



HOCHSCHULE
NEUBRANDENBURG
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Fachgebiet Landtechnik

Prof. Dr. habil Sandra Rose

Masterthesis

Einfluss der Scharform, Fahrgeschwindigkeit und Aussaattiefe auf die Bestandesetablierung von Erbsen in der Direktsaat

von

Felix Rothbarth

Neubrandenburg

10. Februar 2025

Erstgutachter/in: Prof. Dr. habil Sandra Rose

Zweitgutachter/in: Dipl.-Ing. (SFI / IWE) Kai Potthoff

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2024-0204-8

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
Danksagung.....	1
Kurzfassung	2
Abstract (English).....	3
1 Einleitung	4
1.1 Problemstellung	4
1.2 Zielsetzung.....	5
1.3 Aufbau der Arbeit.....	6
2 Stand der Technik	7
2.1 Direktsaat.....	7
2.2 Sämaschinen	12
2.3 Säscharre	15
3 Material und Methoden	22
3.1 Standort.....	22
3.2 Versuchsaufbau und Randomisierung	23
3.3 Vorstellung der Sämaschinen für den Versuch	27
3.5 Sortenwahl und Aussaatverfahren	31
3.6 Wetter Daten.....	32
3.7 Bonitierung	33
3.7.1 Methodik und Bewertung der Wurzelbonitierung.....	36
3.7.2 Bonitierung Hypokotylllänge	38
3.7.3 Unkraut und Ungras Bonitierung	39
3.8 Erfassung Dieserverbrauch	40
3.9 Statistische Auswertung	41
4 Ergebnisse und Auswertung Bonitierung	43
4.1 Feldaufgang	44
4.2 Hypokotylllänge und Ablagepräzision	51
4.3 Bestandeshöhe	58
4.4 Wurzelbonitierung	60
4.5 Unkräuter und Ungräser (s. Tab. A. 21 bis 28):	61
4.6 Dieserverbrauch	61
4.7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Interpretation.....	63
5 Diskussion.....	67
5.1 Standort.....	67
5.2 Versuchsaufbau und Variablen.....	67

5.3 Technik	68
5.4 Bonitierung und Auswertung.....	69
5.5 Ackerbauliche Maßnahmen	70
6 Fazit und Ausblick.....	72
7 Quellenangaben	75
7.1 Zusatzliteratur.....	87
8 Anhang.....	90
Eidesstattliche Erklärung	107

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wasserspeicherung nach Bodenbearbeitung	9
Abbildung 2: Bodentemperatur nach Bodenbearbeitung	10
Abbildung 3: Unterschiedliche Scharsysteme und die Saatgut Ablage	21
Abbildung 4: Erosionsgefährdung	23
Abbildung 5: Säschar JD 750A	27
Abbildung 6: Scharsystem Köckerling Ultima 300	28
Abbildung 7: Zinken	30
Abbildung 8: Beispiel eines Boniturfensters und Dokumentation	34
Abbildung 9: Bonitur Bsp. 1 Abbildung 10: Bonitur Bsp. 2	37
Abbildung 11: Vergleich Block 1: Bonitur 14.05.2024 Null-Parzelle und 60er-Schar	45
Abbildung 12: Feldaufgang Erbsen pro m ²	46
Abbildung 13: Feldaufgang Erbsen pro Reihe	47
Abbildung 14: Feldaufgang Pflanzen pro m ² Bonitur 2	49
Abbildung 15: 0-Parzelle Ablagetiefe 3cm bei 7 km/h	52
Abbildung 16: Vergleich der Ablage 3cm bei 6 km/h	53
Abbildung 17: Vergleich der Ablage 3cm bei 9 km/h	54
Abbildung 18: Vergleich der Ablage 3cm bei 12 km/h	55
Abbildung 19: Vergleich der Ablage 5cm bei 9 km/h	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile mechanischer und pneumatischer Sämaschinen	14
Tabelle 2: Vergleich Meißelschar und Zinkenschar	16
Tabelle 3: Vergleich Grubberartige Säscharsysteme und Kreuzschlitzschar	18
Tabelle 4: Vergleich Einscheiben- und Zweiseibenschar	20
Tabelle 5: Versuchsaufbau Geschwindigkeiten und Ablagtiefen in den Blöcken	25
Tabelle 6: Randomisierung in den Blöcken und Markierung zur Identifizierung	26
Tabelle 7: Vergleich JD 750 A und Köckerling Ultima	29
Tabelle 8: Skala Wurzelbonitierung und Erklärung	37

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BÜK 400	Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:400.000
cm	Centimeter
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
FA	Feldaufgang
GPS	Global Positioning System
JD	John Deere
km/h	Kilometer pro Stunde
kö/m ²	Körner pro Quadratmeter
Mio.	Millionen
RTK	Real Time Kinematik
Tab.	Tabelle
Ut2	schwach toniger Schluff
Ut4	stark toniger Schluff

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen meinen herzlichen Dank aussprechen, die mich während meines Studiums und insbesondere bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt **Prof. Dr. habil. Sandra Rose**, die mich mit wertvollen Anregungen und konstruktivem Feedback begleitet hat. Ihre fachliche Unterstützung und die persönlichen Gespräche während des gesamten Arbeitsprozesses waren für mich von unschätzbarem Wert.

Ein ebenso großes Dankeschön richte ich an **Kai Potthoff**, der mich intensiv betreut hat und stets mit Rat und Tat zur Seite stand. Seine fachliche Expertise sowie seine offene und hilfsbereite Art haben maßgeblich zur erfolgreichen Umsetzung dieser Arbeit beigetragen.

Mein Dank gilt auch **Johannes Jerchel**, der nicht nur seinen landwirtschaftlichen Betrieb, seine Maschinen und Versuchsflächen für diese Untersuchung zur Verfügung stellte, sondern mich auch tatkräftig in sämtlichen Prozessen unterstützt hat.

Darüber hinaus möchte ich meinen Kommilitonen danken, die mit anregenden Diskussionen, kritischen Fragen und neuen Perspektiven meine Arbeit bereichert haben.

Abschließend gilt mein tief empfundener Dank meinem Vater, der mir stets ein verlässlicher Ansprechpartner war und mich während meines gesamten Studiums in jeder Hinsicht unterstützt hat.

Felix Rothbarth

Neubrandenburg den 10.02.2025

Kurzfassung

Diese Arbeit untersucht den Einfluss verschiedener Scharvarianten, Ablagetiefen und Fahrgeschwindigkeiten auf die Bestandesetablierung unter spezifischen Standortbedingungen im Kontext der konservierenden Landwirtschaft. Im allgemeinen Teil sowie im Kapitel „Stand der Technik“ wird der aktuelle wissenschaftliche Kenntnisstand zur bodenschonenden Bewirtschaftung zusammengefasst. Darüber hinaus erfolgt eine detaillierte Beschreibung der Versuchsfläche unter Berücksichtigung relevanter Standortfaktoren wie Bodenbeschaffenheit, Klimabedingungen und bisheriger Bewirtschaftung. Eine technische Analyse der eingesetzten Aussaatverfahren bildet die Grundlage für die systematische Darstellung des Versuchsaufbaus, einschließlich der angewandten Randomisierungsmethodik zur Sicherstellung der statistischen Validität.

Die Versuchsauswertung erfolgt mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) und Post-hoc-Tests (Tukey-HSD), um Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen aufzuzeigen. Die Ergebnisse werden in Hinblick auf Effizienz und Nachhaltigkeit analysiert. Die Diskussion reflektiert methodische Limitationen, potenzielle Fehlerquellen und die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die landwirtschaftliche Praxis.

Die zentrale Forschungsfrage lautet:

Inwiefern beeinflussen die Scharvarianten, die Ablagetiefe und die Fahrgeschwindigkeit die Bestandesetablierung unter den gegebenen Standortbedingungen?

Abschließend werden die zentralen Erkenntnisse zusammengefasst und in den wissenschaftlichen Kontext eingeordnet. Zudem erfolgt ein Ausblick auf weiterführende Forschungsansätze und die potenzielle praktische Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse.

Abstract (English)

This study investigates the impact of different coulter types, seeding depths, and driving speeds on crop establishment under specific site conditions in the context of conservation agriculture. The general section and the chapter on the "State of the Art" provide an overview of the current scientific knowledge on soil-conserving farming practices. Furthermore, a detailed site description is provided, considering key environmental factors such as soil properties, climatic conditions, and previous land use. A technical analysis of the applied seeding techniques lays the foundation for the systematic presentation of the experimental design, including the applied randomization methodology to ensure statistical validity.

The experimental data is analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA) and post-hoc tests (Tukey-HSD) to identify significant differences between treatment groups. The results are systematically compared in terms of efficiency and sustainability. The discussion critically reflects on methodological limitations, potential sources of error, and the applicability of the findings to practical agricultural use.

The central research question is:

To what extent do coulter types, seeding depth, and driving speed influence crop establishment under the given site conditions?

Finally, the key findings are summarized and contextualized within the broader research framework. Additionally, an outlook on further research approaches and the potential practical application of the results is provided to highlight their relevance and future development.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die zentrale Fragestellung unserer Gesellschaft lautet: Wie kann eine effizientere und nachhaltigere Landwirtschaft gestaltet werden? Angesichts der dringenden globalen Herausforderung, den anthropogenen Klimawandel zu begrenzen, rückt insbesondere die Reduzierung klimaschädlicher Emissionen in den Fokus der landwirtschaftlichen Forschung.[1]

Der Anteil der CO₂-Emissionen aus der Landwirtschaft betragen 8% an den Gesamtemissionen in Deutschland im Jahr 2022.[2]

Deutschland hat sich im Rahmen nationaler Klimaschutzbestrebungen das Ziel gesetzt, den Treibhausgasausstoß bis zum Jahr 2030, um mindestens 65 % im Vergleich zum Basisjahr 1990 zu senken. Entsprechend sieht das Klimaschutzgesetz vor, die Emissionen in der deutschen Landwirtschaft bis 2030 auf 56 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente zu reduzieren.[3][4] Diese Zielvorgaben erfordern nicht nur technologische und betriebliche Innovationen, sondern auch eine grundlegende Umgestaltung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungspraktiken.

Ein gravierendes Problem, das die Effizienz und Nachhaltigkeit der Landwirtschaft maßgeblich beeinträchtigt, ist die Bodenerosion. Die jährliche Abtragung von durchschnittlich rund 25 Millionen Tonnen Boden durch Wassererosion in Deutschland führt zu einem irreversiblen Verlust an fruchtbarem Boden und einhergehend zu erheblichen Nährstoffverlusten.[5] Die Erosionsanfälligkeit wird dabei maßgeblich durch den Grad der Bodenbedeckung sowie die Intensität der Bodenbearbeitung bestimmt, je höher die Bedeckung und je geringer die mechanische Beanspruchung des Bodens, desto niedriger ist das Erosionsrisiko.[6][7][8] Vor diesem Hintergrund enthält das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) in § 17 die Vorgaben zur „Guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft“, die unter anderem eine standortangepasste Bewirtschaftung, die Vermeidung von Bodenverdichtung und die Förderung des Humusaufbaus fordert.[9]

Die konservierende Landwirtschaft hat sich in den letzten Jahren als eine Alternative zu konventionellen Bewirtschaftungsformen etabliert. Dieses Konzept integriert zentrale Aspekte der guten fachlichen Praxis, indem es Verfahren wie die Direktsaat einsetzt, um die Bodenbearbeitung zu minimieren und somit die Lebensbedingungen für Mikroorganismen und Bodenlebewesen zu verbessern.[10] Ergänzend dazu spielen der Anbau von

Zwischenfrüchten („grüne Brücke“) zur Humusförderung, Wasserspeicherung, Nährstoffrückhaltung sowie der Erosionsschutz eine bedeutende Rolle.[10] Eine diversifizierte Fruchtfolge, in der auch der vermehrte Anbau von Leguminosen wie der Erbse berücksichtigt wird, stellt einen weiteren essenziellen Baustein dar.[11] Eine signifikante Steigerung der Erntemenge von Erbsen von 130.000 t im Jahr 2013 auf 266.000 t im Jahr 2023 lässt sich aufzeigen.[12]

Im empirischen Teil dieser Arbeit wird der Fall des Landwirts Herrn Jerchel untersucht, der seinen Betrieb von einer konventionellen auf eine konservierende Landwirtschaft mit Direktsaat umstellt. Ziel der Untersuchung ist es, den Einfluss von Parametern wie Schare, Ablagetiefe und Fahrgeschwindigkeit auf die Etablierung des Pflanzbestandes (qualitative Dimension) sowie auf den Dieserverbrauch und potenzielle Ertragsverluste (ökonomische Dimension) zu analysieren. Durch die integrative Betrachtung beider Ebenen sollen praxisnahe Optimierungsstrategien entwickelt werden, um Handlungsempfehlungen für Herrn Jerchel aufzustellen und ihn damit nachhaltig und wirtschaftlich für die Zukunft aufzustellen.

1.2 Zielsetzung

Da die Sämaschinen eine zentrale Schlüsseltechnologie darstellen in der modernen Landwirtschaft, in der eine präzise und erfolgreiche Aussaat die Grundlage für eine optimale Jugendentwicklung der Pflanzen bildet und somit maßgeblich zu hohen Erträgen beiträgt.[13][14] Soll es Ziel dieser Arbeit sein, auf einer qualitativen Ebene zu untersuchen, in welchem Maße unterschiedliche Scharformen, Ablagetiefen und Fahrgeschwindigkeiten bei gleichbleibenden Rahmenbedingungen die Bestandesetablierung beeinflussen. Hierzu werden vier verschiedene Zinkenschare mit einer Nullparzelle verglichen, die unter Einsatz einer Scheibenmaschine bestellt wird.

Auf einer ökonomischen Ebene soll analysiert werden, inwiefern die genannten Parameter wie die Scharvarianten, die Ablagetiefen und die Fahrgeschwindigkeiten, sowohl die Bestandesetablierung als auch den Dieserverbrauch beeinflussen. Dabei steht die Identifikation eines optimalen Verhältnisses zwischen Bestandesetablierung und Kraftstoffverbrauch im Vordergrund. Dieses Optimum soll nicht nur dazu beitragen, die Ressourceneffizienz zu steigern und den Dieserverbrauch zu minimieren, sondern auch eine wirtschaftlich tragfähige und zukunftsorientierte Grundlage für den landwirtschaftlichen Betrieb von Herrn Jerchel zu schaffen.

Für die Untersuchung stehen zwei Maschinen mit einer Arbeitsbreite von jeweils drei Metern zur Verfügung: eine John Deere 750A (Scheibenmaschine) für die Nullparzelle und eine Köckerling Ultima (Zinkenmaschine), die mit drei unterschiedlichen Zinkenscharen und einem Meißelschar ausgestattet wurden.[15][16]

Die spezifischen Eigenschaften und Funktionsweisen dieser Maschinen sowie der untersuchten Scharvarianten werden im Kapitel „Material und Methoden“ detailliert beschrieben

1.3 Aufbau der Arbeit

Im allgemeinen Teil sowie im Kapitel „Stand der Technik“ wird der aktuelle wissenschaftliche Kenntnisstand im Kontext der konservierenden Landwirtschaft und der bodenschonenden Bewirtschaftung dargelegt. Darüber hinaus erfolgt eine detaillierte Beschreibung des Standorts der Versuchsfläche unter Berücksichtigung relevanter Standortfaktoren wie Bodenbeschaffenheit, Klimabedingungen und bisheriger Bewirtschaftung. Es schließt sich eine technische Analyse der eingesetzten Aussaatverfahren an, wobei spezifische technische Parameter, wie Schartypen, Ablagetiefen und Fahrgeschwindigkeiten, näher erläutert werden. Darauf aufbauend wird der Versuchsaufbau systematisch dargestellt, einschließlich der angewandten Randomisierungsmethodik zur Sicherstellung statistischer Validität. Abschließend wird die Methodik der Bonitierung beschrieben, um die Erfassung und Bewertung der Versuchsergebnisse transparent darzustellen.

Im vierten Kapitel liegt der Fokus auf der detaillierten Darstellung und Analyse der Versuchsdaten. Hierbei wird aufgezeigt, wie die erhobenen Daten ausgewertet wurden, beispielsweise durch statistische Verfahren wie der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) und Post-hoc-Tests dem Tukey-HSD Test. Im Hauptteil der Arbeit werden die Ergebnisse der verschiedenen Behandlungsgruppen systematisch gegenübergestellt, um Zusammenhänge zu identifizieren und Rückschlüsse hinsichtlich der Effizienz und Nachhaltigkeit der untersuchten Maßnahmen zu ziehen.

Die Diskussion reflektiert die Versuchsergebnisse kritisch. Hierbei werden potenzielle Schwächen der Daten, methodische Limitationen des Versuchsaufbaus sowie die Plausibilität der gezogenen Rückschlüsse debattiert.

Mit der Forschungsfrage:

Inwiefern beeinflussen die Scharvarianten, die Ablagetiefe und die Fahrgeschwindigkeit, die Bestandesetablierung unter den gegebenen Standortbedingungen?

Abschließend werden die zentralen Erkenntnisse der Arbeit zusammengefasst, reflektiert und in den Kontext der übergeordneten Fragestellung eingeordnet. Zudem wird ein Ausblick auf weiterführende Forschungsansätze sowie auf die potenzielle praktische Anwendung der Ergebnisse gegeben, um deren Relevanz und zukünftige Entwicklung zu beleuchten.

