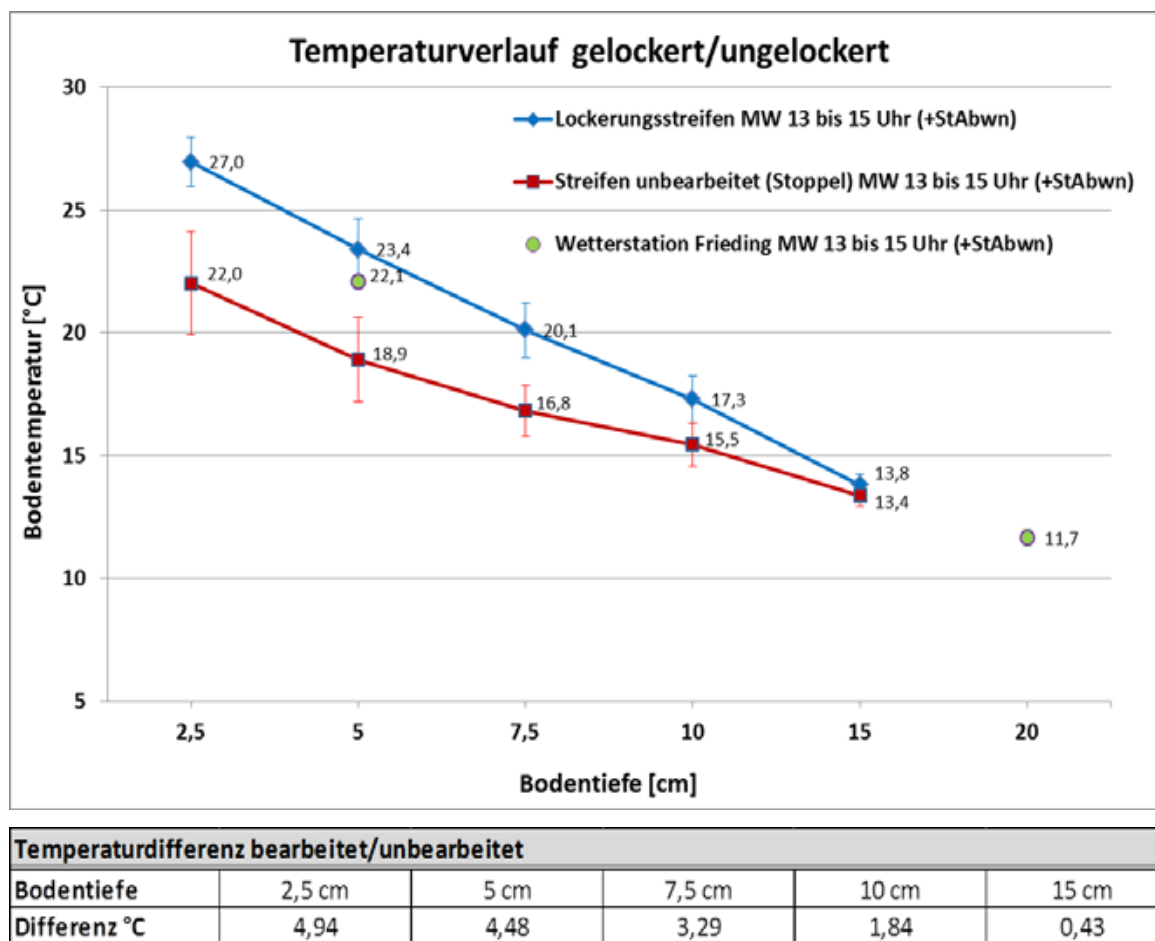


Abb. 24: Bodentemperaturmittelwerte je Tiefe 13:00 – 15:00 Uhr, 18.04.2013, Betrieb 3

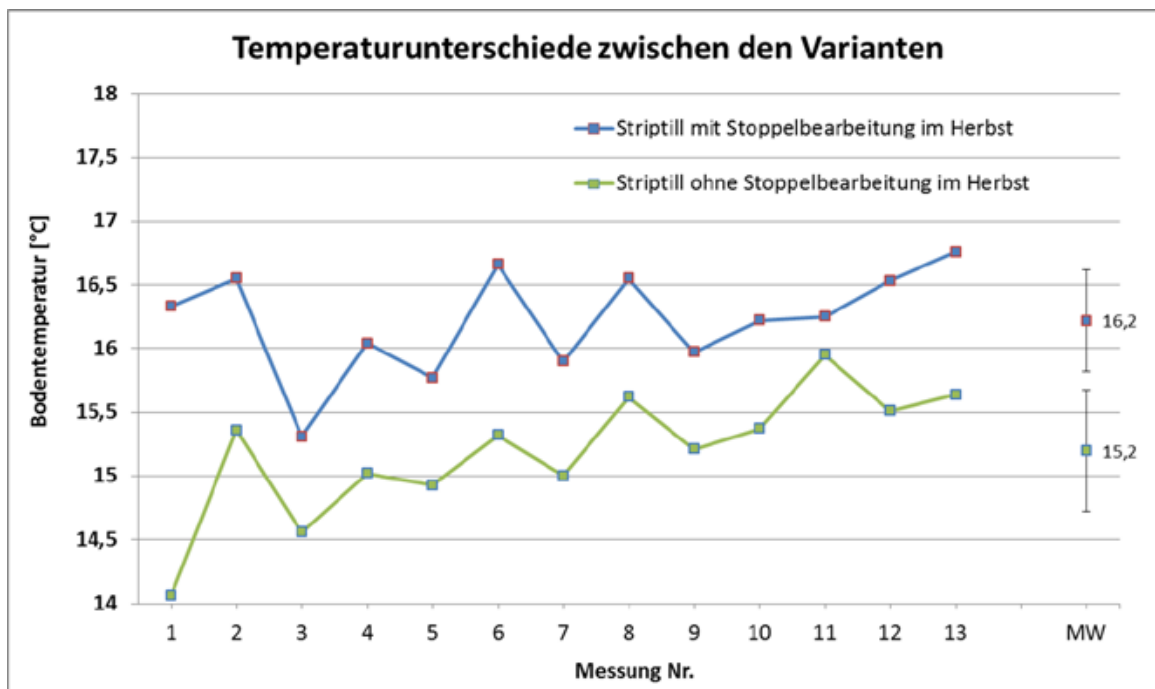


Abb. 25: Bodentemperatur an 13 Stellen im Strip-Till-Streifen ohne bzw. mit vorangegangener Stoppelbearbeitung im Herbst am 18.04.2013 13-15 Uhr, Betrieb 3

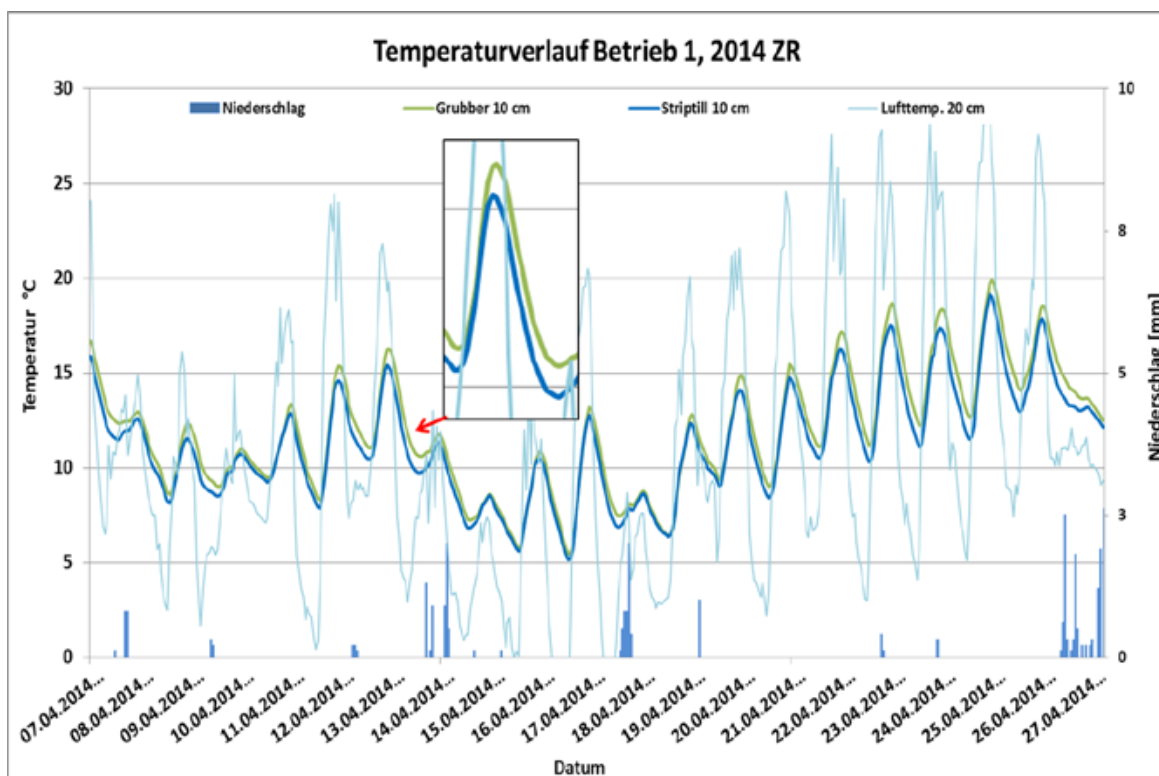


Abb. 26: Vergleich des Verlaufes der Bodentemperatur im gelockerten Streifen und bei Mulchsaat mit intensiver Saatbettbereitung (Grubber, 10 cm tief im Herbst) im Jahr 2014 in Zuckerrüben auf Betrieb 1

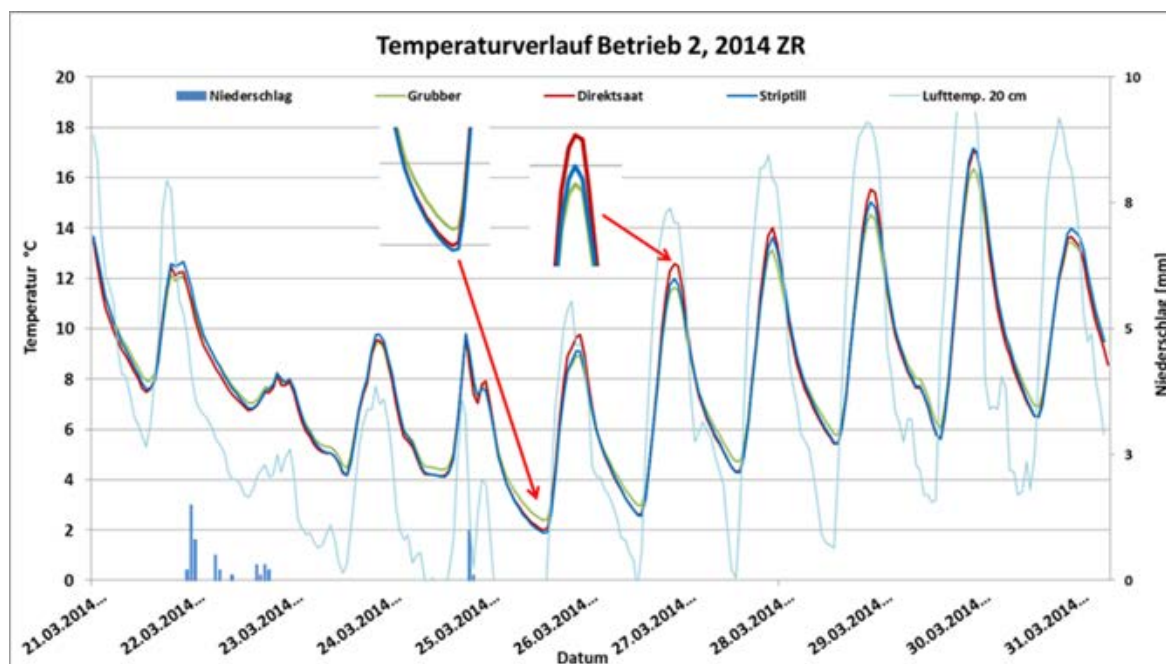


Abb. 27: Vergleich des Verlaufes der Bodentemperatur im gelockerten Streifen und bei Mulchsaat mit wenig intensiver Saatbettbereitung (Grubber) sowie ohne Saatbettbereitung („Direktsaat“) im Jahr 2014 in Zuckerrüben auf Betrieb 2

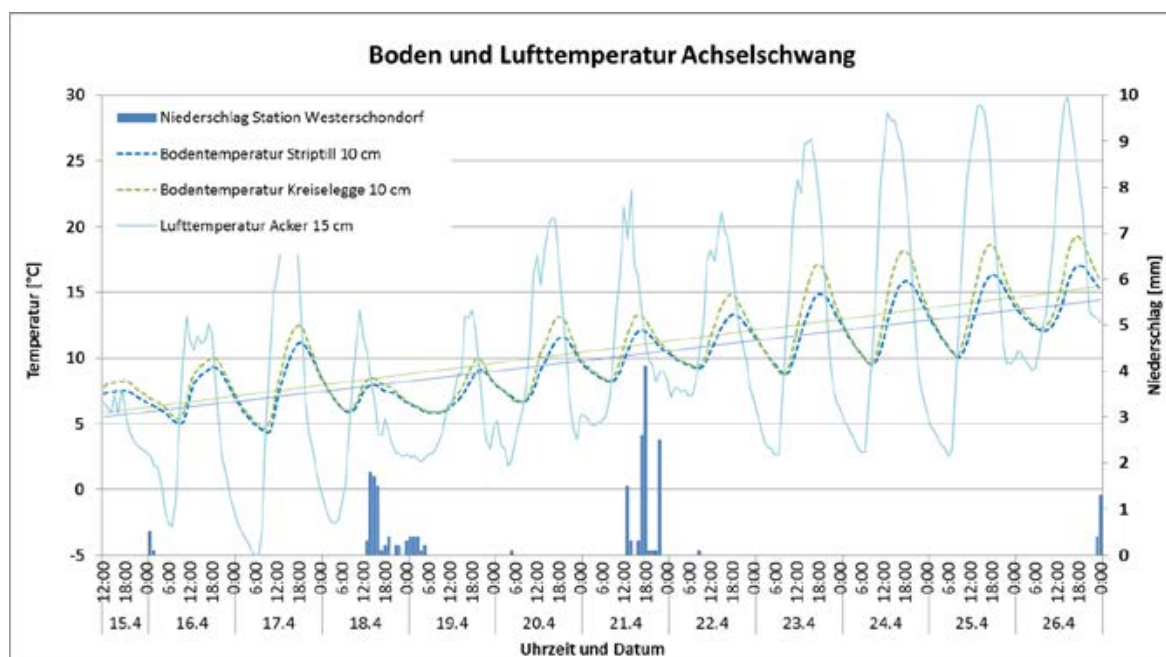


Abb. 28: Vergleich des Verlaufes der Bodentemperatur zwischen Strip-Till-Streifen und Mulchsaat mit Saatbettbereitung (Kreiselegge) im April 2014 in Mais LVFZ Achselschwang

5.3 Infiltration und Bodenerosion



Abschwemmversuch 200 l in 12 Min.