2 Stand der Technik

2.1 Direktsaat

Der Schutz der wertvollen Ressource Boden wird durch das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) geregelt, insbesondere durch § 17, der die "Gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft" definiert und sich aus der Vorsorgepflicht gemäß § 7 ableitet. Absatz 2 des § 17 beschreibt die Grundsätze der guten fachlichen Praxis, wobei insbesondere eine standortangepasste Bewirtschaftung, die Vermeidung von Bodenverdichtung sowie die gezielte Zufuhr von organischer Substanz zur Förderung des Humusaufbaus im Vordergrund stehen. Ziel dieser Maßnahmen ist die langfristige Erhaltung und Verbesserung der Bodenstruktur.[9][17]

Obwohl die Direktsaat in vielen Regionen der Welt weit verbreitet ist, spielt sie in Deutschland bislang eine untergeordnete Rolle. Von den insgesamt etwa 11,7 Millionen Hektar Ackerfläche werden lediglich 150.600 Hektar mittels Direktsaat bewirtschaftet.[18] Zum Vergleich: In Brasilien erfolgt die Bewirtschaftung von mehr als 60 % der Ackerfläche nach dem Direktsaatprinzip, was etwa 32 Millionen Hektar entspricht.[19][20]

In Argentinien liegt die entsprechende Fläche bei rund 27 Millionen Hektar, was in etwa mehr als 90% der gesamten Ackerfläche entspricht.[21][22]

Die *Direktsaat*, im englischen *No-Till*, ist durch eine *minimale* Bodenstörung charakterisiert und setzt voraus, dass weniger als 25 % des Oberbodens bewegt werden. Dies trägt maßgeblich zum Erhalt der Bodenstruktur bei, reduziert die Bodenerosion und unterstützt die nachhaltige Nutzung landwirtschaftlicher Flächen.[17] Die Direktsaat trägt maßgeblich zum Schutz des Bodenlebens bei und minimiert das Risiko der Bodenerosion. In einem 27-jährigen Feldversuch in Niederösterreich konnte eine Reduktion der Erosion um 88 %

nachgewiesen werden. Trotz tendenziell geringerer Erträge und daraus resultierender niedrigerer Produkterlöse erwies sich die Wirtschaftlichkeit der Direktsaat als vergleichbar mit jener konventioneller Anbaumethoden. Dies ist auf signifikante Einsparungen bei Maschinenkosten, Treibstoffverbrauch und Arbeitsaufwand zurückzuführen, wodurch die geringeren Erträge finanziell kompensiert wurden.[23]

Um die *ökologischen* und *agronomischen Vorteile der Direktsaat* fundiert zu analysieren, ist eine detaillierte Betrachtung der *Abbildungen 1 und 2* erforderlich. Diese Abbildungen veranschaulichen die Auswirkungen verschiedener Bodenbearbeitungsmethoden auf zentrale bodenphysikalische Parameter wie Wasserverfügbarkeit und Bodentemperatur, die maßgeblich für die nachhaltige Bodenbewirtschaftung sind und Ursachen für reduzierte Feldaufgänge liefern können.[24]

Die **Abbildung 1** veranschaulicht den Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsmethoden auf die Wasserverfügbarkeit im Boden und die Verdunstungsverluste. Es werden vier unterschiedliche Bearbeitungssysteme dargestellt:

No-Till (Direktsaat): Der höchste Wassergehalt im Boden mit 32 % verbleibt in der Wurzelzone. Durch das vollständige Belassen von Ernterückständen auf der Bodenoberfläche wird die Infiltration gefördert und die Verdunstung reduziert.

Diese Methode fördert zudem die Bodenstruktur und minimiert die Erosionsanfälligkeit.

Vertical Till (Vertikale Bodenbearbeitung): Hier verbleiben 25 % des Wassers im Boden. Durch die mechanische Bearbeitung wird die Infiltration verbessert, jedoch kann es zu einer teilweisen Störung der Bodenaggregate kommen, was eine erhöhte Verdunstung zur Folge hat.

Chisel Plow (Meißelpflugverfahren): Mit einem verbleibenden Wasseranteil von 19 % zeigt dieses Verfahren die stärkste Reduktion der Wasserverfügbarkeit. Durch tiefere Eingriffe in den Boden wird die Aggregatstabilität gestört, was zu einer erhöhten Verdunstung führt. Die Wasseraufnahme kann zudem durch Bodenverdichtungen beeinträchtigt werden.

Strip Till (Streifenbearbeitung): Mit 29 % Wassergehalt bietet diese Methode eine gute Balance zwischen Wasserspeicherung und Bodenlockerung. Durch gezielte Lockerung nur

in den Pflanzreihen wird eine gute Wasseraufnahme ermöglicht, während der zwischen den Reihen ungestörte Boden Verdunstungsverluste reduziert.

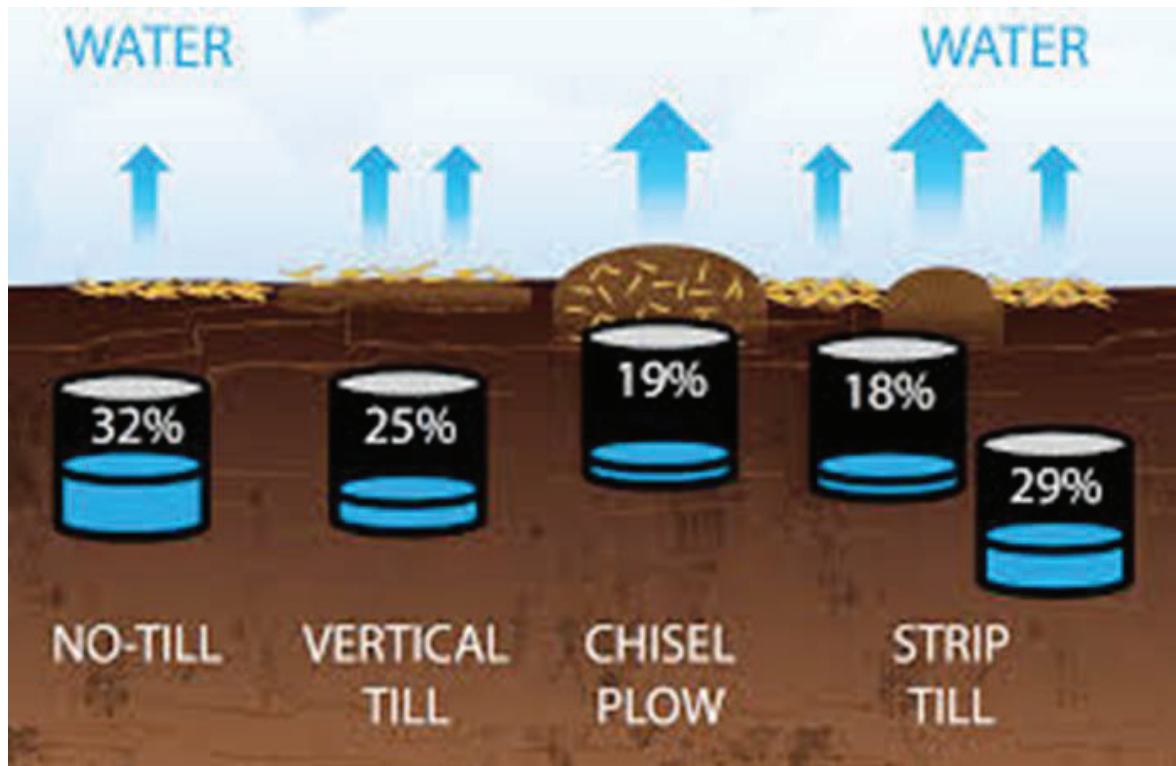


Abbildung 1: Wasserspeicherung nach Bodenbearbeitung

Wasserspeicherung nach Bodenbearbeitung

Die Ergebnisse der Abbildung verdeutlichen, dass minimalinvasive Bodenbearbeitungsverfahren (No-Till, Strip-Till) die Wasserspeicherung signifikant verbessern und Verdunstungsverluste minimieren kann. Dies ist insbesondere unter Bedingungen mit limitierter Wasserverfügbarkeit von entscheidender Bedeutung. Die Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität trägt somit nicht nur zur Verbesserung der Wasserhaushaltsbilanz bei, sondern kann auch langfristig zur Erosionskontrolle, Kohlenstoffspeicherung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit beitragen.[25][26]

Die **Abbildung 2** zeigt den Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungssysteme auf die Bodentemperatur. Sie veranschaulicht die Unterschiede in der Wärmespeicherung und Wärmeleitung zwischen Direktsaat (No-Till), vertikaler Bodenbearbeitung (Vertical Till), Meißelpflugbearbeitung (Chisel Plow) und Streifenbearbeitung (Strip Till). Die gemessenen Bodentemperaturen reichen von 42 °F (5,5 °C) bei No-Till bis zu 51 °F (10,5 °C) bei Strip Till.

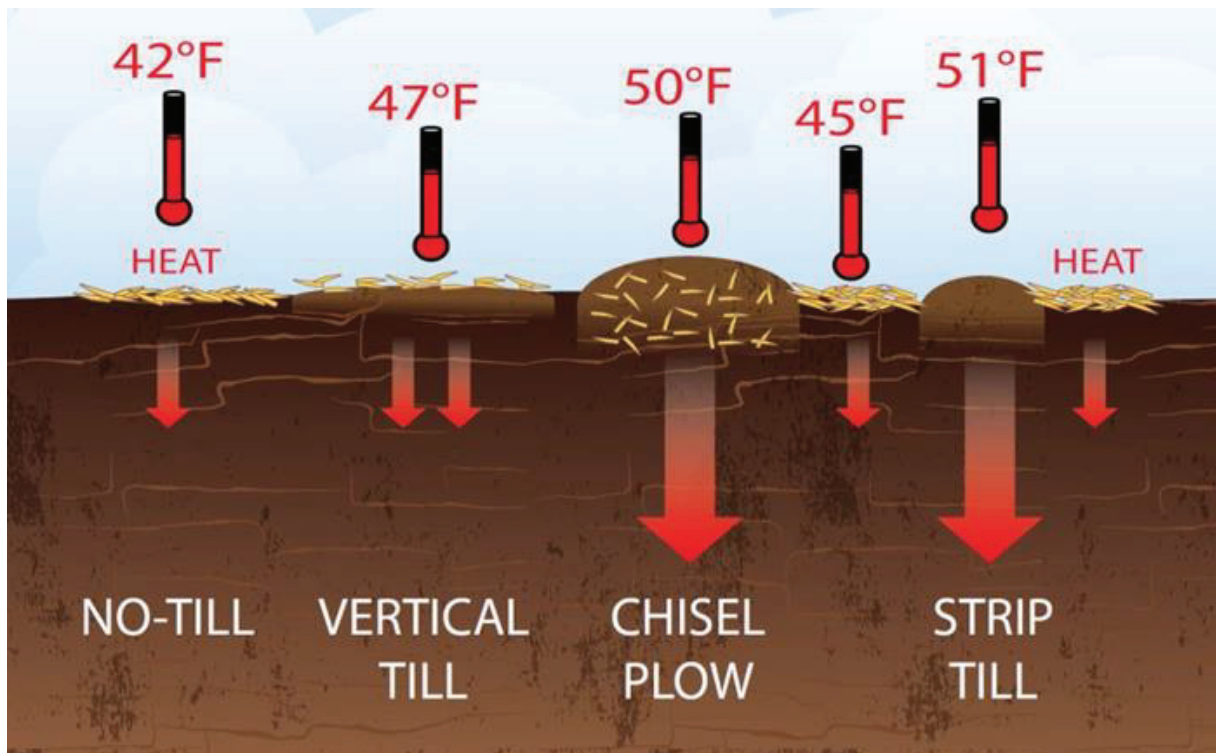


Abbildung 2: Bodentemperatur nach Bodenbearbeitung

Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Bodentemperatur

Die Bodenbearbeitung beeinflusst die Bodentemperatur maßgeblich durch Veränderungen in der Bodenstruktur, der Bodenbedeckung und der Wärmedurchlässigkeit.

No-Till (42 °F / 5,5 °C): Die Bodentemperatur ist hier am niedrigsten, da die organische Mulchschicht auf der Oberfläche verbleibt. Diese Schicht reduziert die direkte Sonneneinstrahlung und verhindert eine schnelle Erwärmung des Bodens. Gleichzeitig minimiert sie Verdunstung, was in trockenen Regionen vorteilhaft sein kann.

Vertical Till (47 °F / 8,3 °C): Die leicht aufgelockerte Bodenstruktur verbessert die Wärmedurchlässigkeit, während die organische Auflage teilweise erhalten bleibt. Dies führt zu einer moderaten Erwärmung des Bodens im Vergleich zur Direktsaat.

Chisel Plow (50 °F / 10 °C): Die tiefe Lockerung durch den Meißelpflug fördert eine stärkere Wärmeeindringung. Durch das Einmischen von Ernterückständen ist der Boden weniger bedeckt, was die Absorption von Sonnenstrahlung erhöht. Dieses Verfahren beschleunigt die Erwärmung, kann aber auch die Bodenfeuchte stärker reduzieren.

Strip Till (51 °F / 10,5 °C): Diese Methode kombiniert Elemente der Direktsaat und der konventionellen Bodenbearbeitung. Durch das gezielte Lockern von Streifen bleibt ein Teil der Bodenbedeckung erhalten, während andere Bereiche intensiver bearbeitet werden.

Die höhere Bodentemperatur resultiert aus der Kombination von freiliegendem Boden und verbessertem Wärmeeintrag in die gelockerten Zonen.

Die Bodentemperatur stellt einen der zentralen bodenphysikalischen Parameter dar, der maßgeblich die Keimung, Jugendentwicklung und das Wachstum von Kulturpflanzen beeinflusst. Sie steuert wesentliche biologische Prozesse wie den Wasser- und Nährstofftransport, die Wurzelentwicklung und die mikrobielle Aktivität im Boden. Dabei variiert der optimale Temperaturbereich je nach Pflanzenart, Bodentyp und Anbausystem.[20]

Niedrige Bodentemperaturen (z. B. No-Till): Als Nachteile ergeben sich eine verzögerte Keimung und geringere Nährstoffverfügbarkeit. Vorteilhaft in trockenen Regionen zur Feuchterhaltung.

Moderate Bodentemperaturen (Vertical Till, Chisel Plow): Ausgewogenes Verhältnis zwischen Erwärmung und Feuchterhaltung. Gute Bedingungen für eine schnelle Bestandesetablierung.

Hohe Bodentemperaturen (Strip Till): Schnelle Keimung und Wurzelentwicklung, jedoch erhöhte Verdunstung. Besonders vorteilhaft für wärmeliebende Kulturen wie Mais oder Soja.

Abschließend, die Wahl der Bodenbearbeitungsmethode hat erhebliche Auswirkungen auf die Bodentemperatur und damit auf die Keimungsbedingungen. Während No-Till die Bodenfeuchte bewahrt, kann Strip-Till eine schnellere Erwärmung fördern, was insbesondere in kühleren Klimazonen vorteilhaft sein kann. Eine standortspezifische Anpassung der Bodenbearbeitung ist daher essenziell, um optimale Erträge und Ressourcennutzung zu gewährleisten.[27][28]

Die Direktsaat führt zusätzlich zu einer Schichtung der mikrobiellen Aktivität, mit erhöhter Aktivität in den obersten Bodenschichten und einer Abnahme in tieferen Schichten. Die ungestörte Bodenstruktur begünstigt spezifische Mikroorganismen, insbesondere Pilze, die für den Abbau von Oberflächenrückständen verantwortlich sind.[29]

Die Direktsaat fördert zudem die Anreicherung von organischem Kohlenstoff in den oberen Bodenschichten, während in tieferen Schichten geringere Kohlenstoffgehalte beobachtet werden können. Die reduzierte Bodenstörung trägt zur Erhaltung des Kohlenstoffs im Boden bei und kann die CO₂-Emissionen verringern.

Insbesondere durch die Bodenbearbeitung wird die Freisetzung von Kohlendioxid (CO₂) aus landwirtschaftlich genutzten Böden maßgeblich beeinflusst. Intensive Verfahren wie das Pflügen erhöhen die mikrobielle Aktivität durch Sauerstoffeintrag in tiefere Bodenschichten, was zu einem beschleunigten Abbau organischer Substanz und somit zu erhöhten CO₂-Emissionen führt. Eine Studie der Universität Kiel zeigte, dass bei der Maisdirektsaat 57 % weniger Treibhausgasemissionen pro Hektar gemessen wurden als bei der Pflugsaat.[30]

2.2 Sämaschinen

Sämaschinen stellen eine zentrale mechanisierte Technologie im landwirtschaftlichen Pflanzenbau dar und werden nach ihrer Anbindung an den Traktor sowie nach der Art der Saatgutzufuhr klassifiziert. Diese Unterscheidung ist essenziell, da unterschiedliche Systeme spezifische Anforderungen an die Agrartechnik und die Effizienz der Aussaatprozesse stellen.[31][32][33]

Klassifizierung nach der Anlenkung an den Traktor

Abhängig von der Konstruktionsweise und den mechanischen Kopplungsmethoden an den Traktor lassen sich Sämaschinen in folgende Kategorien einteilen:

Anbau-Sämaschinen werden über ein Dreipunktgestänge direkt am Heck des Traktors oder an einem Bodenbearbeitungsgerät montiert. Der Antrieb erfolgt über Laufräder, ein Spornrad oder in seltenen Fällen über die Zapfwelle. Die Nutzung dieser Maschinen erfordert eine hohe Hubkraft der Traktorhydraulik, da sie vollständig vom Traktor getragen werden. Dabei ist eine ausreichende Ballastierung der Vorderachse notwendig, um die Stabilität und das Fahrverhalten des Traktors nicht zu beeinträchtigen.[31][32][33]

Aufbau-Sämaschinen sind auf ein Bodenbearbeitungsgerät aufgesattelt und bilden mit diesem eine funktionale Einheit. Sie finden in der Direktsaat keine Anwendung, da sie primär für kombinierte Arbeitsgänge konzipiert sind, bei denen Saatgutablage und Bodenbearbeitung simultan erfolgen.[31][32][33]

Anhänge-Sämaschinen werden über eine Zugdeichsel mit der Anhängerkupplung oder einer Kugelkopf-Kupplung des Traktors verbunden. Ihr Antrieb erfolgt üblicherweise durch ein Spornrad, das in Kontakt mit dem Boden steht und die notwendigen mechanischen Bewegungen zur Dosierung des Saatguts überträgt.[31][32][33]

Klassifizierung nach der Art der Saatgutzufuhr

Neben der mechanischen Kopplung an den Traktor sind Sämaschinen nach dem Funktionsprinzip der Saatgutzufuhr zu differenzieren. Dabei wird zwischen mechanischen und pneumatischen Säsystemen unterschieden.