Abb. 29: Vergleich des Wasserlaufs im vereinfachten Abschwemmversuch nach 12 Minuten und 200 Litern über eine Breite von 225 cm (Betrieb 3, 05.06.2012).

Als Vorteil von Strip-Till-Verfahren gilt die geringe Erosionsanfälligkeit, siehe die Ergebnisse aus Sachsen (Abb. 13). Auf den Versuchsflächen konnten wegen der geringen Hangneigung im Feld keine Untersuchungen zur Erosionsanfälligkeit durchgeführt werden. Deshalb wurden im Frühjahr 2012 auf einer hängigen Fläche von Betrieb 3 in Gefälgerichtung Streifen mit drei Varianten angelegt: (1) Mulchsaat mit Saatbettbereitung (betriebsüblich), (2) Mulchsaat ohne Saatbettbereitung und (3) Strip-Tillage. Aus einem großen Kunststoffbehälter wurden 200 l Wasser über eine Verteilleitung mit gleichverteilten Ablassbohrungen auf 225 cm Breite innerhalb von 12 Minuten abgelassen.

Bei den ersten Tests zeigte sich, dass das Wasser in allen drei Varianten vor allem in den Fahrspuren der Maissaat (Traktor) bzw. der Gülleausbringung (Gülletrac) abläuft. Die Position der Wasserablässe wurde so gewählt, dass alle 3 Varianten in etwa gleich von Fahrspuren betroffen waren. Wegen der nicht gänzlich gleichen Bedingungen muss der Abschwemmversuch als Tastversuch gewertet werden, eine quantitative Auswertung ist nicht möglich.

Zwischen den drei Varianten wurden Unterschiede festgestellt (siehe Abb. 29). Die weißen Pfeile markieren die Länge der oberflächlichen Abflussbahnen, also den Weg, bis das abgelassene Wasser gänzlich versickert war. Bei Strip-Till (Dawn) sickerte das Wasser am schnellsten ein, der Abflussweg war am kürzesten. Bei Mulchsaat ohne Saatbettbereitung war der Abflussweg geringfügig länger. In der betriebsüblichen Variante mit Saatbettbereitung versickerte das Wasser langsamer, der Fließweg war länger, allerdings vor allem in der Fahrspur.

Der Wasserfluss ist bei allen Varianten klar, ohne Sedimentfracht. Weil mit der gewählten Methode kein Splash-Effekt durch aufprallende Regentropfen auftritt, wurden keine Bodenteilchen aufgewirbelt.

Nach dem Versickern des abgelassenen Wassers wurde der Boden am unteren Ende der Laufstrecke des Oberflächenabflusses mit einem Spaten aufgegraben. Es zeigte sich, dass im Strip-Till-Streifen Interflow auftrat, und zwar im Bereich der Gülleablage, also dort, wo das Schar eine schlauchartige Lockerungszone geöffnet hatte.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Oberflächenwasser in Böden mit Strip-Till-Verfahren sehr gut einsickern kann. Ein eindeutiger Beweis für diesbezügliche Vorteile gegenüber flächendeckenden Mulchverfahren konnte in der Versuchsanstellung nicht erbracht werden, da Fahrspuren den Oberflächenabfluss dominieren. Zur Kenntnis genommen werden muss, dass es bei hohem Wasserzustrom und Anlage der Streifen in Gefällrichtung zu linearem oberflächennahen Abfluss (Interflow) kommen kann.

5.4 Erträge und ertragsbildende Parameter

Die Darstellung der Erträge erfolgt getrennt nach den untersuchten Kulturen Zuckerrüben und Körnermais.

5.4.1 Zuckerrüben (Betriebe 1 und 2)

Die Ertragsdaten sind sowohl je Standort und Jahr ausgewertet und dargestellt als auch aggregiert. Die Darstellungen nach Einzelstandorten und Einzeljahren finden sich, entsprechend dem Beispiel in Abb. 30, als Abb. 35 bis Abb. 44 im Anhang.

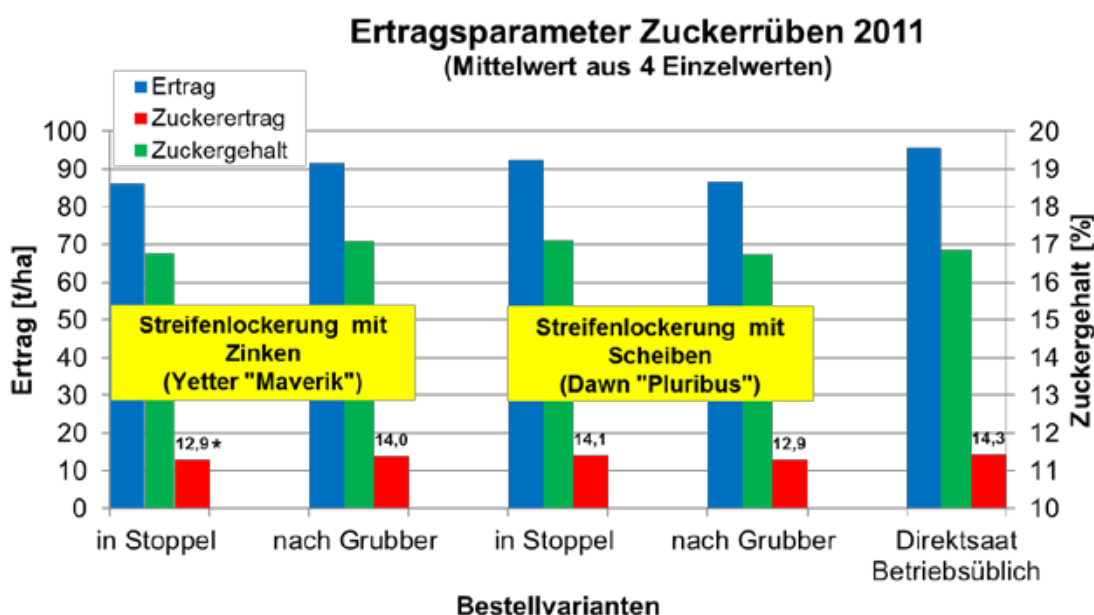


Abb. 30: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2011 Betrieb 2 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).

Im Folgenden werden die über die gesamte Projektlaufzeit aggregierten Ergebnisse getrennt vorgestellt und besprochen.

Die Analyse der Feldaufgänge zeigt, dass die Zuckerrüben auf den beiden Standorten unterschiedlich auf die Streifenbodenbearbeitung reagierten, obwohl die Streifenbodenbearbeitungstechnik wie auch die Einzelkornsätechnik identisch waren (Tab. 2).

Tab. 2: *Feldaufgänge Zuckerrüben nach Streifenbodenbearbeitung und betriebsüblicher Bestellung (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) 2010-2014 bei Betrieb 1/2.*

Variante	Feld Aufgang 2010 [%]		Feld Aufgang 2011 [%]		Feld Aufgang 2012 [%]		Feld Aufgang 2013 [%]		Feld Aufgang 2014 [%]		Mittl. Feld Aufgang [%]	
	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1	Betrieb 2
Strip-Tillage mit Zinken direkt in Stoppeln	50	83	64	82	-	-	-	88	-	87	57	85
Strip-Tillage mit Zinken nach Stoppelbearbeitung	77	89	88	82	94	85	83	82	79	86	84	85
Strip-Tillage mit Scheiben direkt in Stoppeln	35	69	69	73	-	-	-	87	-	96	52	81
Strip-Tillage mit Scheiben nach Stoppelbearbeitung	65	79	76	84	89	84	87	88	73	80	78	83
Mittelwert Strip-Tillage direkt in Stoppeln	43	76	67	78	-	-	-	88	-	92	55	83
Mittelwert Strip-Tillage nach Stoppelbearbeitung	71	84	82	83	92	85	85	85	76	83	81	84
Betriebsüblich-Mulchsaat mit Saatbettbereitung	-	-	98	91	93	87	96	93	95	73	96	86

Die Feldaufgänge in der betriebsüblichen Variante (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) waren auf Betrieb 1 in allen Jahren höher als auf Betrieb 2 (2014 extrem höher, keine ackerbauliche Erklärung verfügbar). Der Unterschied liegt vermutlich an der höheren Intensität der Saatbettbereitung bei der Mulchsaat auf Betrieb 1 (zwei Arbeitsgänge gegenüber einem).

Die unterschiedlichen Gerätetechniken für die Streifenbodenbearbeitung führten zu keiner Differenzierung bei den Feldaufgängen. Demgegenüber führte die Streifenbodenbearbeitung direkt in die Getreidestoppeln ohne vorhergehende Stoppelbearbeitung auf Betrieb 1 zu deutlich niedrigeren Feldaufgängen, die im Jahr 2010 durch starken Schneckenfraß noch weiter vermindert wurden. Deshalb verzichtete der Betrieb 1 ab 2012 auf diese Variante. Alle Varianten mit Stoppelbearbeitung nach der Ernte der Vorfrucht wurden ab 2010 (Feldaufgang und Ernte 2011) mit Zwischenfruchtanbau kombiniert. Auf den Versuchsfeldern von Betrieb 2 gab es beim Feldaufgang keinen Unterschied zwischen den Varianten ohne Stoppelbearbeitung und mit Stoppelbearbeitung und Zwischenfruchtanbau. Dort war auch der Unterschied im Feldaufgang zwischen den betriebsüblichen Varianten und den Streifenbodenbearbeitungsvarianten gering.

Die Feldaufgänge hatten in den meisten Jahren und Varianten einen direkten Einfluss auf den Zuckerrübenenertrag und damit auch auf den bereinigten Zuckerertrag (BZE). Im Folgenden wird nur der bereinigte Zuckerertrag betrachtet, da er auch den finanziellen Ertrag bestimmt (Tab. 3)

Tab. 3: *Bereinigte Zuckererträge (BZE) nach Streifenbodenbearbeitung und betriebsüblicher Bestellung (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) 2010-2014 bei Betrieb 1/2.*

Variante	bereinigter Zuckerertrag 2010 [t/ha]		bereinigter Zuckerertrag 2011 [t/ha]		bereinigter Zuckerertrag 2012 [t/ha]		bereinigter Zuckerertrag 2013 [t/ha]		bereinigter Zuckerertrag 2014 [t/ha]		Mittl. bereinigter Zuckerertrag [t/ha]	
	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1	Betrieb 2
Strip-Tillage mit Zinken direkt in Stoppeln	10,6	10,6	12,9	12,9	-	-	-	9,5	-	16,4	11,8	12,4
Strip-Tillage mit Zinken nach Stoppelbearbeitung	11,9	10,5	14,4	14,0	14,1	16,5	11,3	9,6	17,1	16,6	13,8	13,4
Strip-Tillage mit Scheiben direkt in Stoppeln	7,0 *	10,6	12,9	14,1	-	-	-	9,8	-	16,6	10,0	12,8
Strip-Tillage mit Scheiben nach Stoppelbearbeitung	11,0	12,9	15,0	12,9	14,8	16,7	12,4	9,5	16,2	17,5	13,9	13,9
Mittelwert Strip-Tillage direkt in Stoppeln	8,8	10,6	12,9	13,5	-	-	-	9,7	-	16,5	10,9	12,6
Mittelwert Strip-Tillage nach Stoppelbearbeitung	11,5	11,7	14,7	13,5	14,5	16,6	11,9	9,5	16,6	17,1	13,8	13,7
Betriebsüblich-Mulchsaat mit Saatbettbereitung	12,3	11,0	16,8	14,3	15,6	16,7	12,9	7,0	18,7	17,2	15,3	13,2

Betrieb 1 erzielt in den meisten Einzeljahren wie auch im Mittel aller Jahre in der betriebsüblichen Variante die höchsten bereinigten Zuckererträge. Selbst die beste Streifenbodenbearbeitungsvariante (Gerät mit Lockerungsscheiben nach Stoppelbearbeitung) verzeichnete mit 13,9 t/ha einen um 1,4 t/ha oder 9 % niedrigeren BZE als die betriebsübliche Variante (Mulchsaat mit intensiver Saatbettbereitung).