Mechanische Sämaschinen nutzen ein Schubrad- oder Nockenradprinzip zur Saatgutzufuhr. Diese Technologie zeichnet sich durch eine einfache Bauweise, eine hohe Betriebssicherheit und eine präzise Saatgutablage aus. Aufgrund der kompakten Konstruktion sind jedoch sowohl die Arbeitsbreite als auch die Größe des Saatgutbehälters limitiert, was zu reduzierten Flächenleistungen führt. [31][32][33]

Pneumatische Sämaschinen arbeiten mit einem Luftstrom- und Zellenradmechanismus zur Verteilung des Saatguts. Diese Maschinen sind technologisch anspruchsvoller und mit höheren Investitionskosten verbunden, bieten jedoch eine höhere Präzision in der Saatgutdosierung und -verteilung. Dadurch kann eine gleichmäßigere Bestandesetablierung gewährleistet werden, insbesondere bei großflächigen Anbauverfahren.[34]

Die Vor- und Nachteile von mechanischen und pneumatischen Sämaschinen werden in Tabelle 1 noch mal zusammengefasst und Übersichtlich dargestellt.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile mechanischer und pneumatischer Sämaschinen

Mechanische Sämaschine	Pneumatische Sämaschine
<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none">- Präzise Saatgutablage- Einfache Bauweise/Wartungsarm- Geräuscharm/ keine Ölwanne- Aussaatmenge in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit	<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none">- Größere Saatgutbehälter- Größere Arbeitsbreiten- Präzise Saatmengen- Geringere Restmengen in Saatbehälter- Einfach einstellbare Parameter
<p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none">- Begrenzte Arbeitsbreiten- Kleinere Saatgutbehälter- Abdrehen der Maschine aufwendiger- Für besseren Saatgutfluss Verlagerung des Schwerpunktes nach Hinten	<p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none">- Komplexe Technologie (Elektronik)/ Wartungsintensiver- Höhere Kosten aufgrund komplexer Bauweise und Wartungsintensivität- Lärmintensiv und Ölwanne

Bewertung der Systeme im agronomischen Kontext

Die Wahl der Sämaschine hat direkte Auswirkungen auf die Betriebsökonomie, die Saatgutausnutzung und die Effizienz der Bestandesetablierung. Während mechanische Systeme durch eine robuste Bauweise und eine kostengünstige Wartung überzeugen, ermöglichen pneumatische Systeme eine exaktere Saatablage und höhere Flächenleistungen. In der Praxis hängt die Auswahl des geeigneten Systems stark von der Betriebsgröße, den Bodenverhältnissen und den Anforderungen der jeweiligen Kulturart ab.[34]

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die mechanische Sätechnik in kleineren und mittleren Betrieben wirtschaftliche Vorteile bietet, während pneumatische Systeme aufgrund ihrer höheren Präzision und Arbeitsbreite insbesondere in großflächigen Produktionssystemen Anwendung finden. Die Weiterentwicklung dieser Technologien zielt darauf ab, durch eine optimierte Saatgutablage, verringerte Überlappungen und ressourcenschonende Verfahren eine höhere Effizienz und Nachhaltigkeit in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion zu gewährleisten.[34][35]

2.3 Säscharre

In der modernen Sätechnik kommen verschiedene Scharsysteme zum Einsatz, darunter *Meißelschar* (Chisel Opener), *Zinkenschar* (Hoe Tine Opener), *Kreuzschlitzschar* (Cross Slot Opener), *Einscheibenschar* (Single Disc Opener) und *Zweischeibenschar* (Double Disc Opener). Jedes dieser Systeme weist spezifische Vor- und Nachteile auf, die sich auf die Effizienz der Saatgutablage und die Bodenbearbeitung auswirken.[35][36][37]

Beide Scharvarianten, *Meißelschar* (Chisel Opener) und *Zinkenschar* (Hoe Tine Opener), gehören zu den *grubberartigen Säscharsystemen* und werden vor allem in Direktsaatverfahren sowie in reduzierten Bodenbearbeitungssystemen eingesetzt. Sie unterscheiden sich jedoch in ihrer Bodeninteraktion, der Störwirkung auf die Bodenstruktur sowie ihrer Eignung für verschiedene Standorte und Bedingungen.[35][36][37]

Meißelschar (Chisel Opener) zu diesen Scharen gehört das *OF-Schar*:

- **Funktionsweise:**

Das Meißelschar arbeitet mit einer schmalen, meißelförmigen Scharspitze, die in den Boden eindringt und eine schmale Saatrille öffnet. Dabei wird der Boden minimal gestört, und es findet kaum eine Vermischung mit Pflanzenresten statt.

- **Bodenwirkung:**

Geringe Bodenbewegung, da das Schar den Boden vertikal durchschneidet.

Minimaler Bodenaustausch, wodurch die Feuchtigkeit im Boden besser erhalten bleibt.

Gute Tiefenführung, auch auf festen und tonhaltigen Böden.

- **Eignung:**

Besonders geeignet für Direktsaat und reduzierte Bodenbearbeitungssysteme.

Optimal für Böden mit hoher Verdichtungsneigung, da es Risse im Unterboden erzeugt und so die Wurzelentwicklung fördert.

Weniger geeignet für sehr lockere Sandböden, da dort keine stabilen Saatrillen entstehen. [35][36][37]

Zinkenschar (Hoe Tine Opener) zu diesen gehören das 60mm-; 100mm- und GF-Schar:

- **Funktionsweise:**

Das Zinkenschar ist ein grubberartiges Werkzeug, das mit einem gebogenen Zinken in den Boden eindringt und eine breitere Saatrille erzeugt. Dabei wird der Boden leicht umgewälzt, und es können mehr Pflanzenreste eingemischt werden als beim Meißelschar.

- **Bodenwirkung:**

Höhere Bodenstörung als das Meißelschar, da die Zinken den Boden aufbrechen und lockern.

Erhöhte Erosionsanfälligkeit, da der Boden stärker bewegt wird.

Bessere Rückverfestigung und Saatgutbedeckung als beim Meißelschar, da mehr feiner Boden auf das Saatgut fällt.

- **Eignung:**

Besonders vorteilhaft für gut durchlüftete Böden mit mittlerem bis hohem Sandanteil. Geeignet für Regionen mit hoher Oberflächenverdichtung, da es den Boden lockert und so die Keimbedingungen verbessert.

Weniger geeignet für sehr feuchte oder tonreiche Böden, da es hier zu Schmier- und Verkrustungseffekten kommen kann. [35][36][37]

Tabelle 2: Vergleich Meißelschar und Zinkenschar

Kriterium	Meißelschar (Chisel Opener)	Zinkenschar (Hoe Tine Opener)
<i>Saatrillenbreite</i>	Schmal	Breit
<i>Bodenbewegung</i>	Gering	Moderat bis hoch
<i>Erosionsanfälligkeit</i>	Niedrig	Erhöht
<i>Eignung für Direktsaat</i>	Sehr gut	Gut, aber mit mehr Bodenbewegung
<i>Saatgutbedeckung und Bodenschluss</i>	Leicht, wenig Bodenschluss	Besserer Bodenschluss durch mehr Erde
<i>Geeignete Bodenarten</i>	Verdichtete Böden, tonreiche Standorte	Lockere, durchlässige Böden mit höherem Sandanteil
<i>Keimbedingungen</i>	Gute Wasserspeicherung	Bessere Durchlüftung, kann Feuchtigkeit schneller verlieren

Kreuzschlitzschar (Cross Slot Opener): Das Cross-Slot-System besteht aus einem Einscheibenschar mit zwei seitlich angeordneten Flügeln. Diese schaffen durch einen horizontalen Schnitt eine Öffnung im Boden, in welcher Saatgut oder Dünger abgelegt werden kann. Dieses System minimiert die Bodenstörung und ermöglicht eine präzise Platzierung des Saatguts.[38][39]

Kreuzschlitzschar (Cross Slot Opener) wurde im Versuch nicht berücksichtigt:

Das Kreuzschlitzschar (Cross Slot) ist eine innovative Technologie für Direktsaat, die eine minimalinvasive Saatrille mit präziser Saatgutablage ermöglicht. Es kombiniert eine rotierende Einscheibenschar mit seitlichen Führungselementen, die eine kreuzförmige Öffnung im Boden erzeugen.

- **Funktionsweise:**

Eine schräg angeordnete Schneidscheibe durchtrennt die Bodenoberfläche, ohne den Boden aktiv zu wenden.

Seitlich angeordnete Führungselemente öffnen einen horizontalen Saatspalt, in den das Saatgut exakt platziert wird.

Nachlaufrollen oder Pressräder verschließen die Saatrille und sorgen für einen guten Bodenschluss.

- **Bodenwirkung:**

Extrem geringe Bodenstörung, wodurch Bodenstruktur, Feuchtigkeit und Mikroorganismen erhalten bleiben.

Minimale Verdunstung, da der Boden nahezu unberührt bleibt.

Exzellente Ernterestverarbeitung, da die Schneidscheibe Rückstände schneidet, anstatt sie zu verschieben.

Reduziertes Erosionsrisiko, da die geschlossene Bodenstruktur Wasser besser infiltrieren lässt.[38][39][40]

- **Eignung:**

Besonders vorteilhaft für Erosionsgefährdete, trockene Böden um dort eine Direktsaat mit minimaler Bodenbewegung, durchzuführen.

Tabelle 3: Vergleich Grubberartige Säscharsysteme und Kreuzschlitzschar

Kriterium	Grubberartige Säscharsysteme	Kreuzschlitzschar (Cross Slot)
<i>Saatrillenform</i>	Schmal bis Breit	t-förmig, sehr schmal
<i>Bodenbewegung</i>	Mittel bis hoch je nach Schar	Sehr gering bis Minimal
<i>Unkraut- und Ernterest-Durchtrennung</i>	Sehr gut	Weniger effizient
<i>Erosionsanfälligkeit</i>	Höher durch Bodenöffnung	Sehr gering
<i>Eignung für Direktsaat</i>	Möglich, aber mit Einschränkungen	Ideal für Direktsaat
<i>Saatgutbedeckung und Bodenschluss</i>	Teilweise ungleichmäßig in feuchten Böden	Präzise Platzierung in seitlichen Spalten
<i>Geeignete Bodenarten</i>	Mittelschwere bis schwere Böden	Erosionsgefährdete, trockene Böden
<i>Keimbedingungen</i>	Gute Wasserspeicherung	Bessere Durchlüftung, kann Feuchtigkeit schneller verlieren

Die Tabelle 3 stellt nochmal die **grubberartigen Säscharsystemen** und dem **Kreuzschlitzschar (Cross-Slot)** gegenüber. Dabei werden mehrere Kriterien miteinander verglichen, um die jeweiligen Vor- und Nachteile dieser beiden Sätechniken zu verdeutlichen.

grubberartige Säscharsysteme eignen sich besser für Standorte mit hohem Unkrautdruck und feuchtere Böden, bei denen eine stärkere Bodenbearbeitung erforderlich ist.

Kreuzschlitzschar (Cross-Slot) ist die bevorzugte Methode für Direktsaat, da es den Boden kaum stört, die Erosionsanfälligkeit reduziert und besonders für trockene, erosionsgefährdete Standorte geeignet ist.[38][39][40]

Sowohl das **Einscheibenschar (Single Disc Opener)** als auch das **Zweischeibenschar (Double Disc Opener)** gehören zu den scheibenbasierten Säscharsystemen, die vor allem in reduzierter Bodenbearbeitung und Direktsaat eingesetzt werden. Sie unterscheiden sich primär in ihrer Saatrillenbildung, der Bodenbewegung, dem Verschluss der Saatrille sowie ihrer Eignung für unterschiedliche Bodenverhältnisse.[38][41][42]

Einscheibenschar (Single Disc Opener) wurde *im Versuch* für die *Nullparzelle* verwendet:

- **Funktionsweise:**

Besteht aus einer einzelnen Scheibe, die schräg zum Boden ausgerichtet ist.

Die drehende Scheibe schneidet eine schmale Saatfurche, während ein Andruckrad oder Nachlaufrolle für den Bodenschluss sorgt.

Ideal für Direktsaat, da es Pflanzenreste effizient durchtrennt und die Bodenstruktur kaum stört.[41][42][43]

- **Bodenwirkung:**

Minimalinvasive Bodenbearbeitung, da nur eine schmale Saatrille geöffnet wird.

Geringere Störwirkung auf Bodenlebewesen und Bodenstruktur, daher besser für erosionsgefährdete Böden geeignet.

Kann in sehr feuchten oder tonreichen Böden Probleme mit ungleichmäßiger Saatgutbedeckung verursachen, da der Boden nicht vollständig geöffnet wird.[41][42][43]

- **Eignung:**

Besonders gut geeignet für Mulchsaat und Direktsaat, da es Ernterückstände leicht durchtrennt.

Ideal für Böden mit hohem Erosionsrisiko, da wenig Boden bewegt wird.

Weniger geeignet für lockere, trockene oder stark tonhaltige Böden, da die Saatfurche nicht immer optimal geschlossen wird.[41][42][43]

Zweischeibenschar (Double Disc Opener) wurde im Versuch nicht berücksichtigt:

- **Funktionsweise:**

Besteht aus zwei leicht gegeneinander geneigten Scheiben, die beim Vortrieb eine V-förmige Saatrille öffnen.

Diese Bauweise ermöglicht eine präzisere Saatablage, da das Saatgut zentriert in der Mitte der Rille platziert wird.

Die Scheiben arbeiten symmetrisch, wodurch die Saatrille gleichmäßig tief und gut geformt ist.[43][44]

- **Bodenwirkung:**

Erhöhte Bodenbewegung im Vergleich zum Einscheibenschar, da die Saatrille breiter und sauberer geöffnet wird.

Bessere Saatgutbedeckung, da die nachfolgenden Anpressrollen die Erde effizienter auf das Saatgut zurückführen.

Gleichmäßigere Keimbedingungen, da die Pflanze von Beginn an einen optimal geformten Wurzelraum hat.[43][44]

- **Eignung:**

Optimal für gleichmäßige und präzise Saatgutablage, insbesondere in gut bearbeiteten Böden. Geeignet für mittelschwere bis schwere Böden, da die Scheiben besser in den Boden eindringen. Weniger effizient in Mulchsaat und Direktsaat, da es mehr Probleme mit Pflanzenresten haben kann als das Einscheibenschar.[43][44]

Tabelle 4: Vergleich Einscheiben- und Zweiseibenschar

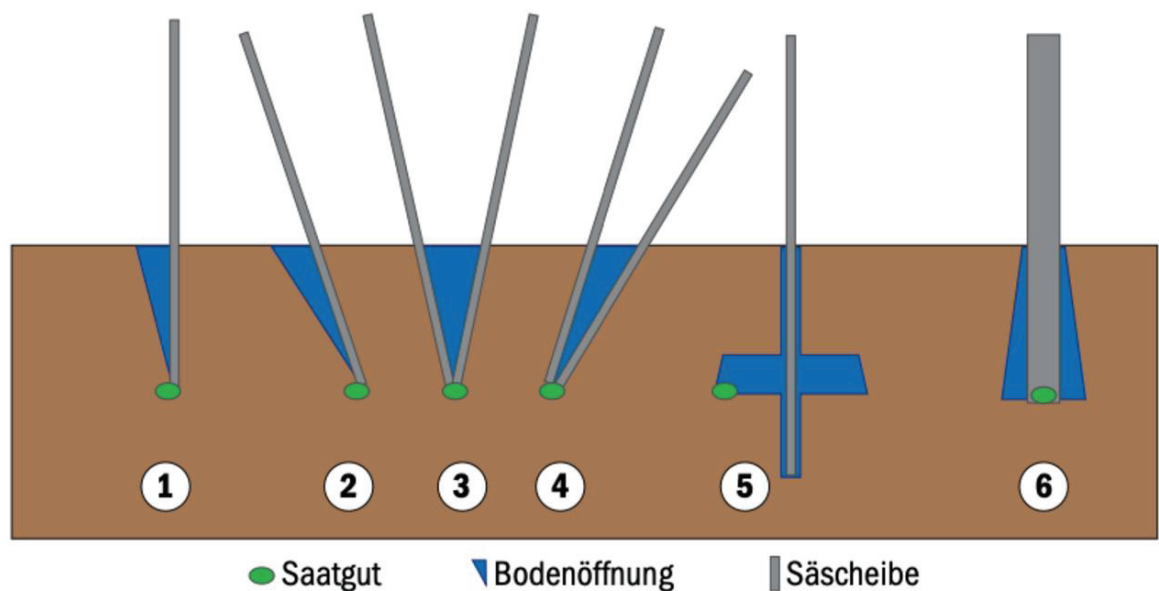
Kriterium	Einscheibenschar (Single Disc Opener)	Zweiseibenschar (Double Disc Opener)
Saatrillenform	Schmal, schlitzförmig	V-förmig, breiter
Bodenbewegung	Minimal	Moderat
Unkraut- und Ernterest-Durchtrennung	Sehr gut	Weniger effizient
Erosionsanfälligkeit	Sehr Niedrig	Moderat
Eignung für Direktsaat	Sehr gut	Eingeschränkt
Saatgutbedeckung und Bodenschluss	Teilweise ungleichmäßig in feuchten Böden	Besserer Bodenschluss durch mehr Erde
Geeignete Bodenarten	Mulch- und Direktsaat, erosionsgefährdete Böden	Konventionell bearbeitete Böden, mittlere bis schwere Böden
Keimbedingungen	Gute Wasserspeicherung	Bessere Durchlüftung, kann Feuchtigkeit schneller verlieren

Die Parameter Schardruck sowie bei Scheibensystemen der Scheibenwinkel (disc angle) und der Neigungswinkel (tilt angle) variieren zwischen den Maschinen und beeinflussen die Leistung der Sämaschine erheblich. Untersuchungen haben gezeigt, dass unterschiedliche

Scheiben- und Neigungswinkel signifikante Auswirkungen auf Parameter wie das Profil der Furche, die Verteilung von Pflanzenresten, die Querschnittsfläche der Furche und den gestörten Bodenbereich an den Furchenrändern haben.[45][46]

Dies wird auch in Abbildung 3 veranschaulicht, in der eine vergleichende Gegenüberstellung der wesentlichen Scharssysteme erfolgt. Es wird ein Einscheibenschar einmal **Senkrecht** (1) und einmal mit **Untergriff** (2) dargestellt.