Auf dem Betrieb 2 liegt eine andere Situation vor. Hier weisen beide Strip-Till-Varianten nach einer Stoppelbearbeitung (mit Zwischenfruchtsaat Senf) im Mittel geringfügig höhere Erträge auf als die betriebsübliche Variante (Mittelwert 13,2 t/ha BZE). Dies ändert sich auch nicht, wenn die Erträge des Jahres 2013 herausgelassen werden, die in allen Varianten, besonders aber in der betriebsüblichen, außergewöhnlich und unerklärlich niedrig ausgefallen sind. Auffallend ist, dass die BZE in den Streifenbodenbearbeitungsvarianten direkt in die Stoppeln eindeutig niedriger sind, als nach einer Stoppelbearbeitung mit Zwischenfruchtsaat. Ebenso weisen die Varianten mit Streifenbodenbearbeitung mittels Lockerungsscheiben jeweils geringfügig höhere BZE auf als die vergleichbaren Varianten mit Lockerungszinken. Die Schwankungen innerhalb der einzelnen Varianten sind jedoch so groß, sodass Signifikanzen in den wenigsten Fällen erzielt werden konnten.

Wird in jedem Jahr und an jedem Ort der mittlere bereinigte Zuckerertrag der betriebsüblichen Variante (n=4) als Bezugsgröße auf 100 % und die jeweiligen Varianten hierzu in Relation gesetzt und dann gemeinsam ausgewertet, dann ergeben sich folgende Verhältnisse (Abb. 31).

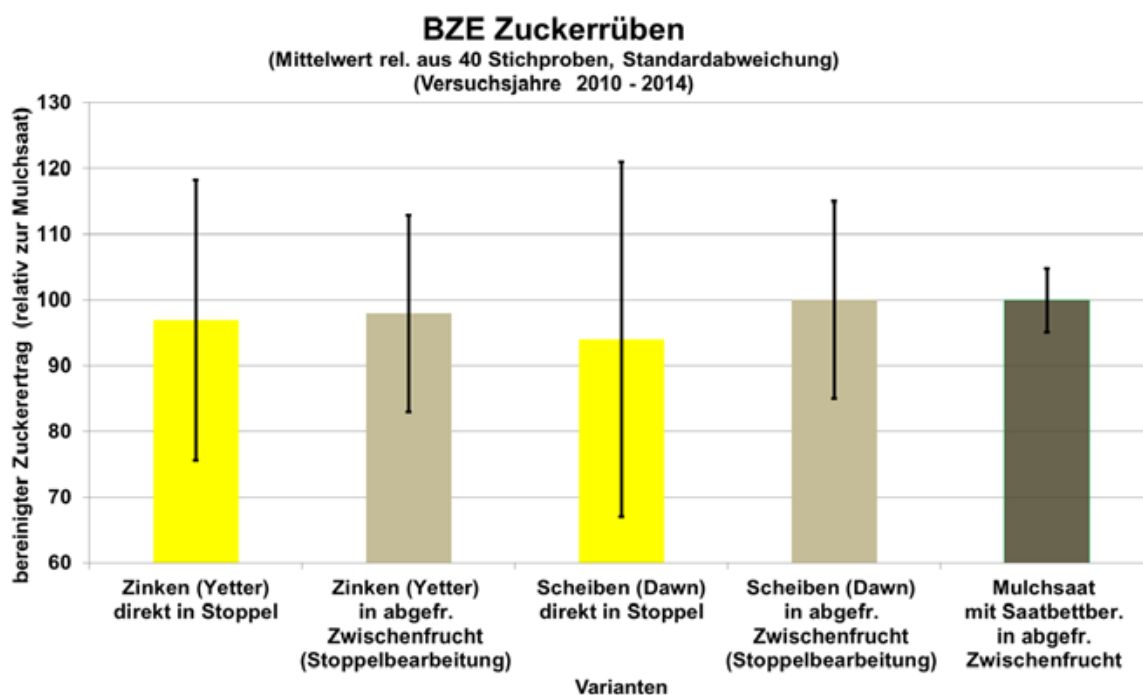


Abb. 31: Relative bereinigte Zuckererträge (BZE) nach Streifenbodenbearbeitung und betriebsüblicher Bestellung (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) 2010-2014 bei Betrieb 1 und 2 (Bereinigter Zuckerertrag betriebsübliche Bestellung in jedem Jahr und an jedem Ort entspricht 100 %).

Durch das günstige Abschneiden der Streifenbodenbearbeitungsvarianten auf Betrieb 2 erreicht die beste Strip-Till-Variante „Gerät mit Lockerungsscheiben in abgefrorene Zwischenfrucht nach einer Stoppelbearbeitung nach Vorfruchternte“ den identischen bereinigten Zuckerertrag wie die betriebsüblichen Varianten. Hierzu trägt sicherlich auch der sehr niedrige BZE der betriebsüblichen Varianten in 2013 auf Betrieb 2 bei. Es zeigt sich wiederum deutlich, dass die Streifenbodenbearbeitungsvarianten ohne vorhergehende Stoppelbearbeitung (mit Zwischenfruchtanbau) die niedrigsten relativen bereinigten Zuckererträge aufweisen. Auf der anderen Seite weisen diese Varianten auch die größte Streuung der Einzelergebnisse (\pm Standardabweichung) auf. Die Streuung ist bei den Varianten mit Stoppelbearbeitung sichtbar kleiner und bei den betriebsüblichen Varianten (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) am kleinsten.

5.4.2 Körnermais (Betrieb 3)

Wie auch bei den Untersuchungen mit Zuckerrüben wurden die Erträge bei Körnermais (Betrieb 3) sowohl je Standort und Jahr ausgewertet und dargestellt als auch entsprechend aggregiert. Die Darstellungen nach Einzelstandorten und Einzeljahren entsprechen dem Beispiel in Abb. 32 und finden sich im Anhang (Abb. 45 bis Abb. 49).

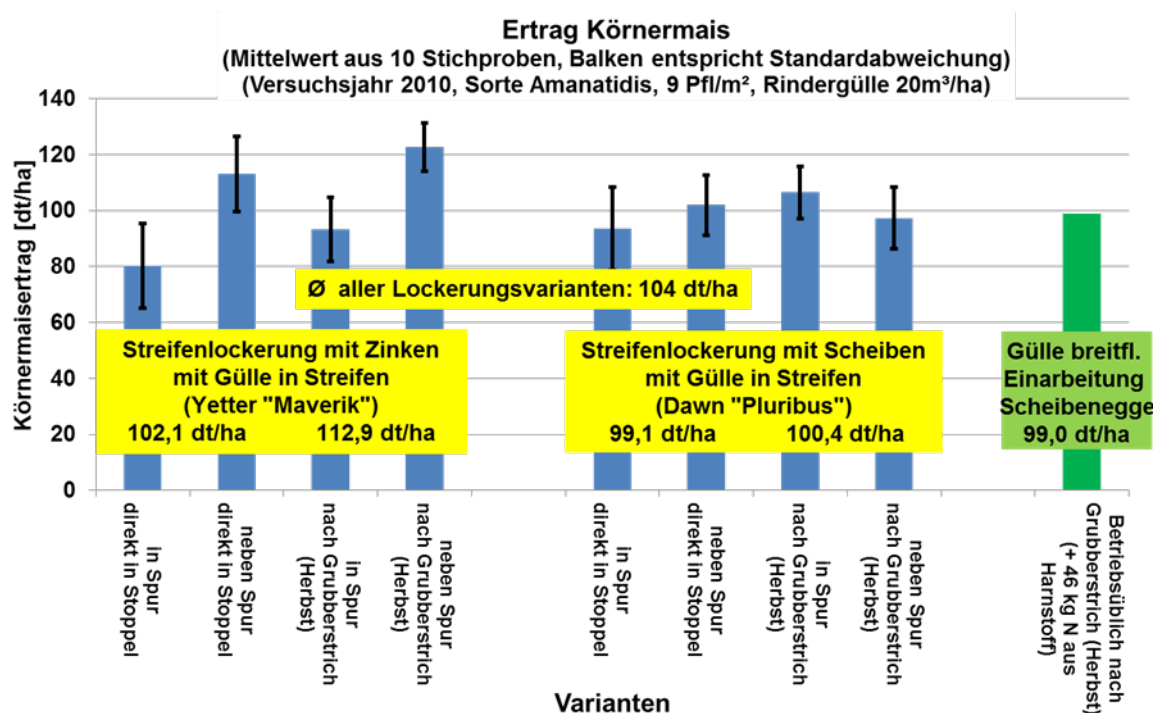


Abb. 32: Körnermaiserträge Streifenbodenbearbeitung 2010 Betrieb 3 (Mittelwert aus 10 Einzelwerten je Variante).

Aufbauend auf der getrennten Handbearntung (10 Wiederholungen je Jahr und Variante) in den überfahrenen Reihen und den nicht überfahrenen Reihen wurden die Erträge auch separat ermittelt und dann für die Streifenbreite (4 nicht überfahrene + 2 überfahrene Reihen) aggregiert.

Bei der Streifenbodenbearbeitung mit Gülleinjektion lässt es sich bei einer in Mitteleuropa typischen geraden Anzahl von Maisreihen nicht vermeiden, dass jeweils zwei Reihen vom Traktor und vom Güllefass (bzw. Gülle selbstfahrer) überfahren werden. Das Gleiche geschieht nochmals bei der Maisaussaat mit modernen, dreipunktangebauten 6- und 8-reihigen Einzelkornsägeräten durch Traktoren.

Diese Bodenbelastung führte in beinahe allen Varianten und Jahren zu signifikant niedrigeren Körnermaiserträgen in den überfahrenen Reihen. Der Ertragsunterschied zwischen überfahrenen und nicht überfahrenen Reihen betrug im Mittel der Jahre 2010-2014 16 %.

Die Analyse der Feldaufgänge der Versuchsjahre 2010-2014 zeigt, dass der Körnermais auf dem Betrieb 3 abhängig von der Jahreswitterung, der eingesetzten Technik und der Vorarbeit (Stoppelbearbeitung) auf die Streifenbodenbearbeitung reagiert (Tab. 4).

Tab. 4: *Feldaufgänge Körnermais nach Streifenbodenbearbeitung und betriebsüblicher Bestellung (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) 2010-2014 bei Betrieb 3.*

Variante	Feld-Aufgang 2010 [%]	Feld-Aufgang 2011 [%]	Feld-Aufgang 2012 [%]	Feld-Aufgang 2013 [%]	Feld-Aufgang 2014 [%]	Mittlerer Feldaufgang [%]
Strip-Tillage mit Zinken (mit Gülle) direkt in Stoppeln	93	80	100	86	85	89
Strip-Tillage mit Zinken (mit Gülle) nach Stoppelbearbeitung	95	84	100	90	80	90
Strip-Tillage mit Scheiben (mit Gülle) direkt in Stoppeln	93	66	96	90	77	84
Strip-Tillage mit Scheiben (mit Gülle) nach Stoppelbearbeitung	92	78	99	89	81	88
Mittelwert Strip-Tillage (mit Gülle) direkt in Stoppeln	93	73	98	88	81	87
Mittelwert Strip-Tillage (mit Gülle) Nach Stoppelbearbeitung	94	81	100	90	81	89
Betriebsüblich – Gülleausbringung mit Ein- arbeitung (Kurzscheibenegge) + Mulchsaat	-	91	98	93	86	92

Die betriebsübliche Variante (Mulchsaat mit Saatbettbereitung mit Kurzscheibenegge nach Grubberstrich im Herbst) wies zumeist die höchsten Feldaufgänge auf (86-98 %). Der starke Einfluss der Jahreswitterung sowohl auf die betriebsübliche Variante wie auch auf die Streifenbodenbearbeitungsvarianten verdeutlichen die Jahre 2012 (96-100 % Strip-Till / 98 % betriebsüblich) und 2014 (77-85 % Strip-Till / 86 % betriebsüblich). Die Streifenbodenbearbeitung mit Lockerungsscheiben wies in beinahe allen Jahren und Varianten geringfügig höhere Feldaufgänge auf, als die Geräte mit Lockerungszinken. Einen positiven Einfluss auf den Feldaufgang hatte auch immer eine vorangegangene Stoppelbearbeitung nach der Vorfrucht. Eine Zwischenfrucht wurde nicht angebaut, da die Vorfrucht immer Körnerraps war und der Ausfallraps vor der späten Stoppelbearbeitung auflaufen und wachsen konnte

Die Vorteile beim Feldaufgang konnte die betriebsübliche Mulchsaat mit Saatbettbereitung nicht in allen Fällen und Situationen in Mehrertrag gegenüber den Streifenbodenbearbeitungsvarianten umsetzen (Tab. 5).

Tab. 5: Körnermaiserträge nach Streifenbodenbearbeitung und betriebsüblicher Bestellung (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) 2010-2014 bei Betrieb 3 (* 2010 und 2011 erhielt „Betriebsüblich“ zusätzlich 40 kg /ha N mineralisch).

Variante	Körnermaisertrag					mittlerer Körnermaisertrag [t/ha]
	2010 [t/ha]	2011 [t/ha]	2012 [t/ha]	2013 [t/ha]	2014 [t/ha]	
Strip-Tillage mit Zinken (mit Gülle) direkt in Stoppeln	10,2	10,7	11,9	6,4	11,1	10,1
Strip-Tillage mit Zinken (mit Gülle) nach Stoppelbearbeitung	11,3	10,7	13,0	7,7	11,2	10,8
Strip-Tillage mit Scheiben (mit Gülle) direkt in Stoppeln	9,9	9,7	11,5	5,9	10,2	9,4
Strip-Tillage mit Scheiben (mit Gülle) nach Stoppelbearbeitung	10,0	10,3	11,7	7,4	11,0	10,1
Mittelwert Strip-Tillage (mit Gülle) direkt in Stoppeln	10,1	10,2	11,7	6,2	10,7	9,8
Mittelwert Strip-Tillage (mit Gülle) nach Stoppelbearbeitung	10,7	10,5	12,8	7,6	11,1	10,5
Betriebsüblich – Gülleausbringung mit Einarbeitung (Kurzscheibenege) + Mulchsaat	9,9*	11,7*	12,5	8,2	11,1	10,7

Im Mittel unterscheidet sich der Körnermaisertrag der betriebsüblichen Mulchsaat mit Saatbettbereitung kaum von den Streifenbodenbearbeitungsvarianten nach einer Stoppelbearbeitung. Der Einfluss der Einzeljahre auf die Erträge ist hoch (12,5 t in 2012 zu 8,2 t/ha in 2013). Die Varianten der Streifenbodenbearbeitung nach Stoppelbearbeitung führen im Mittel (10,5 t/ha zu 9,8 t/ha) und in allen Einzelfällen zu höheren Erträgen als die Streifenbodenbearbeitung ohne Stoppelbearbeitung. Während bei den Untersuchungen mit Zuckerrüben die Streifenbodenbearbeitungstechnik mit Lockerungsscheiben der Technik mit Lockerungszinken tendenziell überlegen war, ist es beim Körnermais genau umgekehrt. Dies könnte jedoch an der unterschiedlichen Platzierung der Gülle liegen (Laurenz 2015).

Wird der mittlere Körnermaisertrag der betriebsüblichen Variante (n=10) in jedem Jahr und an jedem Ort als Bezugsgröße auf 100 % gesetzt, dann ergeben sich folgende Verhältnisse (Abb. 33).

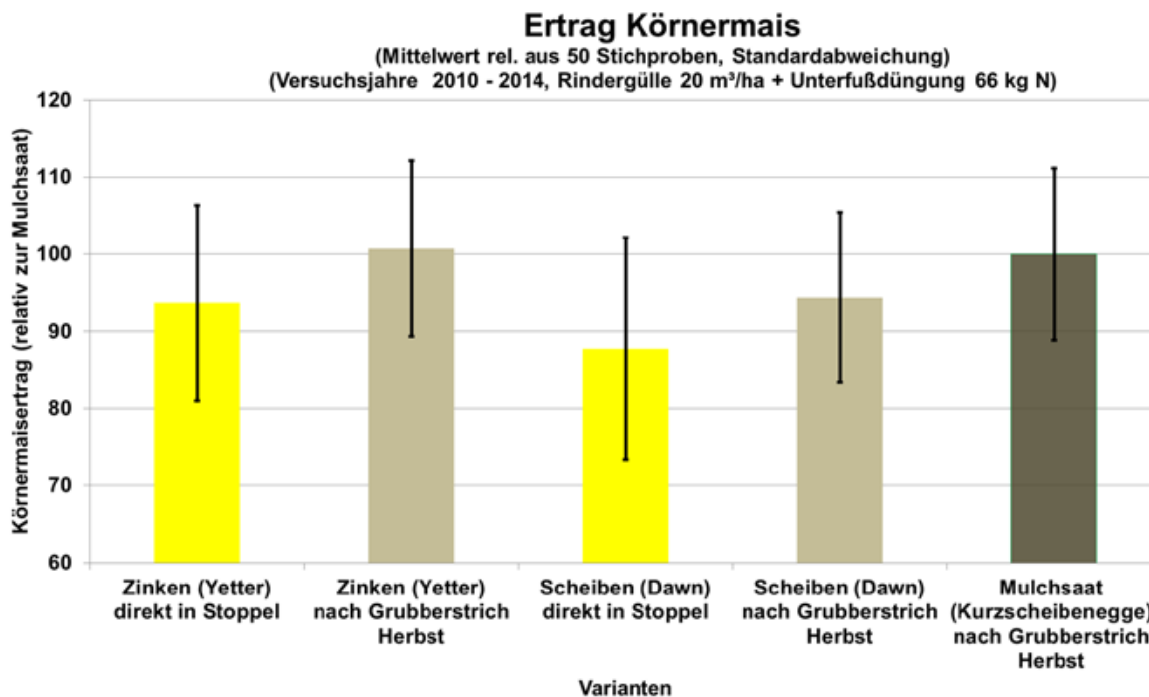


Abb. 33: Relative Körnermaiserträge nach Streifenbodenbearbeitung und betriebsüblicher Bestellung (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) 2010-2014 bei Betrieb 3 (Körnermaisertrag betriebsübliche Bestellung in jedem Jahr und an jedem Ort = 100 %).

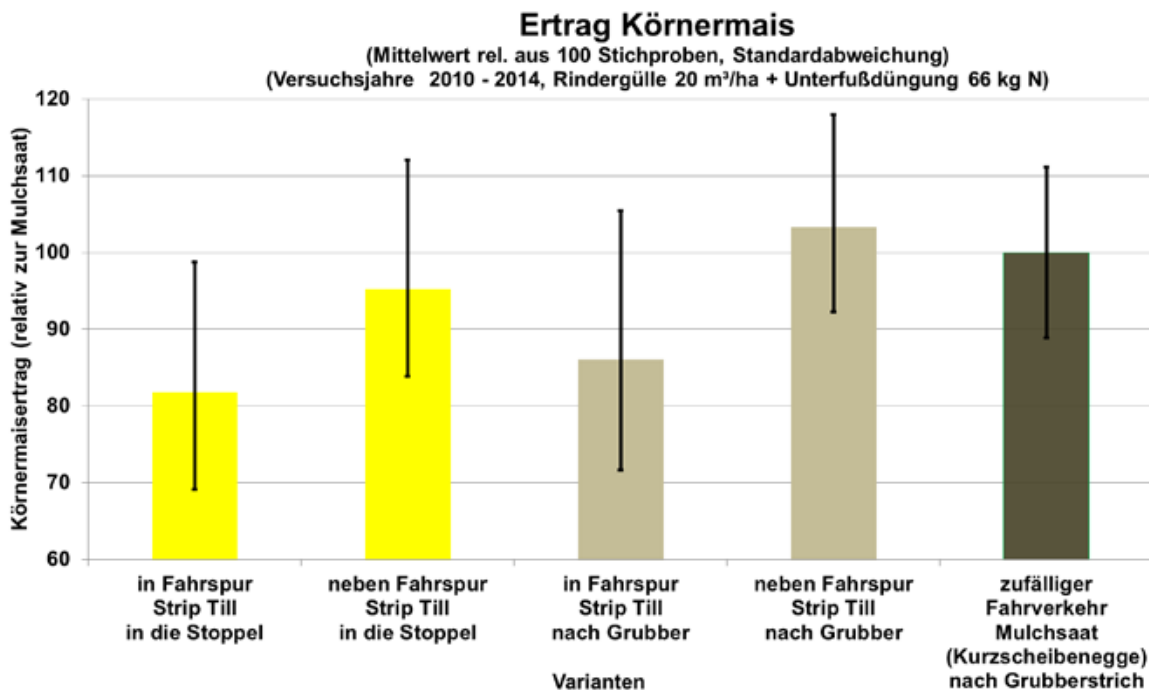


Abb. 34: Relative Körnermaiserträge in und neben der Fahrspur nach Streifenbodenbearbeitung und betriebsüblicher Bestellung (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) 2010-2014 bei Betrieb 3 (Körnermaisertrag betriebsübliche Bestellung in jedem Jahr und an jedem Ort = 100 %).

Die Analyse und Darstellung der Relativerträge macht die bei der Auswertung der absoluten Erträge erkennbaren Tendenzen stärker deutlich. Sie zeigt die Ertragsgleichheit der Streifenbodenbearbeitung mit Zinkengerät mit der betriebsüblichen Mulchsaat mit Saatbettbereitung bei etwa identischen Streuungen (\pm Standardabweichung). Die beiden Varianten ohne Stoppelbearbeitung weisen ein eindeutig niedrigeres Ertragsniveau und deutlich größere Streuungen der Einzelergebnisse auf.

Abb. 34 zeigt nochmals die relativen Ertragsunterschiede der bei der Streifenbodenbearbeitung und der Maisausaat „überfahrenen“ Maisreihen.

Die Auswertung zeigt nochmals eindrücklich den negativen Einfluss der Bodenbelastung auf den Körnermaisenertrag. Die Ertragsunterschiede zwischen den befahrenen und den unbefahrenen Bereichen betragen im Durchschnitt 16 %. Die dunkelgraue Säule rechts außen repräsentiert die Durchschnittserträge der betriebsüblichen Mulchsaatvariante mit Saatbettbereitung und zufälligem Fahrverkehr bei der Gülleausbringung.

6 Schlussfolgerungen

6.1 Feldversuche, Technik

Auf Grund der in den USA seit annähernd 20 Jahren laufenden Entwicklungen funktions-tüchtiger Geräte für die Streifenbodenbearbeitung und den bayerischen Erfahrungen mit der Streifenfrässaat (1980-1986) war es möglich, relativ schnell und mit wenigen Problemen Untersuchungen zur Streifenbodenbearbeitung bei Zuckerrüben und Mais in den Jahren 2009-2014 durchzuführen. Die auf Grund fehlender europäischer Technik in den USA beschafften Geräte erfüllten die Anforderungen für eine erste umfassende Untersuchung weitestgehend. Möglichkeiten zur Applikation von flüssigen organischen Düngern wurden durch Modifikation geschaffen.

Wider Erwarten ließen sich die Geräte auch in noch wachsenden Zwischenfruchtbeständen, selbst bei Wuchshöhen von bis zu 150 cm einsetzen. Schlüssel für eine störungsfreie Arbeit ist hierbei die angepasste Einstellung der Räumsterne. Eine Veränderung der Arbeitstiefe und eine Be- bzw. Entlastung der Räumsterne aus der Traktorkabine heraus ist hierfür dringend erforderlich, bisher aber nur bei einem Gerät realisiert (SLY france Stripcat II®). Die Einstellung aller Einzelwerkzeuge (vorlaufende Schneidscheibe, Räumsterne, Lockerungszinken und Hohlscheiben zum Formen des Dammes) stellt eine Herausforderung dar und muss in Zukunft bedienerfreundlicher gestaltet werden.

Großen Einfluss auf den Arbeitseffekt der Zinkengeräte hat die Form der Zinken und Schare. Sie sollen den Boden aufbrechen, aber nicht mischen. Das Angebot unterschiedlicher Zinken-, vor allem aber Scharformen ist in den USA sehr groß. Eine Systematisierung und Zuordnung zu definierten Einsatzverhältnissen existiert bisher nicht. In den Untersuchungen wurden zumeist 40 mm breite Meißelschare an senkrecht angeordneten Zinken (oder Scharstielen) erfolgreich eingesetzt.

Übliche, in den USA entwickelte Streifenbodenbearbeitungsgeräte sind zumeist für 75 cm (30“) Reihenweite konstruiert und lassen sich zumeist nicht ohne größere Probleme und Modifikationen für 45 und 50 cm Reihenweite verwenden. Neuere Konstruktionen aus Europa (Kuhn Striger®, SLY france Stripcat II® und Kverneland Kultistrip® sind so konstruiert, dass sie auch mit 45 und 50 cm Reihenweite eingesetzt werden können. Damit ergibt sich mit diesen Geräten auch die Möglichkeit, Streifenbodenbearbeitung zu Zuckerrüben, Körnererbsen, Sojabohnen und Mais mit enger Reihenweite durchzuführen.

Die getrennten Arbeitsgänge Streifenbodenbearbeitung und Einzelkornsaat (absätziges Verfahren) ermöglichen ideale Arbeitsgeschwindigkeiten für die unterschiedlichen Geräte. Der Boden kann abtrocknen und sich absetzen. Zudem können Streifenlockerung und Saat mit jeweils maximaler Flächenleistung durchgeführt werden.

Die Streifenbodenbearbeitung kann sehr einfach mit der Applikation mineralischer oder auch flüssiger organischer Dünger kombiniert werden.

Die eingesetzten Strip-Till-Geräte verfügen über eine sehr gute Bodenanpassung (Parallelogramm geführt), die auch große Arbeitsbreiten zulässt. Sie können (müssen) mit hohen Arbeitsgeschwindigkeiten (10-14 km/h) eingesetzt werden.

Die Streifenbodenbearbeitung ermöglicht eine sichere Aussaat in ein gelockertes Saatbett mit ausreichend Feinerde und ohne Pflanzenreste.

Die Spezialgeräte sind allerdings aufwändig und teuer (4.000 - 8.000 €Reihe inklusive Geräterahmen) und eignen sich deshalb vornehmlich für die überbetriebliche Maschinenverwendung (ÜMV), d.h. für Maschinenringe, Lohnunternehmen und Maschinengemeinschaften oder für spezialisierte Großbetriebe.

Bei der Anwendung der Streifenbodenbearbeitung muss unbedingt auf die Bodenfeuchte geachtet werden. In Abhängigkeit von Bodenart und den eingesetzten Lockerungswerkzeugen bricht der Boden bei einem zu hohen Feuchtegehalt nicht mehr auf, und es entsteht ein dünner Schlitz mit verschmierten Schnittflächen. Dieser Zustand führt zumeist zu einem Misserfolg bei der Etablierung einer Kultur.