Kurz zur Erläuterung: Der Untergriff bei einer Einscheibensämaschine bezeichnet die geneigte Position der einzelnen Säscheibe relativ zur Fahrtrichtung. Dabei wird die Scheibe so ausgerichtet, dass ihre untere Schneidkante leicht nach innen geneigt ist. Dies kann Auswirkungen auf die Saatgutablage, die Bodenstruktur und die Keimbedingungen haben.



6 Scharssysteme: Einscheibenschar (1), Einscheibenschar Undercut (2), Zweiseibenschar (3), Zweiseibenschar Undercut (4), Kreuzschlitzschar (5), Zinkenschar (6).

(Grafik Raphael Lauper)

Abbildung 3: Unterschiedliche Scharssysteme und die Saatgut Ablage

Des Weiteren sehen wir ein **Zweiseibenschar**(3) und ein **Zweiseibenschar mit Undercut** (4), auch hier ein veränderte Ablageposition und eine veränderte Bodenbewegung. Abschließend noch das **Kreuzschlitzschar** (5) und das **Zinkenschar** (6).

Die Wahl des geeigneten Scharsystems und die Einstellung der genannten Parameter sollten daher sorgfältig an die spezifischen Boden- und Feldbedingungen angepasst werden, um eine optimale Saatgutablage und Pflanzenetablierung zu gewährleisten

3 Material und Methoden

3.1 Standort

Der landwirtschaftliche Betrieb von Herrn Jerchel bewirtschaftet eine Fläche von etwa 400 Hektar im Ostthüringer Lössgebiet, genauer im Altenburger Land, in der Ortschaft Priefel. Die Böden dieser Region sind überwiegend als schluffiger Lehm auf Löss klassifiziert, entsprechend den Einheiten Ut2 und Ut4 gemäß der Bodenübersichtskarte 1:400.000 (BÜK400)[47]. Diese Böden zeichnen sich durch einen Tonanteil von 13–15 % und einen Sandanteil von etwa 2 % aus.[48]

Die spezifische Textur dieser Böden, geprägt durch hohe Schluff- und Tonanteile, beeinflusst maßgeblich deren physikalische Eigenschaften. So neigen sie bei Nässe zu einer erhöhten Klebrigkeit und Verschmierung, was die Bearbeitbarkeit erschwert, und die Abtrocknung verzögert. Zudem führt der geringe Sandanteil zu einer reduzierten Durchlüftung und einem niedrigen Porenvolumen, wodurch die Bodenerwärmung im Vergleich zu humusreicheren Böden, wie beispielsweise Schwarzerden, verlangsamt abläuft.[49][50][51]

Der für den Versuch ausgewählte Schlag befindet sich an der L2464 am Ortseingang von Zehma und weist eine Hangneigung von 6,5 % bei einer kritischen Hanglänge von 83 Metern auf. Diese topografischen Gegebenheiten begünstigen eine erhöhte Anfälligkeit für Erosion, insbesondere Wassererosion. Die Erosionsgefährdung wird durch Faktoren wie hohe Niederschlagsintensitäten ($>7,5$ mm bzw. 5 mm/h), fehlende Bodenbedeckung und Hanglängen über 50 Meter verstärkt. Lehmige und schluffige Böden sind dabei besonders erosionsgefährdet.[52][53]

Die Fruchtfolge des Betriebs in den Jahren 2019 bis 2023 umfasste Winterweizen(2019), Winterraps(2020), Wintergerste(2021), Mais mit Zwischenfrucht(2022) sowie Winterweizen(2023). Nach der Ernte des Winterweizens im Sommer 2023 wurde eine Zwischenfrucht in Direktsaatverfahren etabliert, um den Boden vor Erosion zu schützen und die Bodenstruktur zu verbessern.

Die Erosionsgefährdungskarte (Abbildung 2) illustriert die unterschiedlichen Gefährdungsstufen, wobei dunkelblaue Bereiche als nicht erosionsgefährdet und dunkelrote Bereiche als sehr stark erosionsgefährdet klassifiziert sind. Besonders auffällig ist eine Erosionsrinne im Hang, die als dunkelrot markiert ist, was auf eine hohe Erosionsdynamik in diesem Abschnitt hinweist.[52]

Zusammenfassend erfordert die Kombination aus spezifischer Bodenbeschaffenheit und topografischen Merkmalen des Betriebsgebietes von Herrn Jerchel eine sorgfältige Bewirtschaftungsstrategie, die sowohl die Bodenfruchtbarkeit erhält als auch Maßnahmen zur Erosionskontrolle integriert.[52]

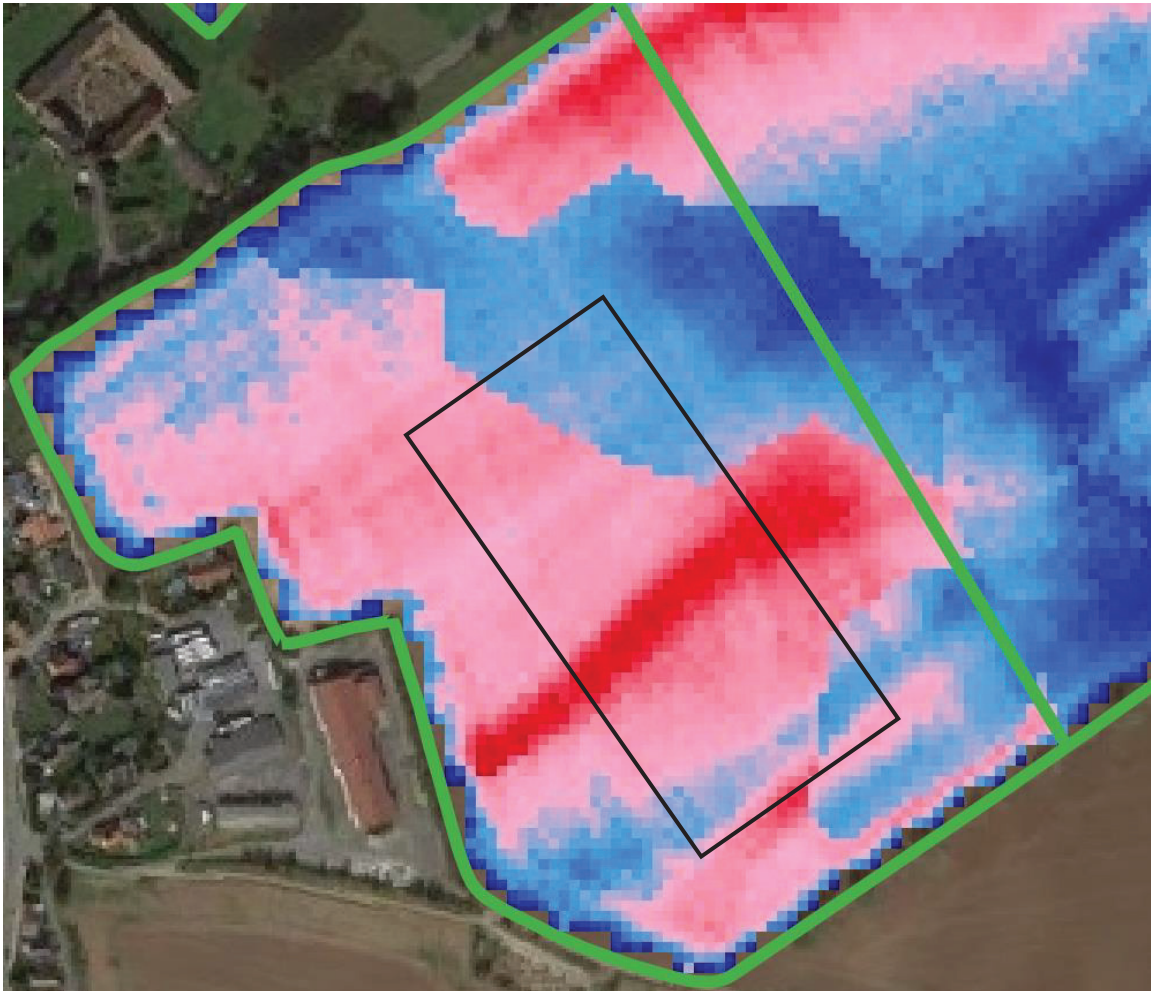


Abbildung 4: Erosionsgefährdung

3.2 Versuchsaufbau und Randomisierung

Der Versuchsaufbau orientierte sich an dem wissenschaftlichen „Leitfaden für Praxisversuche.“[54]

Der vorliegende Versuch wurde als *randomisierter Streifenversuch* mit **vier Blöcken** und jeweils **einer Wiederholung** konzipiert(s. Tab. 2 und 3). Die einzelnen Streifen wiesen eine Länge von 300 Metern auf. An den oberen und unteren Enden des Versuchsareals wurden zusätzlich jeweils fünf Arbeitsbreiten als Vorgewende eingerichtet, um Wendemanöver der Maschinen zu ermöglichen und Randbereiche zu minimieren. Die verbleibende Feldfläche wurde für den Maisanbau vorgesehen. Zur seitlichen Abgrenzung des Versuchs wurden

zudem zwei zusätzliche Fahrgassen angelegt, um potenzielle Rand- und Übergangseffekte zu minimieren.[54]

Die Streifen, nummeriert von 1 bis 5 (s. Tab. 3), repräsentierten unterschiedliche Scharvarianten und wurden innerhalb der Blöcke randomisiert angeordnet, um systematische Umwelteinflüsse zu reduzieren. Die untersuchten Parameter umfassten:

Scharvarianten: Vier verschiedene Schartypen wurden evaluiert.

Fahrgeschwindigkeit: Bei konstanter Ablagetiefe von 3 cm wurden drei Geschwindigkeiten getestet: 6 km/h, 9 km/h und 12 km/h(s. Tab. 2).

Ablagetiefe: Bei konstanter Fahrgeschwindigkeit von 9 km/h wurden zwei Ablagetiefen untersucht: 3 cm und 5 cm(s. Tab. 2).

Die detaillierte Versuchsplanung orientierte sich an etablierten Methoden des landwirtschaftlichen Versuchswesens, um eine hohe Aussagekraft und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen. Die Randomisierung der Scharvarianten innerhalb der Blöcke dient der Kontrolle von Umwelteinflüssen und entspricht den Standards für feldbasierte agrarwissenschaftliche Untersuchungen.[54][55]

Die gewählte Versuchsanordnung ermöglicht eine differenzierte Analyse der Effekte von Schartyp, Fahrgeschwindigkeit und Ablagetiefe auf die relevanten agronomischen Parameter. Durch die systematische Variation dieser Faktoren können sowohl Haupt- als auch Wechselwirkungseffekte identifiziert und bewertet werden.[55]

Tabelle 5: Versuchsaufbau Geschwindigkeiten und Ablagtiefen in den Blöcken

1= Nullparzelle Einscheibenschar		
2= Ultima Schar 1 60mm (Zinkenschar)		
3= Ultima Schar 2 100mm (Zinkenschar)		
4= Ultima Schar 3 Gänsefuß (Zinkenschar)		
5= Ultima Schar 4 Offene Furche (Meißelschar)		
Block 1: 2/3/4/5 Ablagetiefe 3 cm bei 9 km/h		Versuch
Block 2: 2/3/4/5 Ablagetiefe 5 cm bei 9 km/h		
Block 3: 2/3/4/5 Ablagetiefe 3 cm bei 6 km/h		
Block 4: 2/3/4/5 Ablagetiefe 3 cm bei 12 km/h		
Block 5: 2/3/4/5 Ablagetiefe 3 cm bei 9 km/h		Wieder- holung
Block 6: 2/3/4/5 Ablagetiefe 5 cm bei 9 km/h		
Block 7: 2/3/4/5 Ablagetiefe 3 cm bei 6 km/h		
Block 8: 2/3/4/5 Ablagetiefe 3 cm bei 12 km/h		
6 Bonitierungsfenster pro Streifen		

Die Randomisierung der Versuchsanordnung wurde innerhalb der einzelnen Blöcke durchgeführt, um eine systematische Verzerrung durch standortspezifische Einflüsse zu minimieren. In Tabelle 3 wird die genaue Randomisierungsstrategie detailliert aufgeführt.

Da die Scharvarianten als primärer Einflussfaktor identifiziert wurden, erfolgte die zufällige Zuordnung dieser Varianten innerhalb der jeweiligen Blöcke. Diese blockweise Randomisierung gewährleistet eine statistisch valide Vergleichbarkeit der Varianten, indem sie eine gleichmäßige Verteilung potenzieller Störfaktoren sicherstellt.[54][55]

Zur eindeutigen Identifikation der einzelnen Versuchsvarianten wurden RTK-Spuren dokumentiert und Markierungsstäbe mit Farbcodierung gesetzt. Diese Maßnahmen dienten der präzisen Wiederfindbarkeit der Parzellen und verhinderten eine ungewollte Vermischung der Varianten. Die Verwendung hochpräziser RTK-Technologie ermöglichte eine exakte Spurführung während der gesamten Versuchsreihe, wodurch eine hohe Reproduzierbarkeit und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse sichergestellt wurde.[54][55][56]

Tabelle 6: Randomisierung in den Blöcken und Markierung zur Identifizierung

Block	Scharvariante	Markierungsfarbe	RTK-Spur
Block 1	1	Rot	144
	2	Blau	145
	3	Gelb	146
	4	Lila	147
	5	Braun	148
Block 2	3	Grau	149
	2	Orange	150
	1	Rot	151
	5	Grün	152
	4	Schwarz	153
Block 3	2	Blau / Grau	154
	5	Lila / Grün	155
	3	Grau / Orange	156
	4	Grün / Braun	157
	1	Rot	158
Block 4	3	Orange / Schwarz	159
	4	Grün / Orange	160
	5	Blau / Orange	161
	2	Orange / Braun	162
	1	Rot	163

3.3 Vorstellung der Sämaschinen für den Versuch

Die **John Deere 750 A (Baujahr 1998)** ist eine gezogene Scheibensämaschine zur Direktsaat. Diese hat ein hydraulisch betriebenes Gebläse zur Verteilung des Saatgutes auf die einzelnen Saatleitungen über den Verteilerkopf und ein mechanisches Dosierantriebssystem mit Spornrad zur Ablage des Saatgutes. Insgesamt wird über 18 Scheiben, das Saatgut abgelegt. Der Reihenabstand der Scheiben liegt bei 16,6cm, dabei wird nur in ganz kleinen Mengen Erde bewegt, weil das Saatgut durch die Scheiben in den Boden geschlitzt wird.[15]

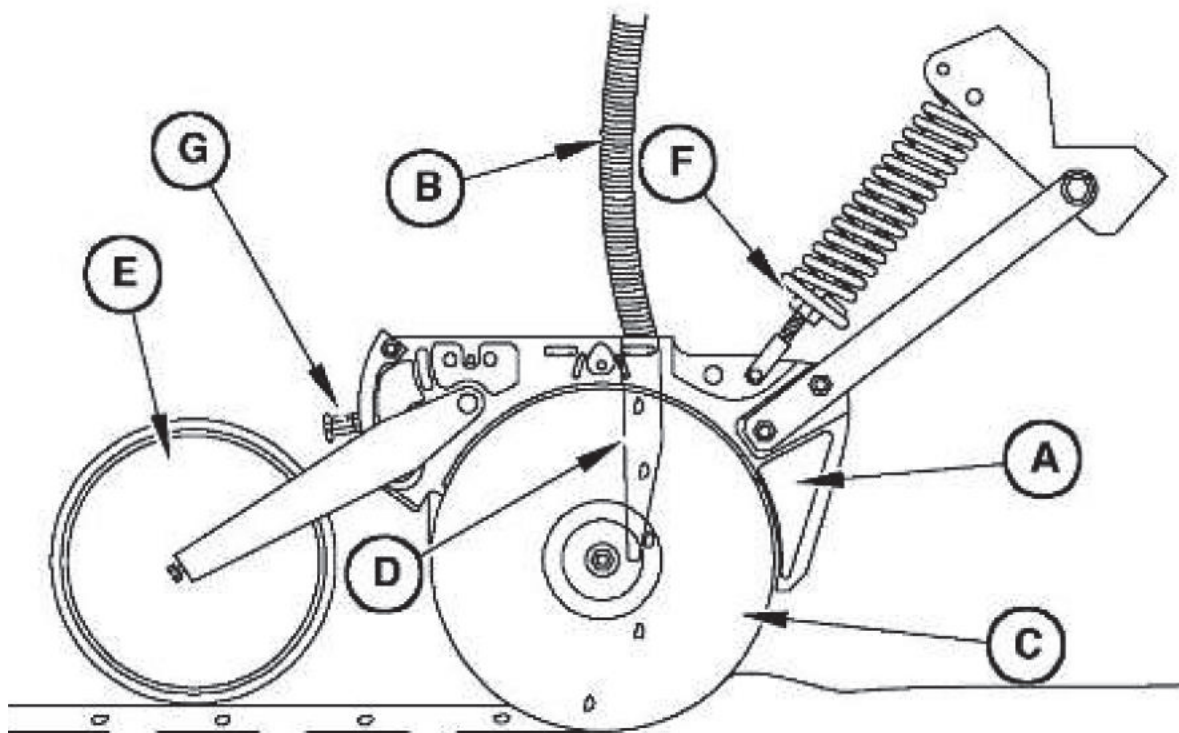


Abbildung 5: Sächar JD 750A

A - Sächar; B - Saatleitung; C - Furchenzieherscheibe (zwei) ; D - Särrohr; E - Tiefenführungsrad; F - Federeinstellmutter für aktive hydraulische Anpresskraft; G - Einstellgriff für Tiefenführungsrad