Eine Streifenbodenbearbeitung im Frühjahr ist die unbedingte Voraussetzung für die Applikation von stickstoffhaltigen mineralischen oder organischen Düngemitteln. Ein exakter Grenzwert, ab welchem Tongehalt die Streifenbodenbearbeitung im Frühjahr ausscheidet und nur die Herbstbearbeitung zum Erfolg führt, lässt sich nicht festlegen. Voraussetzung für eine Streifenbodenbearbeitung im Frühjahr ist das Erzielen von ausreichend Feinerde für die jeweilige Kultur. Dies ist nicht nur abhängig von der Bodenart, sondern auch vom Bodenzustand. Darüber hinaus hat auch die Gerätetechnik (Scharform) einen gewissen Einfluss.

6.2 Bodentemperatur und Erosion

Es konnte belegt werden, dass sich der gelockerte Streifen schneller erwärmt als der unbearbeitete Steg.

Der Streifen erreicht aber hinsichtlich Erwärmung nicht auf jedem Standort das Niveau von flächendeckenden Mulchsaatverfahren. Auf dem Standort von Betrieb 1 bleibt der Streifen in der Erwärmung hinter der betriebsüblich intensiveren Saatbettbereitung etwas zurück, während am Standort von Betrieb 2 keine eindeutigen Unterschiede zwischen Streifen und den verschiedenen intensiven Mulchsaatverfahren festgestellt werden konnten. Das Unterlassen der Stoppelbearbeitung nach Getreide wirkt sich ungünstig auf die Erwärmung der Böden im Frühjahr aus. Trotz Lockerung im Streifen verzögert sich die Erwärmung gegenüber der Variante mit Stoppelbearbeitung.

Durch die streifenförmige Bodenbearbeitung und den großen Anteil nicht bearbeiteter Ackerfläche (60-75 %) mit dem dort hohen Grad an Bodenbedeckung ergibt sich an moderat geneigten Hängen ein hohes Erosionsschutzniveau. Die Widerstandsfähigkeit der Böden gegenüber mit hoher Energie aufprallenden Regentropfen wurde nicht untersucht. Sie ist jedoch wesentlich durch den Grad an Bodenbedeckung und vorheriger Lockerung bestimmt.

Im Abschwemmversuch konnte ein hohes Infiltrationsvermögen der im Strip-Till-Verfahren bewirtschafteten Böden bestätigt werden. Mit flächigen Mulchverfahren konnte jedoch ebenfalls eine gute Infiltration erreicht werden. Bei den sehr ausgiebigen Niederschlägen Ende Mai und Anfang Juni 2013 (Jahrhunderthochwasser an Inn, Isar und der unteren Donau) erwiesen sich alle drei Varianten (Strip-Till, Mulchsaat mit und Mulchsaat ohne Saatbettbereitung) als erosionsstabil. Es wurden keine Abschwemmungen beobachtet, im Gegensatz zu benachbarten Feldern ohne konservierende Bodenbearbeitung.

Der Erosionsschutz erreicht generell dort seine Grenzen, wo in Gefällerrichtung gearbeitet wird und Strukturschäden in Fahrspuren ein schnelles Versickern des Wassers verhindern. Bodenschonendes Befahren muss also zwingend mit erosionsmindernder Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung kombiniert werden. Zur Kenntnis genommen werden muss, dass es in den Strip-Till-Streifen bei hohem Wasserzustrom und Anlage der Streifen in Gefällerrichtung zu linearem oberflächennahen Abfluss (Interflow) kommen kann.

Die Risiken von Bodenerosion und Gewässerbelastung, die Maisanbau auf stark geneigten Hängen in Gefällerrichtung mit sich bringt, können also auch mit einem Strip-Till-Verfahren nicht gänzlich abgewendet werden.

6.3 Erträge

Auf einem Zuckerrübenstandort (Betrieb 2) waren die Erträge zumindest der besten Variante mit Streifenbodenbearbeitung der betriebsüblichen Variante „Mulchsaat mit Saatbettbereitung“ leicht überlegen. Am zweiten Rübenstandort (Betrieb 1), mit einer höheren Intensität der Saatbettbereitung der betriebsüblichen Mulchsaat, waren alle Strip-Till-Varianten ertraglich unterlegen (siehe die Analogie zur Bodenerwärmung, Kap. 6.2).

Bei Körnermais waren die Erträge der besten Streifenbodenbearbeitungsvariante gleich hoch wie die der betriebsüblichen Mulchsaat.

Alle Varianten mit vorhergehender Stoppelbearbeitung nach der Vorfruchternte bzw. Stoppelbearbeitung mit Zwischenfruchtanbau waren den Varianten „Streifenbodenbearbeitung direkt in die Stoppeln der Vorfrucht“ im Ertrag überlegen.

Mit Blick auf die festgestellten Ertragseffekte und das Potenzial an Erosionsschutz sticht das Strip-Till-Verfahren die klassischen Mulchsaatverfahren, insbesondere wenn sie im Rahmen dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung praktiziert werden, nicht unbedingt aus. Strip-Tillage erweitert die Palette an Möglichkeiten für ressourcenschonenden Ackerbau. Besonders interessant und zukunftsweisend ist die Verknüpfung mit Gülleinjektion bei Maisanbau.

7 Literaturverzeichnis

- Bischoff, J. (2012): Bodenbearbeitungs- und Bestellstrategien der Zukunft. KTBL-Schrift 492, Management der Ressource Wasser, Darmstadt, S. 72-79.
- Bischoff, J. (2012): Weite Reihen – tiefe Wurzeln? In: LOP Landwirtschaft ohne Pflug, Heft 3, 2012, S. 29-25
- Bischoff, J. (2015): Gülle Strip Till zu Mais. In: mais, Heft 1, 2015, S. 16-19.
- Demmel, M.: Streifenbearbeitung - Strip Tillage. Eine Alternative für Zuckerrüben?! In: dzz - Die Zuckerrübenzeitung 47 (2011) H. 1, S. 14
- Demmel, M.: Streifenbearbeitung als Alternative. In: Brandenburger Bauern Zeitung 2011, H. 9, S. 30 - 31
- Demmel, M.: Streifenbearbeitung hat Potential. In: Milchpur (2011), Nr. 4, S. 50 - 53
- Demmel, M., Kirchmeier, H. (2012): Streifenbodenbearbeitung und Gülleapplikation - Strip Tillage ermöglicht neue Strategien. LOP, H. 12, S. 12 - 18
- Demmel, M., Brandhuber, R., Kirchmeier, H. (2012): Streifenbodenbearbeitung - Strip Tillage - für Reihenkulturen - Stand der Technik und eigene Untersuchungsergebnisse. VDI-Berichte 2173, Agricultural Engineering, Hrsg.: VDI-MEG, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, Deutschland, S. 483 - 489, ISSN: 0083-5560
- Demmel, M., Brandhuber, R., Kirchmeier, H., (2012): Strip Tillage for corn and sugar beet - results of a three year investigation on three locations. Proceedings of the International Conference of Agricultural Engineering CIGR-AgEng2012, Valencia (Spain), July 8-12, 2012, ISBN: 978-84-615-9928-8
- Demmel, M., Brandhuber, R. (2014): Moderner Ackerbau im Einklang mit Umwelt-, Boden- und Erosionsschutz. Tagungsband der LfL-Jahrestagung: „Ackerbau - mit hohen Erträgen erfolgreich wirtschaften“ am 30.10.2014 in Schweinfurt. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 6/2014, Freising, 2014, S. 9 - 23
- Demmel, M., Kirchmeier, H. (2014): Technik für erosionsmindernde Bestellverfahren. Tagungsband zur landtechnischen Jahrestagung „Neue Techniken im Ackerbau“ am 26.11.2014 in Deggendorf. LfL-Schriftenreihe 7/2014, S. 37 - 50
- Demmel, M., Kirchmeier, H., Brandhuber, R. (2014): Erosionsschutz und Ertrag - Vier Jahre Streifenbearbeitung zu Zuckerrüben. Landwirtschaft ohne Pflug, 05/2014, S. 26 - 32
- Demmel, M., Kirchmeier, H., Brandhuber, R. (2014): 4 Jahre Streifenbodenbearbeitung zu Zuckerrüben: Erosionsschutz und Ertrag. Landwirtschaft ohne Pflug, 5/2014, S. 26 - 32
- Demmel, M., Kirchmeier, H., Brandhuber, R. (2014): Konservierende Bodenbearbeitungstechnische Lösungen. Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Bd. 26, Hrsg.: Pekrun, C.; Wachendorf, M.; Francke-Weltmann, L.; Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, S. 12 - 15
- Demmel, M., Kirchmeier, H., Brandhuber, R. (2014): Neue Strategien mit Strip Tillage in Reihenkulturen. Der Pflanzenarzt, 8, Fachzeitschrift für Pflanzenschutz, Vorratsschutz und Pflanzenernährung, Hrsg.: Österreichischer Agrarverlag, S. 24 - 27

- Estler, M. (1989): Landtechnische Maßnahmen zur Verminderung der Bodenerosion bei Reihenfrüchten in Hanglagen. Schriftenreihe des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. 83 S.
- Hermann, W.: Strip-Till: Streifenlockerung bei Zuckerrüben, Raps und Mais - Alternative zur Mulch- und Direktsaat. In: LOP Landwirtschaft ohne Pflug, Heft 7, (2008), 31-34
- Hermann, W.(2010): Streifenlockerung – eine neue Lösung für Rüben. top agrar, Heft 2, 2010, 62-65
- Hermann, W., Link-Dolezal, J. und Claupeln, W. (2010): Nur einzelne Streifen lockern – Strip Till – den Boden nur dort lockern, wo Maisreihen stehen. dlz agrarmagazin, Heft 4, 38-41
- Kowalewsky, H.-H. (2009): Geld sparen durch Gülleunterfußdüngung zu Mais. mais, Heft 2/2009, 72-73
- Laurenz, L. (2012): Gülledepot unter Mais im Praxistest. Top Agrar 3/2012, S. 90-93
- Laurenz, L. (2015): Die Richtung stimmt. Lohnunternehmen, Heft 2, 2015, S. 37-39.
- Leys, A., Govers, G., Gillijns, K., Berckmoes, E., Takken, I. (2010): Scale effects on runoff and erosion losses from arable land under conservation and conventional tillage: The role of residue cover. Journal of Hydrology 390, 143–154
- Licht, M. A., Al-Kaisi, M. (2005): Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties. Soil & Tillage Research, Vol. 80, 233-249
- Morrison, J. E. (2002): Strip Tillage for „No-Till“ Row Crop Production. In: Applied Engineering in Agriculture Vol. 18(3), American Society of Agricultural Engineering, 277-284
- Nash, P. R. (2010): Alternative tillage and nitrogen management options to increase crop production and reduce nitrous oxide emissions from claypan soils. Master Thesis - Faculty of the Graduate School at the University of Missouri-Columbia
- Omonode, R. A., Gál, A., Smith, D. R. and Vyn, T. J (2011): Nitrous Oxide Fluxes in Corn Following Three Decades of Tillage and Rotation Treatments. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 75, 125-136
- Overstreet, L. F. and Hoyt, G. D. (2008): Effects of Strip Tillage and Production Inputs on Soil Biology across a Spatial Gradient. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 72, 1454-1463
- Putte, A., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., Demuzere, M. (2010): Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. European Journal of Agronomy, Vol. 33, 231–241
- Qingjie, W., Hao, Ch., Hongwen, L., Wenying, L., Xiaoyan, W., McHugh, A.D., Jin, H. and Huanwen, G. (2009): Controlled traffic farming with no tillage for improved fallow water storage and crop yield on the Chinese Loess Plateau. Soil & Tillage Research, Vol. 104, 192-197
- Reeder, R. C. (2002): Maximizing Performanc in Conservation Tillage Systems – an Overview. ASAE Paper No. 021134, 2002 ASAE Annual Meeting / CIGR XVth World Congress, ASABE St. Joseph, MI, USA
- Sander, G. (2014): Strip Till schlägt Mulchsaat. Top agrar, heft 2, 2014, S. 76-79

-
- Schneider, M., Gunstmann, K., Hofmann, B., Wagner, P. und Christen, O. (2009): Vorteile auf erosionsgefährdeten Standorten. LOP Landwirtschaft ohne Pflug, Heft 3, 2009, 20-23
- Schmidt, W. (2012): Drum prüfe wie der Mais sich bette. Bodenbearbeitung zur Maisausaat. Acker Plus, 01/2012, S. 54-57
- Umweltbundesamt (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Climate Change 24/2015, Dessau/Roßlau, 688 S.

Danksagung

Die Autoren danken

- dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die Förderung des Projekts,
- den Landwirten Thomas Muhr, Eckhard Döring und Franz und Florian Schemmer für die vertrauensvolle Zusammenarbeit und für die tatkräftige Unterstützung der Projektarbeiten auf ihren Betrieben,
- dem Verband der Fränkischen Zuckerrübenbauer e.V., dem Verband der Bayerischen Zuckerrübenbauer e.V. mit ihren Arbeitsgemeinschaften sowie der Firma Südzucker Ochsenfurt für die fachliche Unterstützung und die Durchführung von Analysen,
- allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der LfL-Arbeitsgruppen „Ackerbau und Prozesstechnik“ und „Bodenphysik, Bodenmonitoring“ für die mit hoher Motivation und Präzision geleistete Arbeit im Feld, am Schreibtisch und im Labor.