Die zweite Maschine für den Versuch ist eine **Köckerling Ultima 300 (Baujahr 2005)**. Es ist eine Zinkensämaschine, die im Vergleich zur Scheibenmaschine mehr Erde bewegt bei der Aussaat. Auch hier beträgt die Arbeitsbreite 3 m, jedoch beträgt die Anzahl der Schare 17, sodass der Reihenabstand 17,6cm beträgt. Der Tankinhalt wird mit 3000 l angegeben und Eigengewicht der Maschine beträgt 5040 kg, der Leistungsbedarf wird mit 140 kW angegeben.[16]

Das System ist leicht anders aufgebaut als bei der John Deere 750A, erst wird mit einer 530mm Andruckrolle der Boden rückverfestigt, dann kommt das Schar mit der Saatleitung, am Ende des Gerätes ist ein Striegel mit einer Walze verbaut. Dieses gibt es bei der John Deere nicht.[15][16]

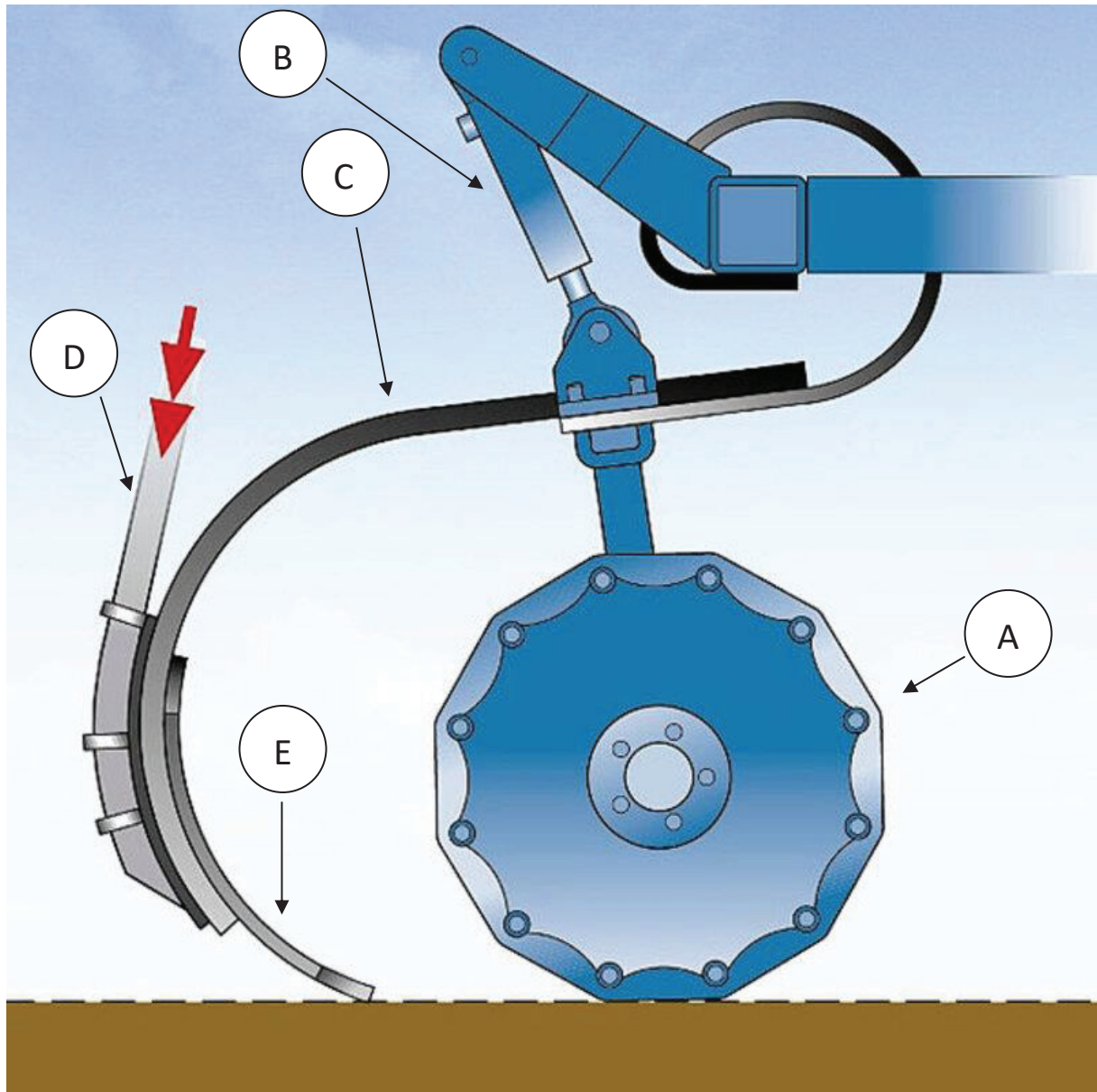


Abbildung 6: Scharsystem Köckerling Ultima 300

A - Andruckrolle (Vorverfestigung); B - Hydraulik Zylinder zur Einstellung der Tiefenführung; C - Federzinken im Rahmen aufgehängt; D - Särrohr; E - Schar mit Bolzen an Zinken montiert

Tabelle 7: Vergleich JD 750 A und Köckerling Ultima

	John Deere 750 A	Köckerling Ultima
Anbau	gezogen	gezogen
Arbeitsbreite	3,00m	3,00m
Saatgutbehälter	900 l	3000 l
Saatgutverteilung	Pneumatisch über Verteilerkopf	Pneumatisch über Verteilerkopf
Saatgutablage	Einzelscheibe gummigelagert aufgehängt	Schar am Federzinken
Anzahl der Reihen	18	17
Reihenabstand	16,7 cm	17,6 cm
Vorwerkzeuge	keine	Andruckrollen (Vorverfestigung)
Nachwerkzeuge	Andruckrollen (Nachverfestigung)	Striegel und Walze (Verteilen von Erde und Rückverfestigung)

In Tabelle 1 werden die Eigenschaften der Maschinen nochmal zusammenfassend kompakt gegenüber gestellt.[15][16]

3.4 Säscharre für den Versuch

Im Rahmen der Versuchsreihe wurden vier unterschiedliche Schar typen hinsichtlich ihrer Form und Arbeitsweise analysiert, um eine möglichst große Differenzierung der Bearbeitungscharakteristika zu gewährleisten (siehe Abb. 4). Die Scharre wurden einheitlich in derselben Lochschiene montiert, um vergleichbare Versuchsbedingungen sicherzustellen.

Das werkseitig verbaute Schar B ist ein 60mm breites Zinkenschar, das bei einer Sämaschine mit 17 Scharren auf einer Gesamtarbeitsbreite von drei Metern eine Bodenbearbeitung von insgesamt 102cm bewirkt. Schar C ist ein 100mm breites Zinkenschar dar, das unter denselben Bedingungen 170cm des Bodens bearbeitet. Noch größer ist die bearbeitete Fläche bei Schar D, einem 170mm breiten Gänsefußschar, das eine y-förmige Rinne erzeugt und nahezu die gesamte Arbeitsbreite mit 289cm bearbeitet.

Die Scharre B bis D gehören zur Kategorie der Zinkenscharre (Hoe Tine Opener), die sich durch ihre spezifische Konstruktionsweise und Bodeneinwirkung auszeichnen. Sie bearbeiten und Durchmischen teilweise den Boden.[39]

Ein weiteres untersuchtes Schar ist Schar E, ein sogenanntes Delta-Schar, auch als offene Furche dieses gehört zu den Meißelscharren (Chisel Opener), das insbesondere in Frankreich verbreitet ist. Dieses weist eine Arbeitsbreite von 50mm (oben) und 18mm (unten) auf, was

einer Gesamtbodenbearbeitung von 85 cm (oben) und 30,6 cm (unten) entspricht. Im Vergleich zu den anderen Schartypen bearbeitet es mit Abstand die geringste Bodenfläche.[39]

Zur Differenzierung der Schartypen im Tukey HSD-Test wurden die Buchstaben A bis E verwendet.

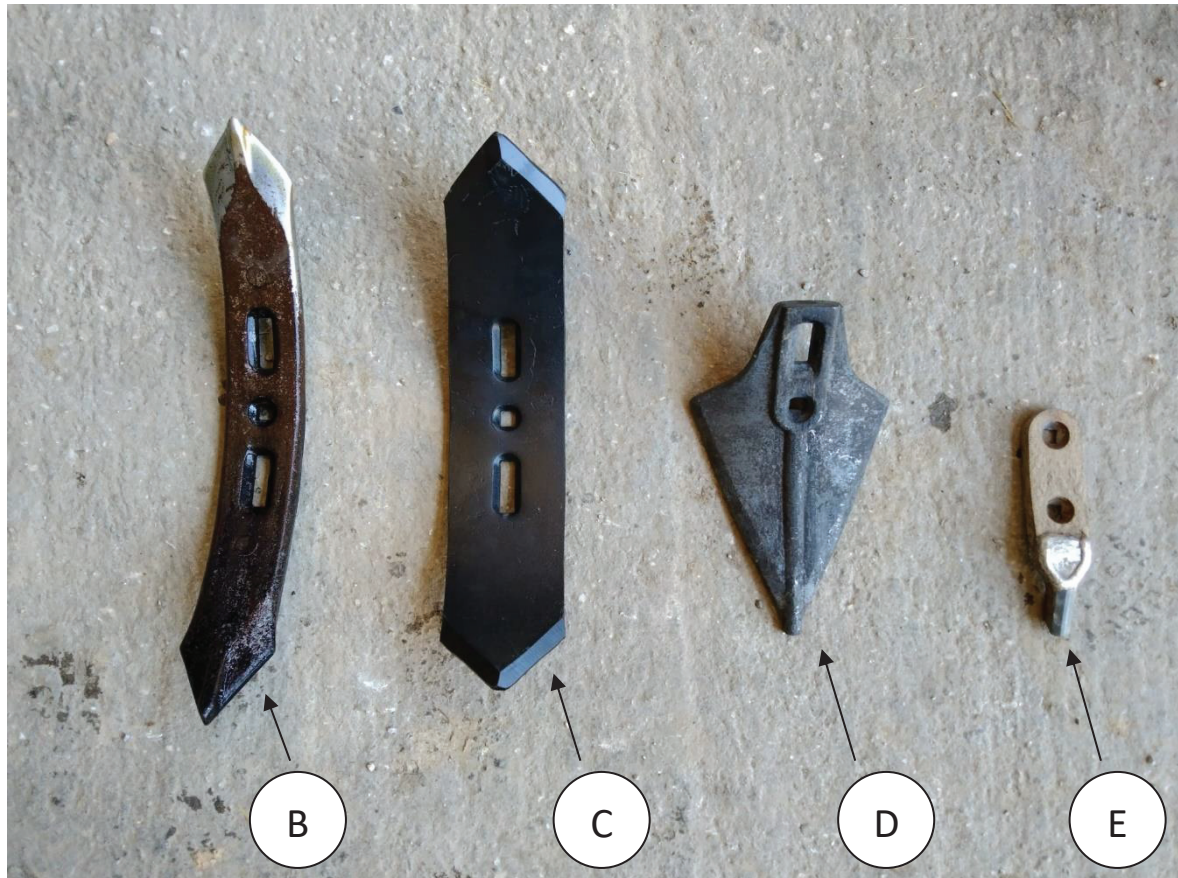


Abbildung 7: Zinken

B - 60mm-Schar (Originalverbaut); C - 100mm-Schar (Breitschar); D – GF-Schar;
E – OF-Schar

3.5 Sortenwahl und Aussaatverfahren

Die Wahl der Erbsensorte fiel auf 'Astronaute' von der Norddeutschen Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG (NPZ Hohenlieth). Diese Sorte ist seit 2013 im Handel und zeichnet sich durch überdurchschnittliche Erträge in den Landessortenversuchen (LSV) auf unterschiedlichsten Standorten aus. Sie überzeugt durch hohe Kornerträge und Rohproteingehalte sowie eine gleichmäßige Abreife und praxisbewährte Standfestigkeit, die einen verlustarmen Drusch ermöglichen. Die zügige Jugendentwicklung von 'Astronaute' führt zu einer schnellen Bestandsetablierung, wodurch Unkräuter effektiv unterdrückt werden.[57][58][59]

Die Sorte wird als mittelfrüh reifend mit einer frühen und kurzen Blüte beschrieben. Für den Anbau wird ein Reihenabstand von 15–20 cm empfohlen, um eine optimale Verrankung zu gewährleisten. Die Aussaatstärke sollte zwischen 180 und 220 kg/ha liegen, was etwa 80 Körnern pro Quadratmeter entspricht. Bei späteren Aussaatterminen wird eine Erhöhung der Saatstärke auf bis zu 120 Körner/m² empfohlen. Die Aussaat kann ab Anfang März erfolgen, sollte jedoch unter optimalen Bedingungen stattfinden: abgetrockneter Boden, ausreichende Bodentemperatur, keine Staunässe und ein gut vorbereitetes Saatbett. Die empfohlene Aussaattiefe variiert je nach Bodentyp zwischen 4 cm (schwere Böden) und 6 cm (leichte Böden), um einen besseren Wasseranschluss zu gewährleisten. Aufgrund spezifischer Standortbedingungen und der Erfahrungen des Landwirts wurden im Versuch Aussaattiefe von 3 cm und 5 cm gewählt.[57][58][59]

Für den Versuch wurde amtlich verschlossenes Saatgut mit den Kennzeichnungen DE15 AA707391 und DE15 AA713786 verwendet, das erst unmittelbar vor dem Versuch geöffnet wurde, um eine Verunreinigung des Saatguts auszuschließen.

Bezüglich des Aussaatverfahrens handelt es sich bei dem OF-Schar und dem Einscheibenschar um eine Drillsaat, während bei den größeren Scharen (60 mm-, 100 mm- und GF-Schar) eine Bandsaat durchgeführt wurde. Bei nicht wendender Bodenbearbeitung, wie sie bei Mulch- bzw. Direktsaat praktiziert wird, verbleibt mehr Humus in der oberen Bodenschicht. Dies stellt höhere Anforderungen an die Sämaschine, insbesondere an die Einbettungswerkzeuge und Schare.

$$\text{Aussaatmenge} = \frac{\text{TKG} \times \text{angestrebte Pfl. pro m}^2}{\text{Keimfähigkeit in Prozent}}$$

$$\text{Aussaatmenge} = \frac{228 \text{ g} \times 85 \text{ Pfl. pro m}^2}{92}$$

Laut der Berechnung sollte die Aussaatmenge 210,6 kg/ha betragen es wurde auf 211kg/ha aufgerundet.[60][61][62]

Beide Maschinen wurden auf 211 kg/ha und ca. 85 Pflanzen pro m² abgedreht, das war der Zielwert für die Bestandesetablierung.

3.6 Wetter Daten

Die meteorologischen Daten wurden aus dem Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion e.V. (ISIP) entnommen.[63] Die Erhebung erfolgte unter standardisierten Bedingungen: Die Lufttemperatur wurde in einer Höhe von 2 m über dem Boden in Grad Celsius erfasst, während der Niederschlag auf einer Höhe von 1 m über dem Boden in Millimetern und die Luftfeuchtigkeit in einer Höhe von 2 m über dem Boden in Prozent Sättigung gemessen wurden. Es konnte eine gegenläufige Korrelation zwischen Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit beobachtet werden.[63] Bei höheren Temperaturen sank die relative Luftfeuchtigkeit, während niedrigere Temperaturen mit einer erhöhten Luftfeuchtigkeit einhergingen. Der Untersuchungszeitraum war durch regelmäßige Niederschlagsereignisse mit kurzen Trockenphasen geprägt, die überwiegend nicht länger als drei bis vier Tage andauerten. Eine Ausnahme bildete eine längere Trockenperiode vom 09.05. bis 16.05.2024, die jedoch mit einer Dauer von acht bis neun Tagen agronomisch unkritisch blieb.[63]

Besonders während der Keimungs- und Jugendentwicklung ist die Erbse auf eine kontinuierliche Wasserversorgung angewiesen, welche in diesem Zeitraum gewährleistet war.[63][64] Am 07.05.2024 trat ein Starkregenereignis mit 17,8 l/m² auf. Nach den Bonitierungen am 17.05.2024 folgten weitere Starkregenereignisse. Die meteorologischen Daten wurden jedoch lediglich bis zum Ende der zweiten Bonitur erfasst. Über den gesamten Versuchszeitraum, von der Aussaat am 20.03.2024 bis zur finalen Bonitur am 17.05.2024, lag die durchschnittliche Tagestemperatur bei 12 °C (2 m über dem Boden). Der mittlere tägliche Niederschlag betrug 1,09 mm, was einer Gesamtniederschlagsmenge von 64,6 mm entspricht. Die durchschnittliche Luftfeuchtigkeit wurde mit 70,5 % bestimmt.[63]

Die Regelmäßigen Niederschläge, gewährleisteten eine gute Wasserversorgung des Pflanzenbestandes.[63][64]

Während einer Kältephase Mitte April inklusive Frösten stagnierte die Temperatursumme. Dieses wirkte sich unmittelbar auf die Entwicklung sowohl der Pflanzen als auch der adulten Erbsenwickler-Population (*Bruchus pisorum*) aus, beides stagnierte in diesem Zeitraum. Die Erhöhung der Temperatursumme folgte einem linearen Verlauf, während die Populationsdynamik der Erbsenwickler einer exponentiellen Wachstumsfunktion entsprach. In dieser Phase zeigte sich zudem eine Verlangsamung der Pflanzenentwicklung, was die unmittelbare Abhängigkeit agronomischer Prozesse von klimatischen Bedingungen verdeutlicht.[63][64][65]

3.7 Bonitierung

Im Rahmen des Versuchs wurden sechs Bonitierungsfenster pro Streifen etabliert, welche über eine Länge von 200 m verteilt wurden. Die ersten und letzten 25 m eines Streifens wurden von der Bonitierung ausgeschlossen, um potenzielle Umwelteinflüsse sowie Störeffekte, beispielsweise durch ungleichmäßigen Saatfluss oder überschüssiges Saatgut, das aus der Sämaschine austreten könnte, zu minimieren.[54][66]

Die Bonitierungen wurden in zwei zeitlich versetzten Durchgängen durchgeführt:

- Erste Bonitur (10.04. – 14.04.2024): Die Bonitierungsfenster 1 (50 m), 2 (100 m) und 3 (150 m) wurden in gleichmäßigen Abständen entlang der Versuchsparzelle angelegt, wobei der Abstand vom unteren Vorgewende und Markierungsstab standardisiert wurde.
- Zweite Bonitur (13.05. – 17.05.2024): Die Bonitierungsfenster 4 (75 m), 5 (125 m) und 6 (175 m) wurden zur räumlichen Trennung bewusst an anderen Positionen platziert, um eine doppelte Bonitierung zu vermeiden und eine möglichst objektive Erfassung der Entwicklungsdynamik zu gewährleisten.