8 Anhang

Tab. 6: Bodenart und Porengrößenverteilung auf den Versuchsschlägen

	Bodenart	GPV	LK	FK	nFK
		Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %
Betrieb 1 Schlag 1					
10-15 cm	Lu	49,0	16,4	32,6	21,5
25-30 cm	Lu	41,8	9,2	32,5	20,1
55-60 cm	Lu	42,7	9,8	33,0	19,4
Betrieb 1 Schlag 2					
10-15 cm	Lu	43,3	9,4	34,0	17,5
25-30 cm	Lu	41,0	9,9	31,1	14,4
55-60 cm	Lu	39,0	10,2	28,8	12,6
Betrieb 2 Schlag 1					
10-15 cm	Lu	48,7	15,1	33,6	19,1
25-30 cm	Tu3	42,2	6,7	35,5	13,6
55-60 cm	Tu3	45,6	8,1	37,5	16,0
Betrieb 3 Schlag 1					
10-15 cm	Sl4	39,4	10,6	28,8	15,3
25-30 cm	Sl4	42,9	13,3	29,6	18,7
55-60 cm	St2	48,5	18,4	30,1	22,1
Betrieb 3 Schlag 2					
10-15 cm	Sl4	41,7	11,9	29,9	18,2
25-30 cm	Sl4	36,3	8,5	27,8	15,0
55-60 cm	Sl4	39,8	9,6	30,2	14,5

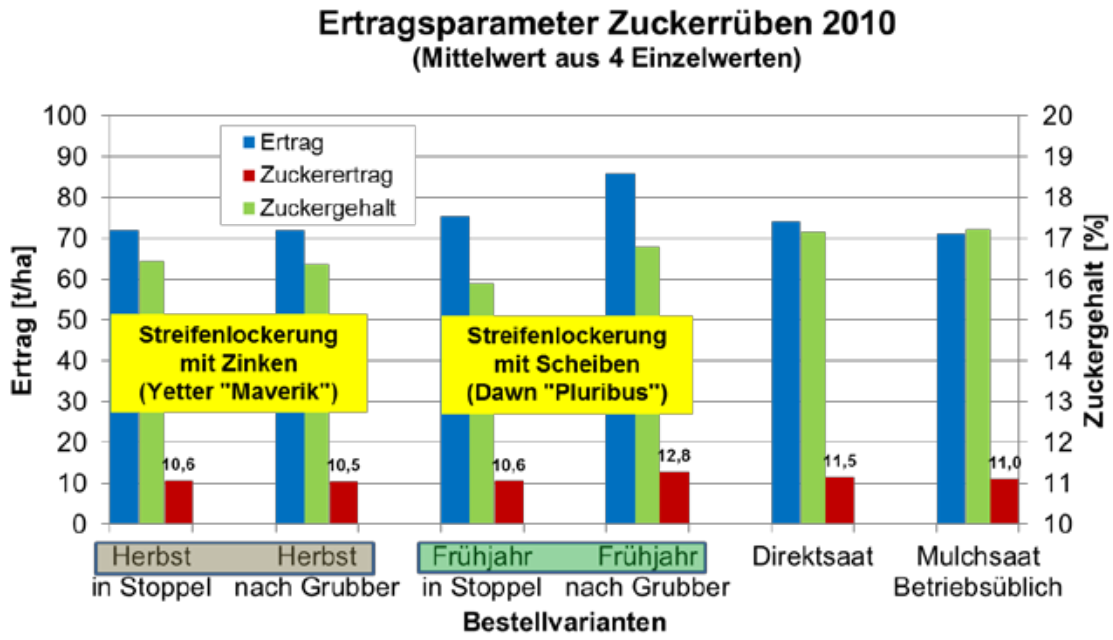


Abb. 35: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2010 Betrieb 1 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).

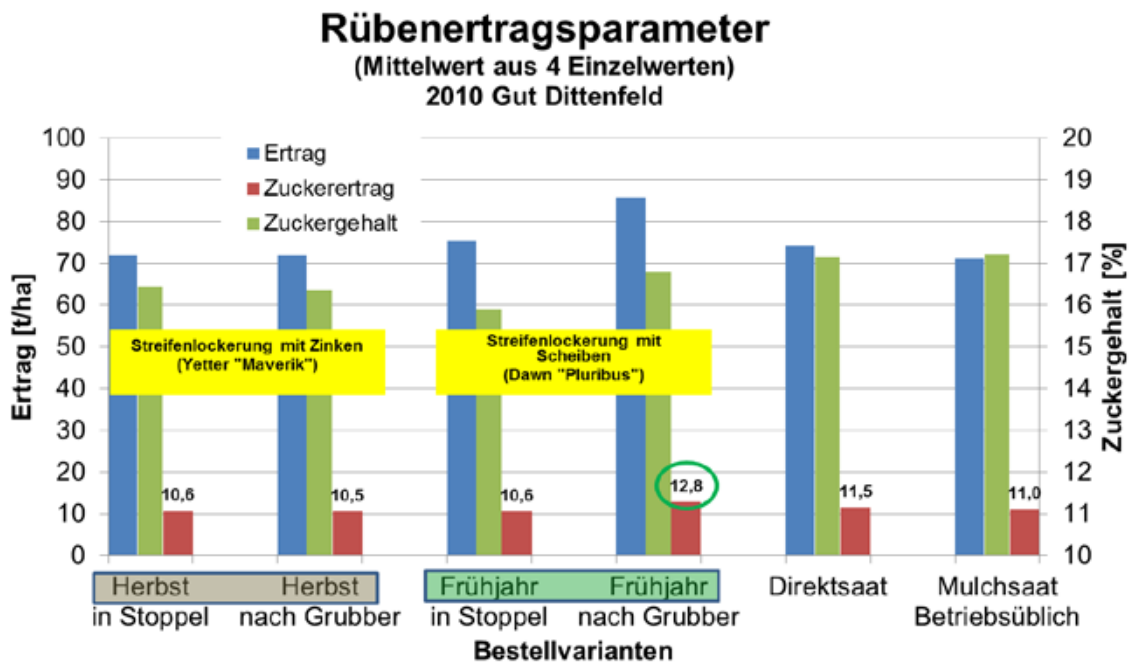


Abb. 36: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2010 Betrieb 2 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).

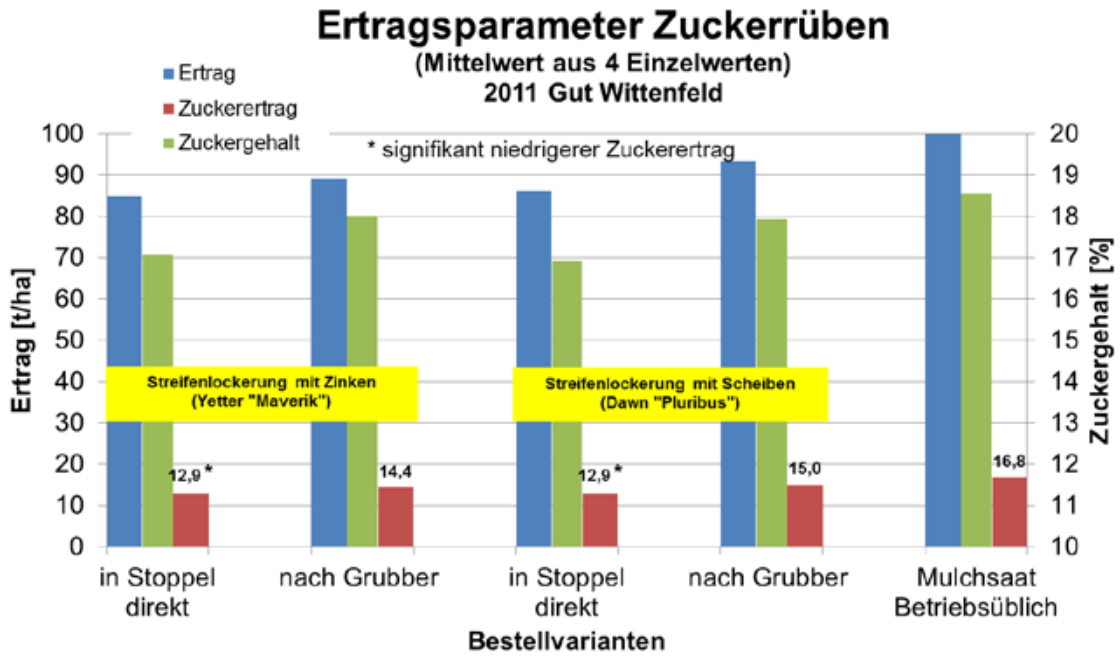


Abb. 37: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2011 Betrieb 1 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).

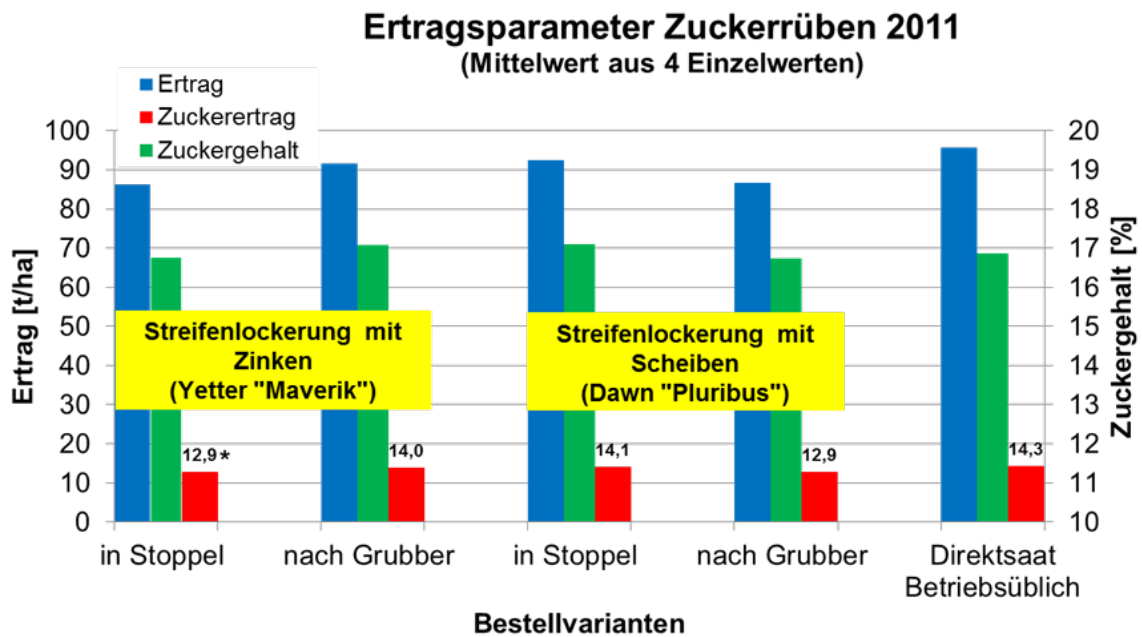


Abb. 38: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2011 Betrieb 2 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).

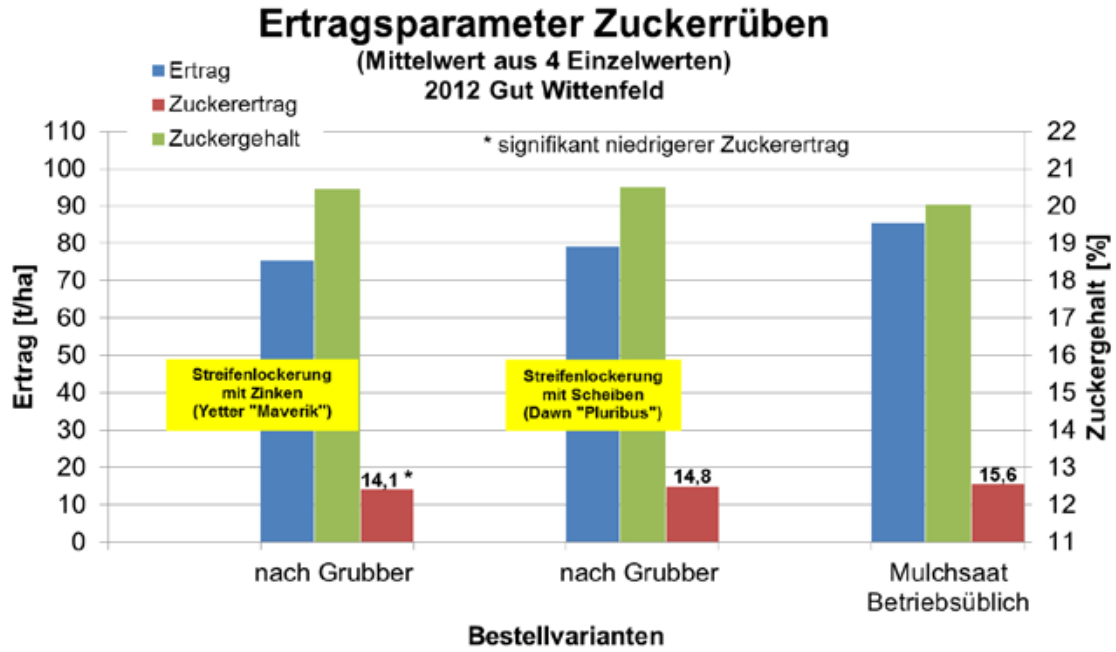


Abb. 39: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2012 Betrieb 1 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).