Jedes Bonitierungsfenster hatte eine standardisierte Größe von 1 m × 1 m, welche mittels eines Zollstocks exakt ausgemessen wurde (s. Abb. 8).



Abbildung 8: Beispiel eines Boniturfenster und Dokumentation

Während der Bonitierungen wurden unterschiedliche Parameter erfasst, die maßgeblich für den Bestandeserfolg und die Ertragsstabilität sind. Die Datenaufnahme erfolgte systematisch mittels Bonitierungsbögen, welche anschließend in eine Excel-Datenbank überführt und statistisch ausgewertet wurden.[54][66][67]

Erste Bonitur:

- Feldaufgang: Erfassung der Keimlingsdichte pro Quadratmeter zur Bewertung des Etablierungserfolgs.
- Verunkrautung: Bestimmung des Unkrautbesatzes zur Ableitung von Maßnahmen zur Konkurrenzminderung.
- Wurzelentwicklung: Bewertung der Wurzel Ausbildung zur Einschätzung der Wasser- und Nährstoffaufnahmeeffizienz.
- Hypokotylllänge: Messung der Hypokotylllänge zur Überprüfung der Ablagetiefe und Saatgutplatzierung.

Zweite Bonitur:

- Feldaufgang: Erneute Erhebung zur Erfassung von Abweichungen und Veränderungen im Bestand.
- Bestandeshöhe: Messung der Pflanzenhöhe als Indikator für die Wachstumsdynamik und Vitalität des Bestandes.

Auf eine erneute Bonitur der Verunkrautung wurde verzichtet, da in der Zwischenzeit zwei Herbizidbehandlungen durchgeführt wurden. Zudem stand der Bestand kurz vor dem Schließen, wodurch durch Lichtkonkurrenz das Wachstum potenzieller Unkräuter und Ungräser gehemmt wurde. Aufgrund des dichten Bestandes wäre eine exakte Quantifizierung der verbleibenden Unkrautvegetation zudem methodisch erschwert gewesen.[68][69][70][71]

Die zwei Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgten am 22. März und 01. Mai 2024 im der guten fachlichen Praxis im Pflanzenschutz. Bei Bandur, Clomazone und Select handelt es sich jeweils um Herbizide mit unterschiedlichen Wirkstoffen. Insbesondere sollte damit die Acker-Kratzdistel unter Kontrolle gebracht werden.[72][73][74][75]

Zwei Pflanzenschutzmaßnahmen:

- **"Bandur + Clomazone"** am **22. März 2024** (9,3 ha, 192,53 l/ha).
- **"Select - spurlis"** am **1. Mai 2024** (4 ha, 155,31 l/ha).

Details zur Maßnahme "Select - spurlis" wo zusätzlich Spurenelemente, für eine Vitale Pflanzenentwicklung mit dazu gegeben wurde.

- Die Einzelbestandteile der Maßnahme vom **1. Mai 2024** mit jeweiliger Menge pro Hektar:
 - **Bor 150:** 0,78 l/ha
 - **Mn-Chelat:** 0,65 l/ha
 - **Molybdän:** 0,19 l/ha
 - **Select 240 EC:** 0,78 l/ha
 - **Wasser:** 152,92 l/ha
- Gesamtmenge pro Hektar: **155,31 l/ha** (über 4 ha Fläche)

3.7.1 Methodik und Bewertung der Wurzelbonitierung

Die Entwicklung einer jungen Pflanze wird maßgeblich durch die Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen beeinflusst. Ein gut ausgebildetes Wurzelsystem mit einer hohen Wurzel-dichte sowie einer tief ausgeprägten Pfahlwurzel trägt entscheidend zur effizienten Nährstoff- und Wasseraufnahme bei. Vor diesem Hintergrund wurde in der ersten Bonitur die Qualität der Wurzelentwicklung in den verschiedenen Versuchsanlagen systematisch erfasst und bewertet.[76][77]

Die Wurzelbonitierung fand im Rahmen der ersten Boniturphase statt und wurde anhand eines festgelegten Bewertungsschemas durchgeführt. Die Bewertungsskala umfasste eine graduelle Einteilung von 1 bis 5, wobei 1 die niedrigste und 5 die höchste Boniturnote darstellte. Die Vergabe der Boniturnoten erfolgte auf Basis der folgenden Kriterien: Kräftigkeit und Länge der Hauptwurzel, Anzahl der Neben- und Feinwurzeln und Gesamte Wurzel-dichte und -verzweigung[76][77]

Zur quantitativen Erfassung der Wurzelentwicklung wurden pro Quadratmeter zehn Pflanzen vollständig ausgegraben und bonitiert. Die systematische Bewertung erfolgte gemäß den in Tabelle 5 aufgeführten Boniturskriterien. Da pro Versuchsstreifen drei Boniturfenster angelegt wurden und jede Messung einmal wiederholt wurde, ergab sich für die Varianten B bis E eine Gesamtstichprobe von 60 Pflanzen pro Streifen.

Für die Nullparzelle wurde eine erweiterte Erhebung durchgeführt, bei der insgesamt 240 Pflanzen vermessen wurden. Dies resultierte aus der Untersuchung jedes Streifens innerhalb der acht Versuchsblöcke, wobei in jedem Block drei Boniturfenster angelegt wurden.

Diese Methodik gewährleistet eine standardisierte und objektive Bewertung der Wurzelentwicklung und ermöglicht belastbare Rückschlüsse auf die Effekte der unterschiedlichen Versuchsanordnungen auf die Bestandesetablierung.[76][77]

Tabelle 8: Skala Wurzelbonitierung und Erklärung

Bonitur Wurzel	Wurzelbild, Wurzeldichte
5	sehr viele Feinwurzeln, kräftige lange Hauptwurzel
4	viele Feinwurzeln, lange Hauptwurzel
3	wenig Feinwurzeln, kräftige lange Hauptwurzel
2	keine Feinwurzeln, kurze Hauptwurzel
1	keine Feinwurzeln, schwache kurze Hauptwurzel

Um ein Beispiel bildlich darzustellen, aus Block 8 in der Variante GF-Schar, im zweiten Bonitierungsfenster ist in Abbildung 9 der Unterschied sehr schön ersichtlich. Die beiden äußeren Pflanzen, haben eine kräftige Pfahlwurzel mit vielen Nebenwurzeln, während die beiden mittleren Pflanzen eher ein kümmerliches Wurzelwerk haben. Unter den Pflanzen steht die jeweilige Bewertung. Daneben in Abbildung 10 aus Block 6 in der 0-Parzelle auch im zweiten Bonitierungsfenster, werden die Unterschiede eher an der Anzahl der Nebenwurzeln und der Kräftigkeit getroffen.



Abbildung 9: Bonitur Bsp. 1

Abbildung 10: Bonitur Bsp. 2

Durch dieses standardisierte Verfahren wurde eine repräsentative Datengrundlage geschaffen, die eine statistisch belastbare Auswertung der Wurzelbonitierung versucht zu ermöglichen.

3.7.2 Bonitierung Hypokotylllänge

Die Hypokotylllänge, der Abschnitt zwischen Wurzelhals und Keimblättern, ist ein wichtiger Indikator für das Pflanzenwachstum. Ihre Messung erfolgt in dem Versuch mit Hilfe eines Messschiebers. Sie stellt einen wichtigen physiologischen Indikator für den frühen Keimlingsvorgang dar und korreliert eng mit der Präzision der Ablage des Saatguts. Konkret lässt sich dieser Zusammenhang wie folgt erläutern:

Einfluss der Ablagetiefe auf die Keimlingsentwicklung:

Die exakte Platzierung des Saatguts (Ablagepräzision) bestimmt maßgeblich die Tiefe, in der sich der Keimling entwickelt. Eine präzise Ablage, die dem optimalen Tiefenbereich entspricht, führt in der Regel zu einer normgerechten Hypokotyllentwicklung. Wird das Saatgut hingegen zu tief oder zu flach platziert, so verändert sich die microklimatische Umgebung (bezüglich Temperatur, Sauerstoff- und Feuchtigkeitsverhältnissen), was sich in einer veränderten Hypokotylllänge manifestieren kann.[78][79][80]

Indirekte Messgröße für Ablagequalität:

Abweichungen von einem als Ziel definierten Hypokotyllängenwert können als Indikator für Ungenauigkeiten in der Saatgutplatzierung herangezogen werden. Beispielsweise kann eine zu flache Ablage zu einer verlängerten Hypokotyl führen, da der Keimling versucht, möglichst schnell an die Oberfläche zu gelangen, während eine zu tiefe Ablage zu einer verkürzten Hypokotyl führen kann, weil die Keimlinge unter suboptimalen Bedingungen (z. B. eingeschränkte Licht- oder Wärmeeinwirkung) wachsen.[78][79][80]

Praktische Relevanz für die Feldpraxis:

Eine präzise Ablage ist nicht nur für eine homogene Keimlingsentwicklung, sondern auch für die langfristige Ertragsoptimierung von Bedeutung. Da die Hypokotylllänge als frühes Wachstumsmerkmal sensitiv auf die Ablagebedingungen reagiert, kann sie als schneller und indirekter Parameter genutzt werden, um die Effizienz und Genauigkeit des Aussaatverfahrens zu bewerten.[78][79][80]

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Hypokotylllänge als integrativer Parameter die Qualität der Saatgutplatzierung reflektiert. Durch die Beobachtung und Messung der Hypokotylllänge können Rückschlüsse auf die Ablagepräzision gezogen werden, was wiederum essenziell ist, um optimale Bedingungen für die Keimlingsentwicklung und damit für den späteren Ertrag zu gewährleisten.[78][79][80]

Die Erfassung der Hypokotylllänge erfolgte durch Messungen an zehn Pflanzen pro Boniturfenster. Da pro Versuchsstreifen drei Boniturfenster angelegt wurden und jede Messung einmal wiederholt wurde, ergab sich für die Varianten B bis E eine Gesamtstichprobe von 60 Pflanzen pro Streifen.

Für die Nullparzelle wurde eine erweiterte Erhebung durchgeführt, bei der insgesamt 240 Pflanzen vermessen wurden. Dies resultierte aus der Untersuchung jedes Streifens innerhalb der acht Versuchsblöcke, wobei in jedem Block drei Boniturfenster angelegt wurden. Somit ist für die Nullparzelle eine höhere Validität gegeben.

Durch dieses standardisierte Verfahren wurde eine repräsentative Datengrundlage geschaffen, die eine statistisch belastbare Auswertung der Hypokotyllängen in den verschiedenen Versuchsvarianten ermöglicht.

3.7.3 Unkraut und Ungras Bonitierung

Die Präsenz von Ungräsern und Unkräutern kann die Bestandesetablierung erheblich beeinträchtigen, da sie in direkter Konkurrenz zu den Kulturpflanzen um Licht, Wasser und Nährstoffe stehen. Insbesondere während der frühen Entwicklungsstadien der Kulturpflanzen kann ein hoher Unkrautdruck zu signifikanten Ertragsverlusten führen. Zudem können Unkräuter die Ernte erschweren und die Qualität des Ernteguts mindern. Eine effektive Unkrautregulierung ist daher essenziell für den erfolgreichen Anbau von Kulturpflanzen.[81][82][83]

Die Wahl der Bodenbearbeitungstechnik hat einen entscheidenden Einfluss auf das Auftreten und die Zusammensetzung von Unkräutern und Ungräsern. Unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren können die Keimbedingungen für Unkrautsamen variieren und somit deren Auflaufen begünstigen oder hemmen. Eine angepasste Bodenbearbeitung kann daher zur Reduktion des Unkrautdrucks beitragen und die Bestandesetablierung der Kulturpflanzen fördern.[81][82][83]

Zusammenfassend unterstreichen die Ergebnisse die Bedeutung einer sorgfältigen Auswahl der Aussaattechnik zur Kontrolle von Ungräsern und Unkräutern. Durch die Anpassung dieser Praktiken kann der Unkrautdruck reduziert und somit die Etablierung und der Ertrag der Kulturpflanzen optimiert werden.[81][82][83]

Die Bonitur der Unkraut- und Ungrasdichte wurde durchgeführt, um den Einfluss unterschiedlicher Sächarsysteme und Betriebsparameter auf die Unkrautunterdrückung zu analysieren. Eine effektive Unkrautkontrolle ist entscheidend für die Bestandesetablierung und den Ertrag, da Konkurrenz um Wasser, Nährstoffe und Licht das Pflanzenwachstum negativ beeinflussen kann.[81][82][83]

Die vorliegenden Bonituren identifizierten hauptsächlich Ausfallweizen als dominierendes Ungras sowie die Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) als vorherrschendes Unkraut. Um eine Verzerrung der Ergebnisse zu vermeiden, wurden größere Nester der Acker-Kratzdistel bei der Bonitur bewusst ausgespart. Über alle Varianten hinweg sind Ungräser deutlich häufiger vertreten als Unkräuter.[81][82][83]

3.8 Erfassung Dieserverbrauch

Die präzise Erfassung des Dieserverbrauchs im Pflanzenbauversuch ist von zentraler Bedeutung, um die Energieeffizienz landwirtschaftlicher Prozesse zu bewerten, Betriebskosten zu optimieren und die CO₂-Emissionen zu reduzieren. Durch die Analyse des Kraftstoffverbrauchs lassen sich Rückschlüsse auf die Effizienz verschiedener Anbauverfahren ziehen, insbesondere im Hinblick auf den Maschinen- und Geräteeinsatz.[84]

Zur Messung des Dieserverbrauchs existieren verschiedene etablierte Methoden, darunter:

Durchflussmesser, die den direkten Kraftstoffverbrauch messen,
Tankmessungen, die den Füllstand vor und nach einem definierten Arbeitsgang vergleichen,
Betriebsstundenerfassung, die auf Durchschnittsverbrauchswerten pro Stunde basiert, sowie
Telematiksysteme, die eine Echtzeit-Erfassung der Verbrauchsdaten ermöglichen.[84]

Im vorliegenden Versuch wurde der Dieserverbrauch mittels des bordeigenen Telematiksystems des John Deere 6215R erfasst. Diese Methode erlaubt eine präzise und dynamische Aufzeichnung des Kraftstoffverbrauchs unter realen Einsatzbedingungen.

Messmethodik:

Nach dem Ansetzen der Sämaschine wurde das Telematiksystem des Schleppers auf null gesetzt, sobald die Ziellarbeitsgeschwindigkeit erreicht war. Anschließend erfolgte die Ableitung des Kraftstoffverbrauchs nach einer festgelegten Fahrstrecke von 250 Metern. Durch diese Vorgehensweise wurde sichergestellt, dass die Messwerte keine Anfahrverluste oder Leerlaufphasen enthalten und ausschließlich den Verbrauch während der eigentlichen Feldarbeit widerspiegeln.

Diese standardisierte Erfassungsmethodik gewährleistet belastbare Vergleichswerte für verschiedene Versuchsanordnungen und ermöglicht eine detaillierte Analyse der Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitungs- und Aussaatverfahren auf den Energieverbrauch.[84]

3.9 Statistische Auswertung

Die Kombination von einer einfaktoriellen ANOVA (Analysis of Variance) und dem Tukey HSD (Honestly Significant Difference) Test wird oft verwendet, um statistische Vergleiche zwischen Gruppen durchzuführen.[85][86]

In der einfaktoriellen ANOVA erfolgt eine Überprüfung von globalen Unterschieden. Das Hauptziel der einfaktoriellen ANOVA prüft, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten von mehr als zwei Gruppen gibt. Unsere Gruppen sind in diesem Falle die 5 Scharvarianten (A;B;C;D;E).[87][88]

Die möglichen Hypothesen sind:

- **Nullhypothese** (H_0) Alle Gruppenmittelwerte sind gleich.
- **Alternativhypothese** (H_A) Mindestens ein Gruppenmittelwert unterscheidet sich von den anderen.

Die einfaktorielle ANOVA ist jedoch limitiert. Sie gibt Aufschluss darüber, ob es Unterschiede zwischen den Gruppen gibt, kann jedoch keine nicht Aufzeigen zwischen welchen Gruppen.

Im Anschluss wurde der Post-Hoc Tukey HSD-Test verwendet. Post-hoc bedeutet wörtlich übersetzt „im Nachhinein“ oder „nachträglich“. In der Statistik bezeichnet ein Post-hoc-Test eine Analyse, die nach einer signifikanten ANOVA durchgeführt wird, um herauszufinden, welche Gruppen sich tatsächlich signifikant voneinander unterscheiden.[87][88]

Tukey HSD: Paarweise Gruppenvergleiche

Wenn die einfaktorielle ANOVA einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen identifiziert, bedeutet dies lediglich, dass mindestens eine Gruppe von den anderen signifikant abweicht. Allerdings gibt die ANOVA selbst keinen Aufschluss darüber, welche Gruppen sich konkret unterscheiden. Um diese spezifischen paarweisen Unterschiede zu ermitteln, wird der Tukey HSD (Honestly Significant Difference) Test als Post-hoc-Verfahren eingesetzt. Dieses Verfahren führt multiple paarweise Vergleiche durch und identifiziert Gruppen, deren Mittelwerte sich signifikant voneinander unterscheiden. Dabei kontrolliert der Tukey HSD Test das Fehlerniveau der ersten Art (α) und reduziert das Risiko von falsch-positiven Ergebnissen, dass bei multiplen t-Tests durch die Inflation der Irrtumswahrscheinlichkeit auftreten würde. Aufgrund dieser Korrektur gilt der Tukey HSD Test als robustere Methode für paarweise Mittelwertvergleiche nach einer signifikanten ANOVA.[88]

Die statistische Analyse basiert also auf einer einfaktoriellen ANOVA zur Identifikation signifikanter Unterschiede zwischen den experimentellen Gruppen. Im Anschluss wurde der Tukey HSD-Test als post-hoc Verfahren eingesetzt, um spezifische Gruppenunterschiede näher zu beleuchten. Alle statistischen Analysen wurden mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ durchgeführt.[88]

Zur Analyse der Unterschiede zwischen den Gruppen wurde der Tukey Honest Significant Difference (HSD)-Test durchgeführt. Die untersuchten Gruppen setzen sich wie folgt zusammen:

A: Null-Parzelle; B: 60mm-Schar, C: 100mm-Schar, D: GF-Schar und E: OF-Schar

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Online-Tool von Astatsa [89]

Die Berechnungsergebnisse wurden als Screenshots dokumentiert und sind als Tabellen im Anhang Tabelle A. 1 bis Tabelle A. 32.

Die farbliche Markierung der Ergebnisse erfolgt nach folgender Konvention:

Grün: Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen

Rot: Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen

Zudem wurden die einzelnen Blöcke separat analysiert, um mögliche Variationen innerhalb der Versuchsstruktur zu berücksichtigen.

Die Resultate werden im Hinblick auf statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Zinkenvarianten und im Vergleich zur Referenz (Null-Parzelle) interpretiert.[88]

4 Ergebnisse und Auswertung Bonitierung

Im Folgenden erfolgt eine kurze Zusammenfassung des Versuchsaufbaus und der Anordnung der Blöcke, welche die Grundlage für die weitere detaillierte Ergebnisauswertung bilden:

Die Versuchsanordnung wurde in insgesamt acht Blöcke unterteilt, wobei diese in vier Paaren durchgeführt wurden, um den Einfluss unterschiedlicher Parameter systematisch zu untersuchen. Konkret wurden die Blöcke wie folgt konfiguriert:

Block 1 und Block 5: Diese Versuchsreihen wurden bei einer Fahrgeschwindigkeit von 9 km/h und einer Ablagetiefe von 3 cm durchgeführt.

Block 2 und Block 6: Hier erfolgte die Durchführung bei einer Fahrgeschwindigkeit von 9 km/h, jedoch mit einer Ablagetiefe von 5 cm.

Block 3 und Block 7: Diese Blöcke wurden mit einer reduzierten Fahrgeschwindigkeit von 6 km/h und einer Ablagetiefe von 3 cm realisiert.

Block 4 und Block 8: Abschließend wurden diese Versuchsreihen bei einer erhöhten Fahrgeschwindigkeit von 12 km/h sowie einer Ablagetiefe von 3 cm ausgeführt.

Diese differenzierte Blockanordnung ermöglicht es, den Einfluss sowohl der variierenden Fahrgeschwindigkeit als auch der Ablagetiefe auf die zu evaluierenden agronomischen Parameter präzise zu analysieren und entsprechende Rückschlüsse auf die Effizienz der Aussaatverfahren zu ziehen.[54]

Die vorliegende Untersuchung analysiert den Einfluss unterschiedlicher agronomischer Parameter auf das Pflanzenwachstum unter Einsatz einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) sowie des Tukey HSD-Tests zur Post-hoc-Analyse. In diesem Zusammenhang wurden verschiedene Faktoren wie Fahrgeschwindigkeit, Ablagetiefe und Schartypen

berücksichtigt. Die Hauptfragestellung der Studie zielt darauf ab, die signifikanten Effekte dieser Parameter auf Keimung, Wachstum, Ungrasdruck, Unkrautdruck und Kraftstoffverbrauch zu identifizieren.[54][89]

4.1 Feldaufgang

Die Erhebung der Feldaufgangsdaten erfolgte in zwei separaten Bonituren: Bonitur 1 im Zeitraum vom 10.04. bis 13.04.2024 sowie Bonitur 2 zwischen dem 13.05. und 17.05.2024. Aufgrund konstruktiver Unterschiede zwischen den eingesetzten Sämaschinen variierte der Reihenabstand: Die Scheibensämaschine arbeitete mit einem Reihenabstand von 16,6 cm, während die Zinkensämaschine mit einem Abstand von 17,6 cm operierte. Dies führte in einigen Fällen dazu, dass bei der Zinkensämaschine lediglich fünf Reihen erfasst wurden, während bei der Scheibensämaschine sechs Reihen dokumentiert, werden konnten. Zur methodischen Vereinheitlichung wurden die Daten daher zusätzlich auf eine Einzelreihenbasis normiert (s. Abb. 13).

Beide Maschinen wurden auf eine Saatstärke von 211 kg/ha kalibriert, mit einer angestrebten Bestandesdichte von 85 Pflanzen pro m² als Zielwert. Die grafische Darstellung in Abbildung 12 illustriert die Entwicklung des Feldaufgangs über die Zeit. Es wurden folgende Parameter berechnet:

Der Mittelwert des Feldaufgangs pro Quadratmeter für alle Varianten in Bonitur 1.

Der Mittelwert des Feldaufgangs pro Quadratmeter für alle Varianten in Bonitur 2.

Der Gesamtmittelwert aus beiden Bonituren.

Die Analyse der Daten zeigt eine durchgängig positive Entwicklung des Feldaufgangs zwischen den beiden Bonitur-Zeitpunkten. Besonders signifikant war die Zunahme in der Nullparzelle, welche einen Anstieg von 14 Pflanzen pro m² verzeichnete. Im Vergleich dazu zeigten das Gänsefußschar sowie die offene Furche eine durchschnittliche Zunahme von 9 Pflanzen pro m², während sowohl das 60mm-Schar als auch das 100mm-Schar jeweils einen Anstieg von 6 Pflanzen pro m² aufwiesen.

Die ANOVA zeigte signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Schartypen in Bezug auf den Feldaufgang ($p < 0,05$). Der 60mm-Schar wies eine signifikant niedrigere Keimrate im Vergleich zur Nullparzelle und zu den breiteren Schartypen (100mm- und GF-Schar) auf. Diese Differenzen lassen sich vermutlich auf eine unzureichende

Bodenbedeckung und suboptimale Wasserverfügbarkeit zurückführen. Der Tukey HSD-Test bestätigte, dass insbesondere der 60mm-Schar eine statistisch signifikant geringere Pflanzendichte aufwies.

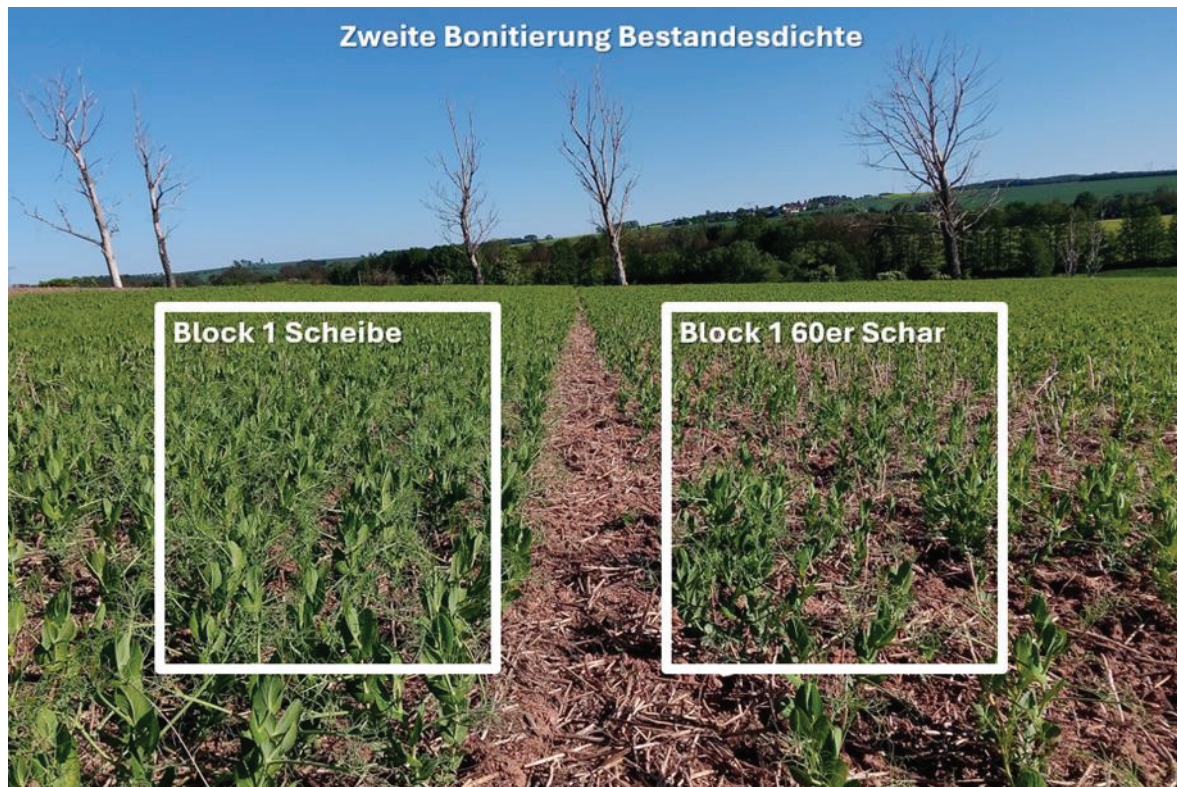


Abbildung 11: Vergleich Block 1: Bonitur 14.05.2024 Null-Parzelle und 60er-Schar

Blockweise Auswertung des Feldaufgangs pro m²:

Block 1+5 (s. Tab. A. 1):

Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 9 km/h und einer Ablagetiefe von 3 cm zeigten alle untersuchten Zinkenscharre im Vergleich zur Nullparzelle signifikant reduzierte Feldaufgangswerte. Dies weist darauf hin, dass die gewählte Kombination aus Geschwindigkeit und Ablagetiefe negative Auswirkungen auf den Feldaufgang hatte.

Block 2+6 (s. Tab. A. 2):

Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 9 km/h und einer angestrebten Ablagetiefe von 5 cm wurden in den meisten getesteten Varianten signifikant geringere Feldaufgangswerte als in der Nullparzelle festgestellt. Eine Ausnahme bildete hierbei der OF-Schar, welcher keine signifikanten Abweichungen zur Nullparzelle aufwies. Dies deutet darauf hin, dass das OF-Schar möglicherweise vorteilhaftere Bedingungen für die Keimung geschaffen hat.

Block 3+7 (s. Tab. A. 3):

Bei einer reduzierten Fahrgeschwindigkeit von 6 km/h und einer Ablagetiefe von 3 cm zeigten sämtliche untersuchten Zinkenscharre signifikant geringere Feldaufgangswerte im Vergleich zur Nullparzelle. Dies unterstreicht, dass eine geringere Fahrgeschwindigkeit unter diesen Bedingungen nicht zu einer verbesserten Keimung geführt hat.

Block 4+8 (s. Tab. A. 4):

Bei einer erhöhten Fahrgeschwindigkeit von 12 km/h und einer Ablagetiefe von 3 cm wurden für alle getesteten Zinkenscharre signifikant reduzierte Feldaufgangswerte festgestellt. Darüber hinaus ließen sich signifikante Unterschiede zwischen dem GF-Schar und dem OF-Schar im Vergleich zum 60mm-Schar nachweisen. Diese Befunde verdeutlichen, dass sowohl die Geschwindigkeit als auch die Scharvariante eine zentrale Rolle für den Feldaufgang spielen.

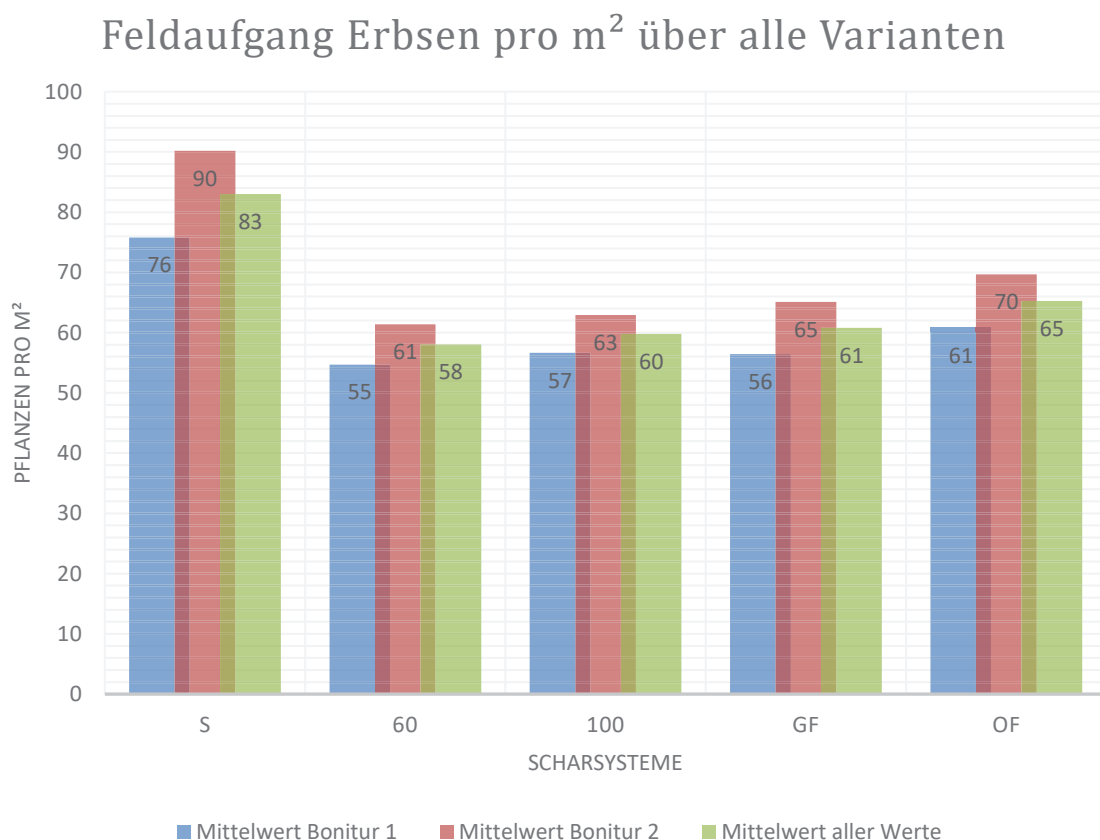


Abbildung 12: Feldaufgang Erbsen pro m²

Feldaufgang Erbsen pro Reihe über alle Varianten

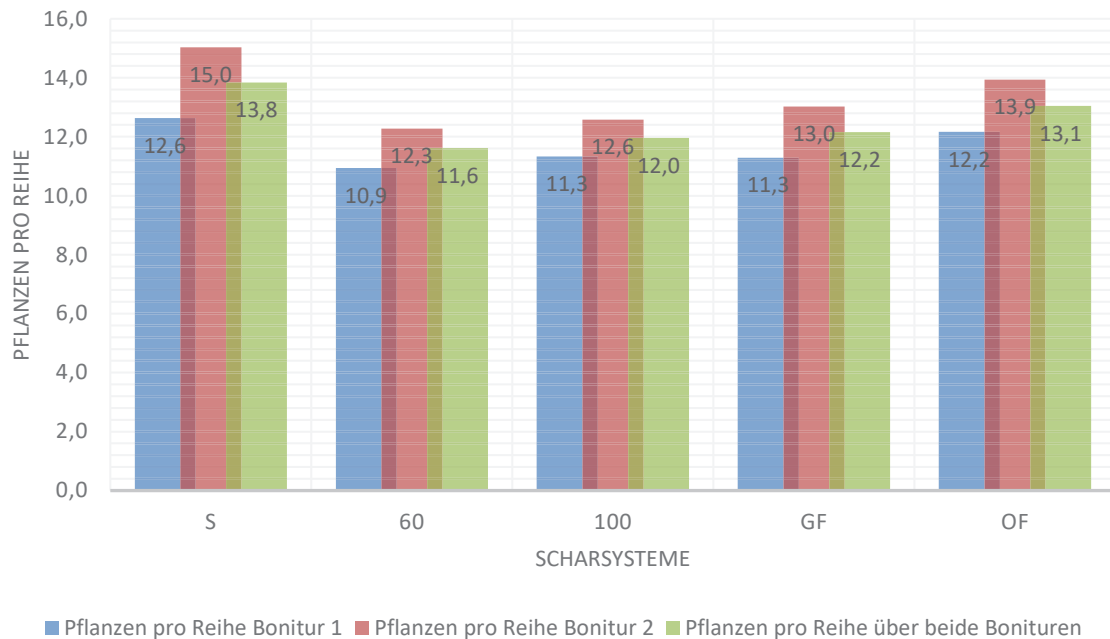


Abbildung 13: Feldaufgang Erbsen pro Reihe

Blockweise Auswertung des Feldaufgangs pro Reihe:

Abbildung 13 veranschaulicht den Feldaufgang der Erbsen pro Reihe über alle Versuchsvarianten hinweg. Insbesondere zeigten sich bei der Scheibe und dem OF-Schar in der zweiten Bonitur deutlich höhere Zuwächse. Die Scheibe erreichte einen Zuwachs von 2,4 Pflanzen pro Reihe, während bei dem OF-Schar 1,7 Pflanzen pro Reihe verzeichnet wurden. Die Darstellung mit einer Nachkommastelle erlaubt eine differenzierte Trendanalyse, da eine Rundung auf ganze Zahlen (beide würden dann 2 Pflanzen pro Reihe ergeben) den tatsächlichen Unterschied – nämlich nahezu eine ganze Pflanze pro Reihe zugunsten der Scheibe, verfälschen würde. Die Differenz von 0,7 Pflanzen pro Reihe multipliziert mit fünf Reihen pro Quadratmeter resultiert in einem Mehrzuwachs von 3,5 Pflanzen pro Quadratmeter.