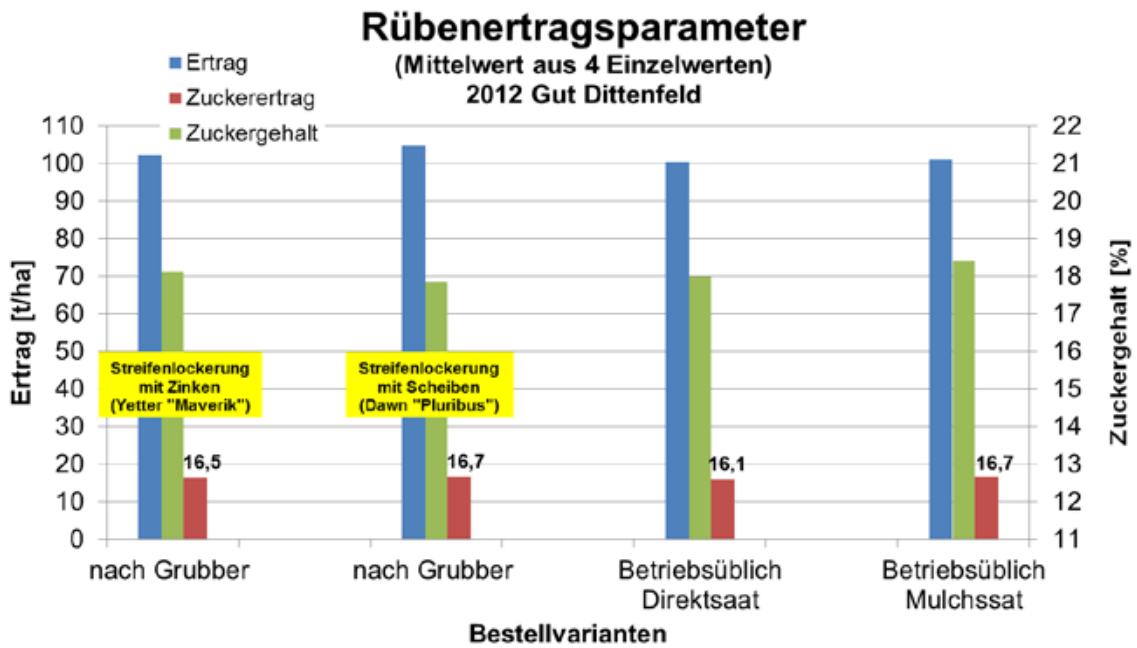


Abb. 40: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2012 Betrieb 2 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).

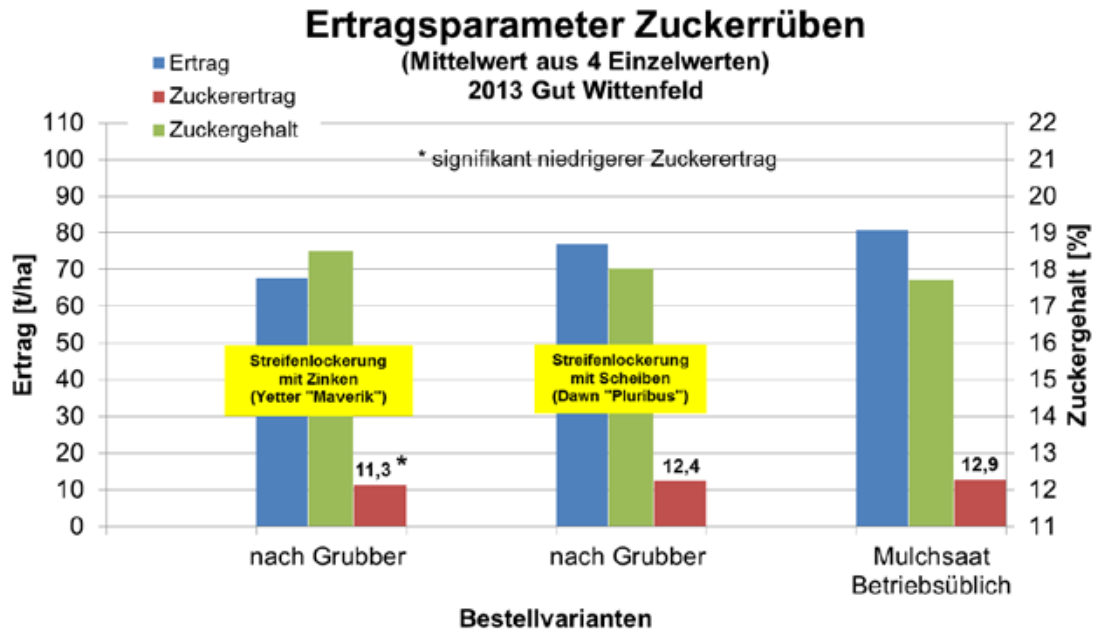


Abb. 41: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2013 Betrieb 1 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).

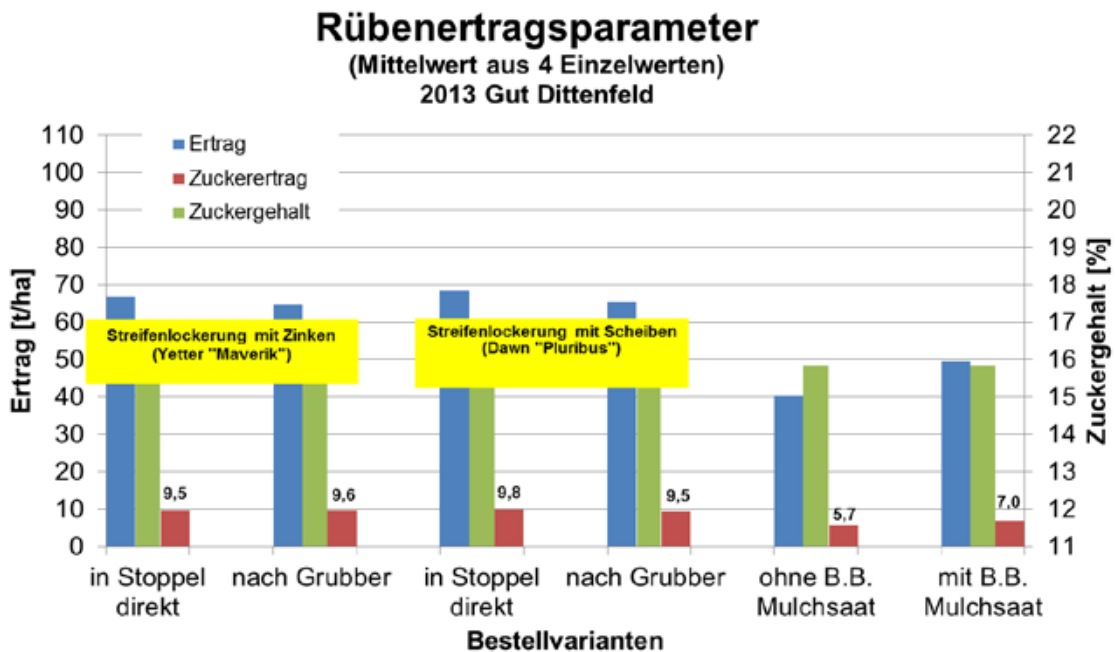


Abb. 42: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2013 Betrieb 2 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).

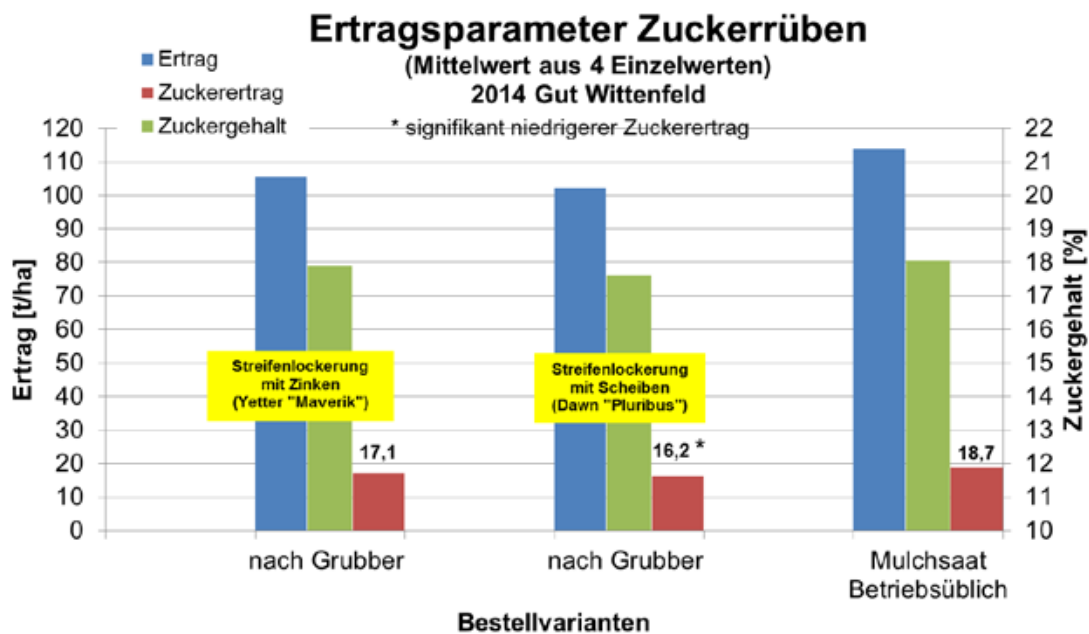


Abb. 43: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2014 Betrieb 1 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).

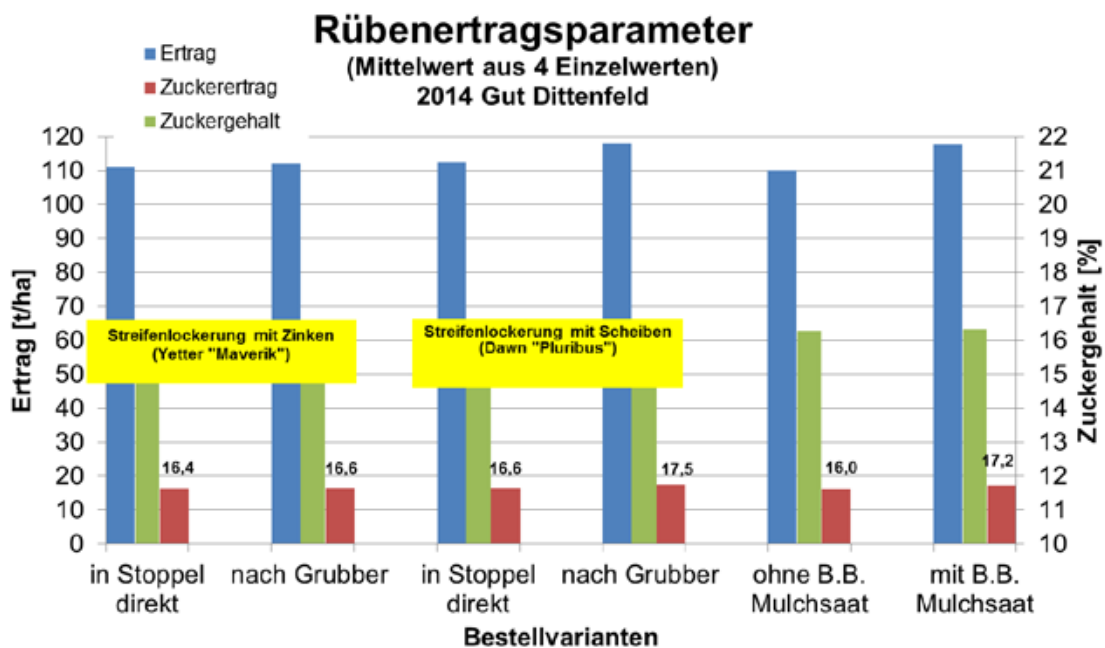


Abb. 44: Zuckerrübenenerträge Streifenbodenbearbeitung 2014 Betrieb 2 (Mittelwert aus 4 Einzelwerten).

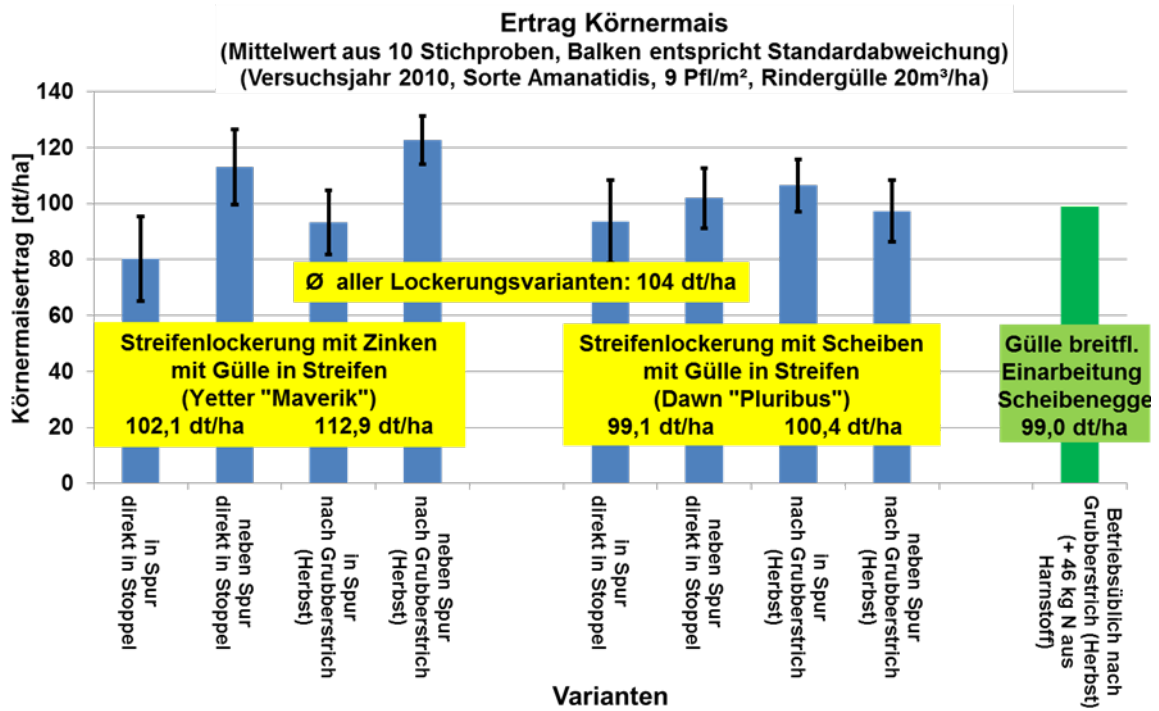


Abb. 45: Körnermaisertäge Streifenbodenbearbeitung 2010 Betrieb 3 (Mittelwert aus 10 Einzelwerten je Variante).

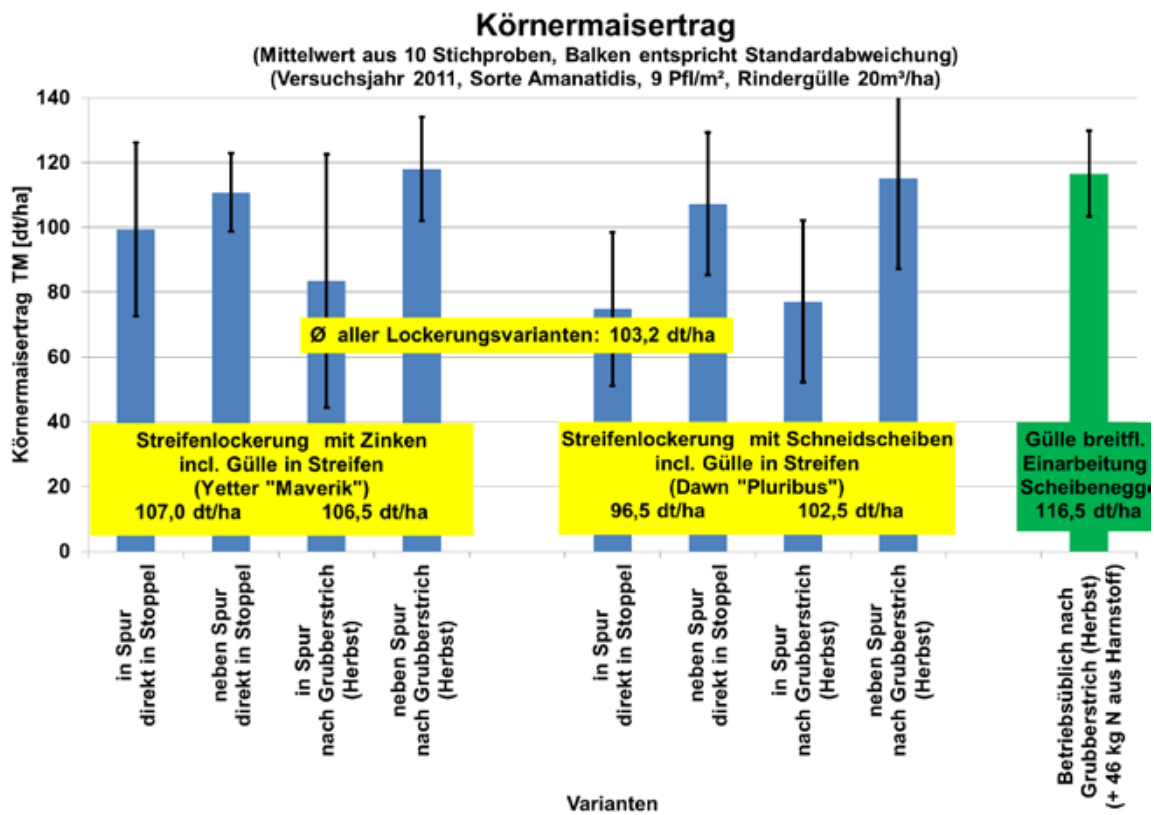


Abb. 46: Körnermaisertäge Streifenbodenbearbeitung 2011 Betrieb 3 (Mittelwert aus 10 Einzelwerten je Variante).

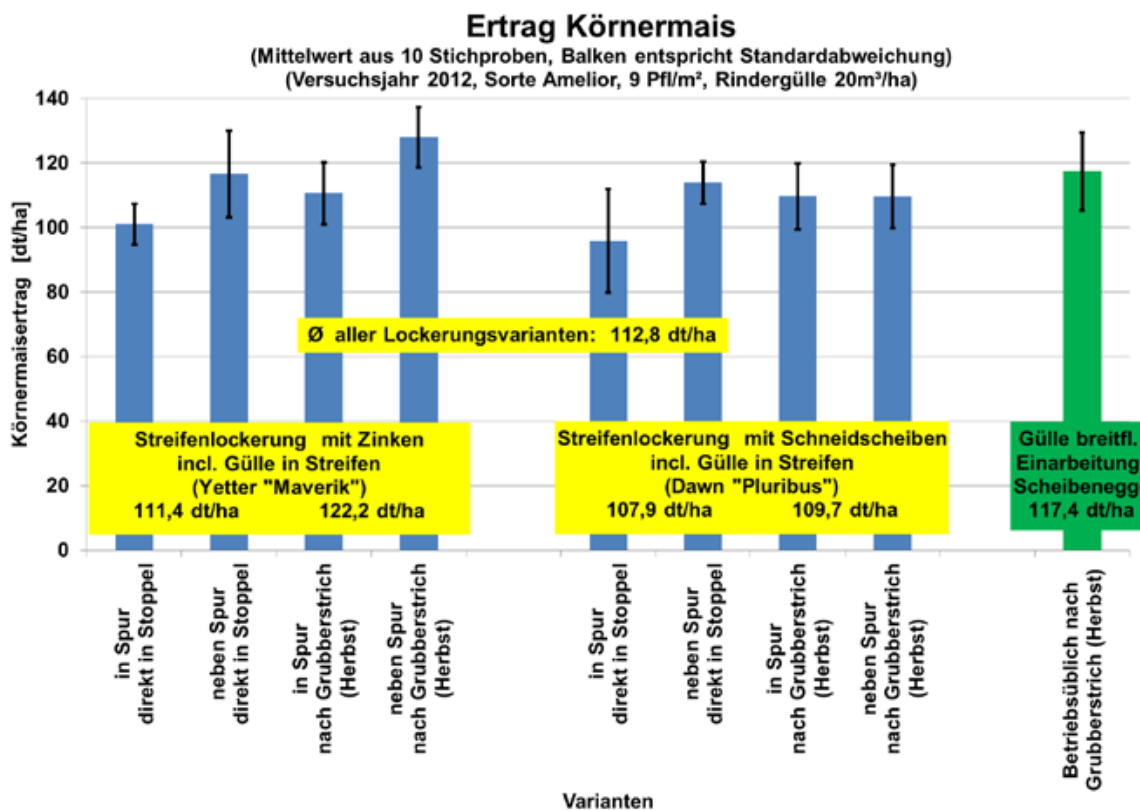


Abb. 47: Körnermaisenerträge Streifenbodenbearbeitung 2012 Betrieb 3 (Mittelwert aus 10 Einzelwerten je Variante).

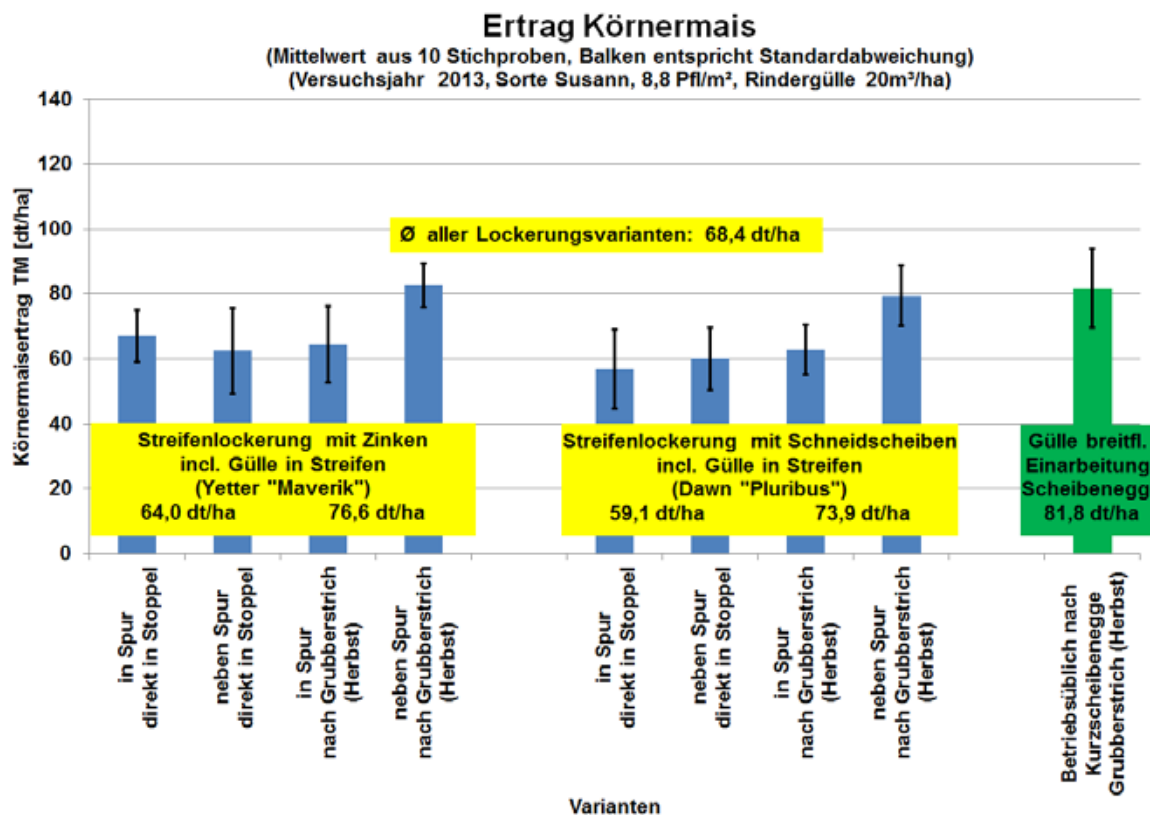


Abb. 48: Körnermaisenerträge Streifenbodenbearbeitung 2013 Betrieb 3 (Mittelwert aus 10 Einzelwerten je Variante).

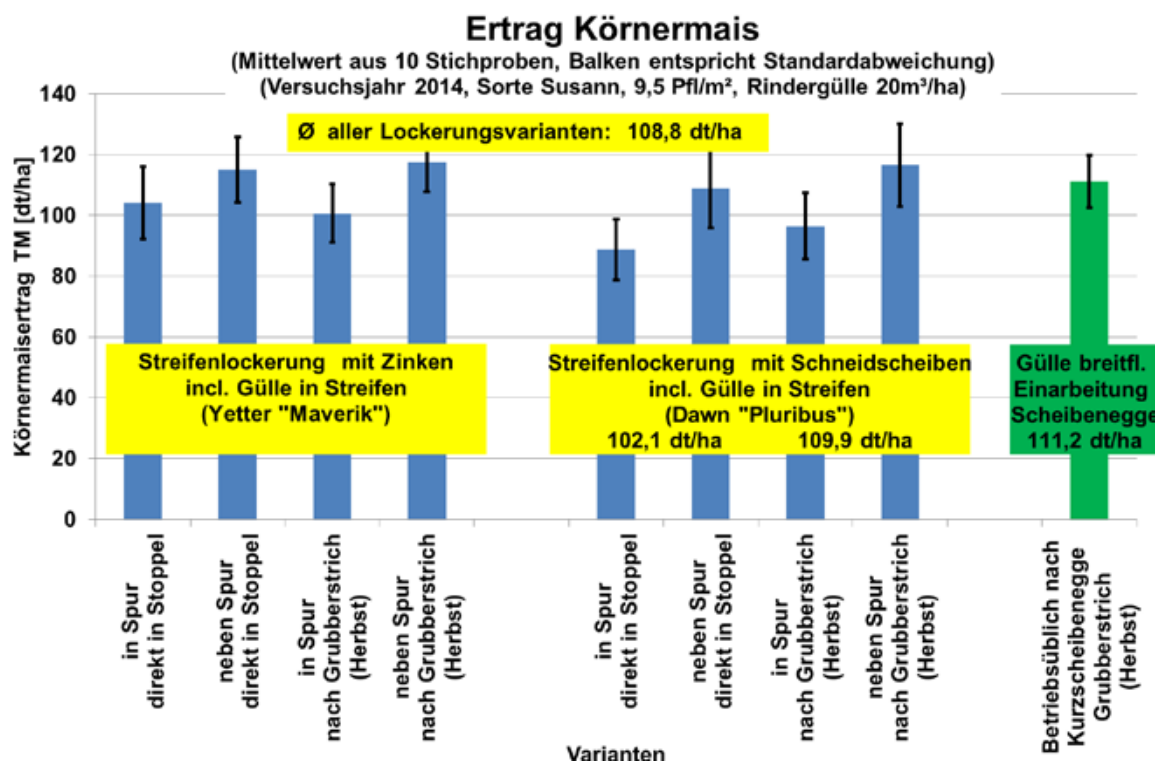


Abb. 49: Körnermiserträge Streifenbodenbearbeitung 2014 Betrieb 3 (Mittelwert aus 10 Einzelwerten je Variante).