Im Vergleich dazu zeigten die Zinkenvarianten GF-, 60mm- und 100mm-Schar in der zweiten Bonitur Zuwächse von 1,7, 1,4 bzw. 1,3 Pflanzen pro Reihe. Daraus ist ableitbar, dass die Scheibe gegenüber jeder der Zinkenvarianten, sowohl innerhalb der einzelnen Gruppen als auch gesamt, einen zusätzlichen Zuwachs von ein bis zwei Pflanzen pro Reihe erzielt. Bei einer Anordnung von fünf Reihen pro Quadratmeter entspricht dies einem

Mehrzuwachs von fünf bis zehn Pflanzen pro Quadratmeter, was rechnerisch einer Erhöhung von 50.000 bis 100.000 Pflanzen pro Hektar entspricht.

Zur weiteren Verdeutlichung: Wird die Scheibe mit 15 Pflanzen pro Reihe in der zweiten Bonitur den 60er Zinkenvarianten gegenübergestellt, die 12,3 Pflanzen pro Reihe aufweisen, ergibt sich eine Differenz von 2,7 Pflanzen pro Reihe. Multipliziert man diesen Wert mit den fünf Reihen pro Quadratmeter, so ergibt sich ein Zuwachs von 13,5 Pflanzen pro Quadratmeter, was einem zusätzlichen Pflanzenbestand von 135.000 Pflanzen pro Hektar entspricht.

Diese Ergebnisse unterstreichen die signifikante Überlegenheit der Scheibe in Bezug auf den Feldaufgang, was insbesondere für agronomische Systeme von Relevanz ist, die auf eine hohe Pflanzendichte und eine optimierte Ertragsprognose abzielen. In Abbildung 7 ist nun der Mittelwert in den jeweiligen Varianten ermittelt worden, daraus soll hervorgehen, welchen Einfluss die Fahrgeschwindigkeit und die Ablagetiefe auf den Feldaufgang haben. Da die Scheibe als Nullparzelle diente, ist diese immer unter den gleichen Bedingungen gefahren worden sieben km/h und drei cm Ablagetiefe. Deswegen war dort keine Streuung zu erwarten. Das 60mm-Schar erzielte die besten Ergebnisse bei neun km/h und fünf cm sowie zwölf km/h und drei cm und das schlechteste bei sechs und neun km/h und drei cm.

Das 100mm- und das GF-Schar erzielten die besten Ergebnisse bei neun und zwölf km/h und drei cm Ablagetiefe und die schlechtesten bei neun km/h und fünf cm sowie sechs km/h und drei cm Ablagetiefe, wobei alle Ergebnisse keine große Streuung haben. Bei der Offenen Furche ist die Differenz zwischen dem besten Ergebnis und dem schlechtesten drei Pflanzen pro m². Eine sehr geringe Streuung der dichteren Bestand mit 62 Pfl. / m² sind neun km/h mit drei und fünf cm, die mit weniger dichtem Bestand sind, drei cm Ablagetiefe mit sechs und zwölf km/h.

In Abbildung 8 zeigt sich über alle Varianten hinweg die zwölf km/h und drei cm Variante als die, wo am wenigsten passiert ist, erstaunlich ist, dass dort sogar weniger Pflanzen gezählt wurden von 58 Pfl. / m² auf 55 Pfl. / m², den größten Zuwachs gab es bei dem OF-Schar in der Variante mit 7 Pfl. / m² in der zweiten Bonitur mehr als in der ersten Bonitur, einen ähnlichen Zuwachs verzeichnet dort das GF-Schar mit 6 Pfl. / m² mehr, das 100er-Schar nur 4 Pfl. / m² mehr. Die Variante mit neun km/h und fünf cm Ablagetiefe hat über alle Scharsysteme eine höhere Bestandesdichte von 8 bis 11 Pfl. / m², auch die Variante mit drei cm und sechs km/h weist eine höhere Bestandesdichte von 10 bis 12 Pfl. / m² über alle Scharsysteme auf.

Bei der neun km/h und drei cm Variante sind die Schwankungen wieder deutlicher, während beim 60mm-Schar 11 Pfl. / m² ; beim OF Schar 9 Pfl. / m² und beim GF-Schar 8 Pfl. / m² mehr stehen, ist es beim 100mm-Schar unverändert zur ersten Boniturierung mit 61 Pfl. /m².

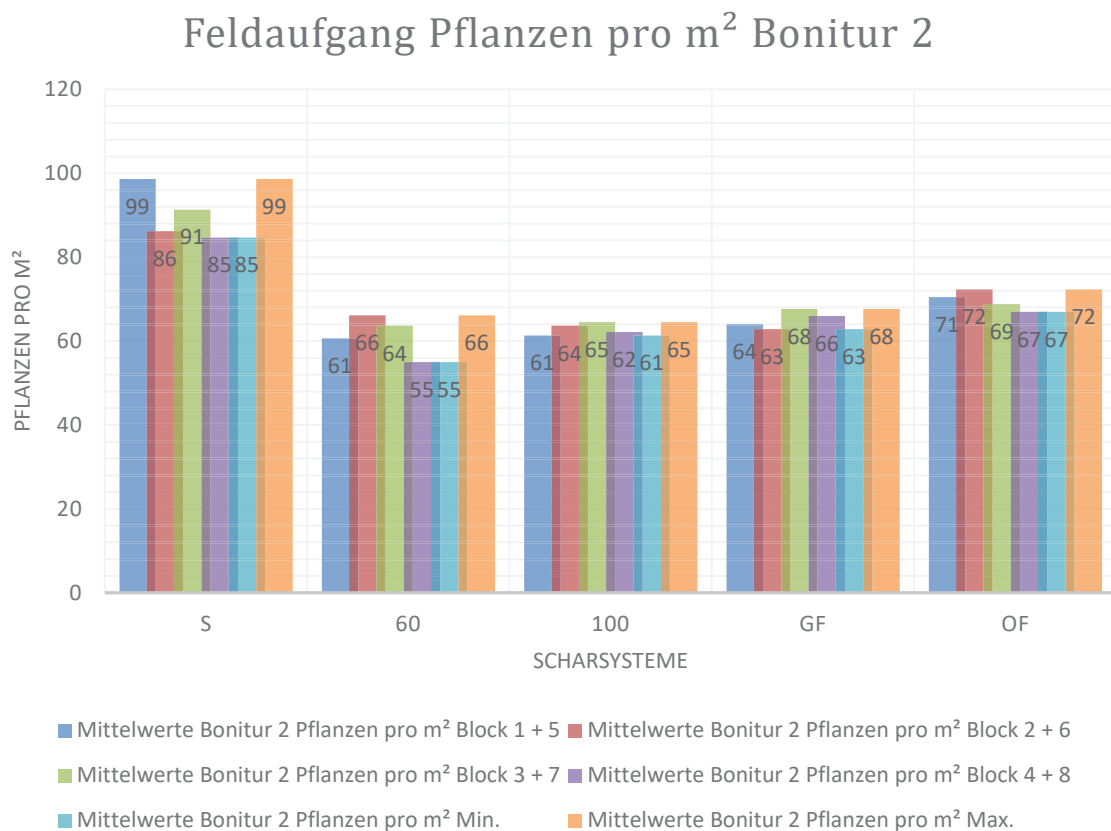


Abbildung 14: Feldaufgang Pflanzen pro m² Bonitur 2

Abschließend lässt sich festhalten, dass selbst wenn man die Zahlen auf sechs Reihen hochrechnet, nur das OF-Schar an den Zielwert von 85 Pfl./m² heran kommt. Alle anderen Schare liegen bei 75 Pfl./m² und drunter, was bei einem Hektar 100.000 Pflanzen weniger bedeutet als geplant und bei der Gesamtfläche des Versuches von drei Hektar knapp 300.000 ertragsrelevante Pflanzen die fehlen. Im Vergleich mit der Scheibe sind es 15 Pfl./m² 150.000 Pflanzen pro Hektar und 450.000 ertragsrelevante Pflanzen die fehlen.

Würde man das nun auf die Gesamtschlaggröße von 30 ha hochrechnen sind das 4.5 Mio. Pflanzen weniger. Wenn man mit den Zahlen der tatsächlich gezählten Pflanzen pro m² rechnet, werden die Ergebnisse noch deutlicher, dort treten Differenzen in der zweiten Bonitur gerade zu dem GF-, 100mm- und 60mm-Schar von bis zu 29 Pflanzen pro m² die dort beim 60mm- Schar weniger stehen. In der Berechnung sind es 290.000 Pflanzen pro ha weniger und auf 30 ha wären das dann 8,7 Mio. Pflanzen und das bei gleicher Aussaatmenge von 211 kg / ha, das war der Zielwert, auf den beide Maschinen abgedreht wurden.

Die Analyse des Feldaufgangs pro Reihe unter variierenden Ablagetiefen und Fahrgeschwindigkeiten liefert signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Scharsystemen und der Nullparzelle. Die Ergebnisse aus den jeweiligen Versuchsblöcken lassen sich wie folgt interpretieren:

Block 1+5 (s. Tab. A. 5):

Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 9 km/h und einer Ablagetiefe von 3 cm zeigten sämtliche Zinkenschar im Vergleich zur Nullparzelle eine signifikant reduzierte Feldaufgangsrate. Eine Ausnahme bildete das OF-Schar, welches unter diesen Bedingungen vergleichbare Feldaufgangswerte zur Nullparzelle aufwies. Die schlechtere Etablierung der Zinkenschar könnte auf eine ungleichmäßige Saatgutablage oder eine unzureichende Saatbettbereitung bei höheren Geschwindigkeiten zurückzuführen sein.

Block 2+6 (s. Tab. A. 6):

Unter gleichbleibender Geschwindigkeit (9 km/h) und einer Ablagetiefe von 5 cm zeigte sich kein signifikant schlechterer Feldaufgang bei den Zinkenscharen im Vergleich zur Nullparzelle. Dies deutet darauf hin, dass eine tiefere Saatgutablage potenzielle Fehlplatzierungen und variierende Auflaufraten verringern kann, indem sie eine gleichmäßigere Feuchtigkeitsversorgung der Keimlinge gewährleistet.

Block 3+7 (s. Tab. A. 7):

Bei einer reduzierten Fahrgeschwindigkeit von 6 km/h und einer Ablagetiefe von 3 cm wiesen die Zinkenschar im Vergleich zur Nullparzelle keine signifikant schlechteren Feldaufgangswerte auf – mit Ausnahme des 60mm-Schar, das unter diesen Bedingungen signifikant geringere Feldaufgangsraten zeigte. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass eine verringerte Geschwindigkeit zu einer verbesserten Saatgutablage und Keimlingsentwicklung führen kann, jedoch spezifische Schartypen unterschiedlich auf die veränderten mechanischen Einwirkungen reagieren.

Block 4+8 (s. Tab. A. 8):

Unter den extremen Testbedingungen – höchste Fahrgeschwindigkeit von 12 km/h bei einer Ablagetiefe von 3 cm – zeigten sowohl das 60mm- als auch das 100mm-Schar signifikant schlechtere Feldaufgangsraten im Vergleich zur Nullparzelle, aber auch gegenüber den GF- und OF-Scharsystemen. Dies deutet darauf hin, dass höhere Geschwindigkeiten

insbesondere bei breiteren Scharen zu einer verschlechterten Saatgutablage und einer ungleichmäßigen Keimlingsetablierung führen können.

Zusammenfassende Interpretation:

Höhere Fahrgeschwindigkeiten (>9 km/h) in Kombination mit geringeren Ablagetiefen (3 cm) führten insbesondere bei den Zinkenscharen zu einem reduzierten Feldaufgang.

Eine tiefere Ablagetiefe (5 cm) konnte die negativen Effekte bei 9 km/h kompensieren, vermutlich durch eine verbesserte Feuchtigkeitsverfügbarkeit für die Keimlinge.

Eine reduzierte Fahrgeschwindigkeit (6 km/h) zeigte sich insgesamt vorteilhaft für den Feldaufgang, mit Ausnahme des 60mm-Schars, das unter diesen Bedingungen eine signifikant schlechtere Etablierung aufwies.

Bei 12 km/h und einer Ablagetiefe von 3 cm war die Feldaufgangsrate insbesondere bei breiteren Scharen (60mm und 100mm) signifikant reduziert. Dies legt nahe, dass höhere Fahrgeschwindigkeiten in Kombination mit breiteren Scharen die Saatgutverteilung und Bodenbedeckung negativ beeinflussen.

4.2 Hypokotylllänge und Ablagepräzision

Um die Präzision der Ablage zu bestimmen, wurde die Hypokotylllänge gemessen, vom Saatgut bis zum ersten Knoten und Austreten aus der Erde. Die Daten der Hypokotylllänge wurden in Excel eingetragen, die dann in Boxplots(Kastengrafiken) umgewandelt wurden, damit soll die Streuung visualisiert werden in der Ablagetiefe. Zusätzlich wurde mit Excel noch die Standardabweichung und Varianz berechnet. Eine gleichmäßige Hypokotylllänge und ein kompakter Boxplot, stellen eine Präzise Ablage da. In Abbildung 9 zu sehen, wie die Daten hauptsächlich zwischen 2,3 und 3cm liegen, es gibt in jeder Parzelle ein paar die tiefer liegen, aber nicht tiefer als 3,5 cm, und andersherum ein paar Ausnahmen die flacher liegen bei bis zu 2cm, ein paar wenige Ausreißer liegen noch flacher bei 1,7 bis 1,5cm. Mit einer Standardabweichung von 0,37 und einer Varianz von 0,14 (s.Abb.14) über alle Streifen werden die Boxplots und die präzise Ablage bestätigt.

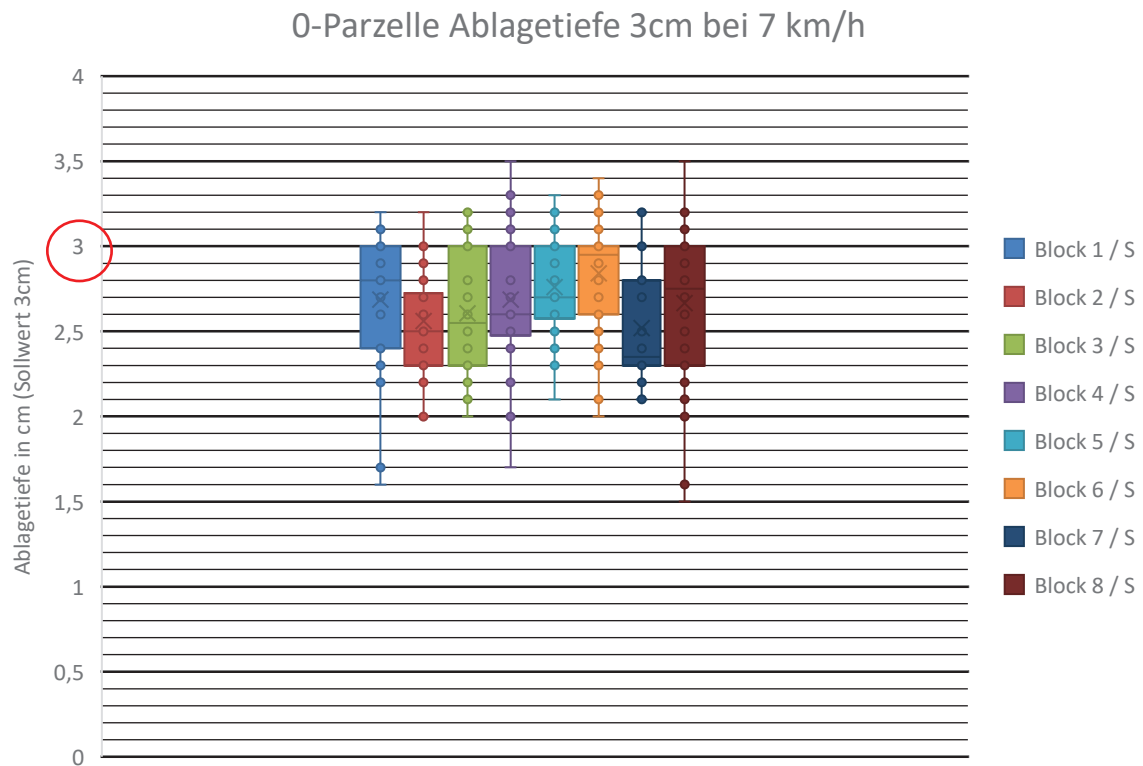


Abbildung 15: 0-Parzelle Ablagetiefe 3cm bei 7 km/h

In Block 3 und 7 die Variante wo mit 6 km/h auf 3cm abgelegt wurde in der Abbildung 10 zwischen zwei und drei Zentimetern befindet sich der Großteil der Aussaat, wobei die Streuung schon größer wird von der Ablage auf 1cm (60mm) bis 5cm(GF), wobei es sich hier um einzelne Streuungspunkte handelt. Die geringste Streuung hat das 100er Schar mit einer Standardabweichung von 0,48 und einer Varianz von 0,24 (s. Abb. 14). Die anderen drei Scharsysteme haben eine Standardabweichung zwischen 0,60 und 0,63 und liegen auf

einem ähnlichen Niveau (s. Abb. 14), die Varianz bei den drei Systemen schwankt zwischen 0,36 und 0,40 (s. Abb. 14).

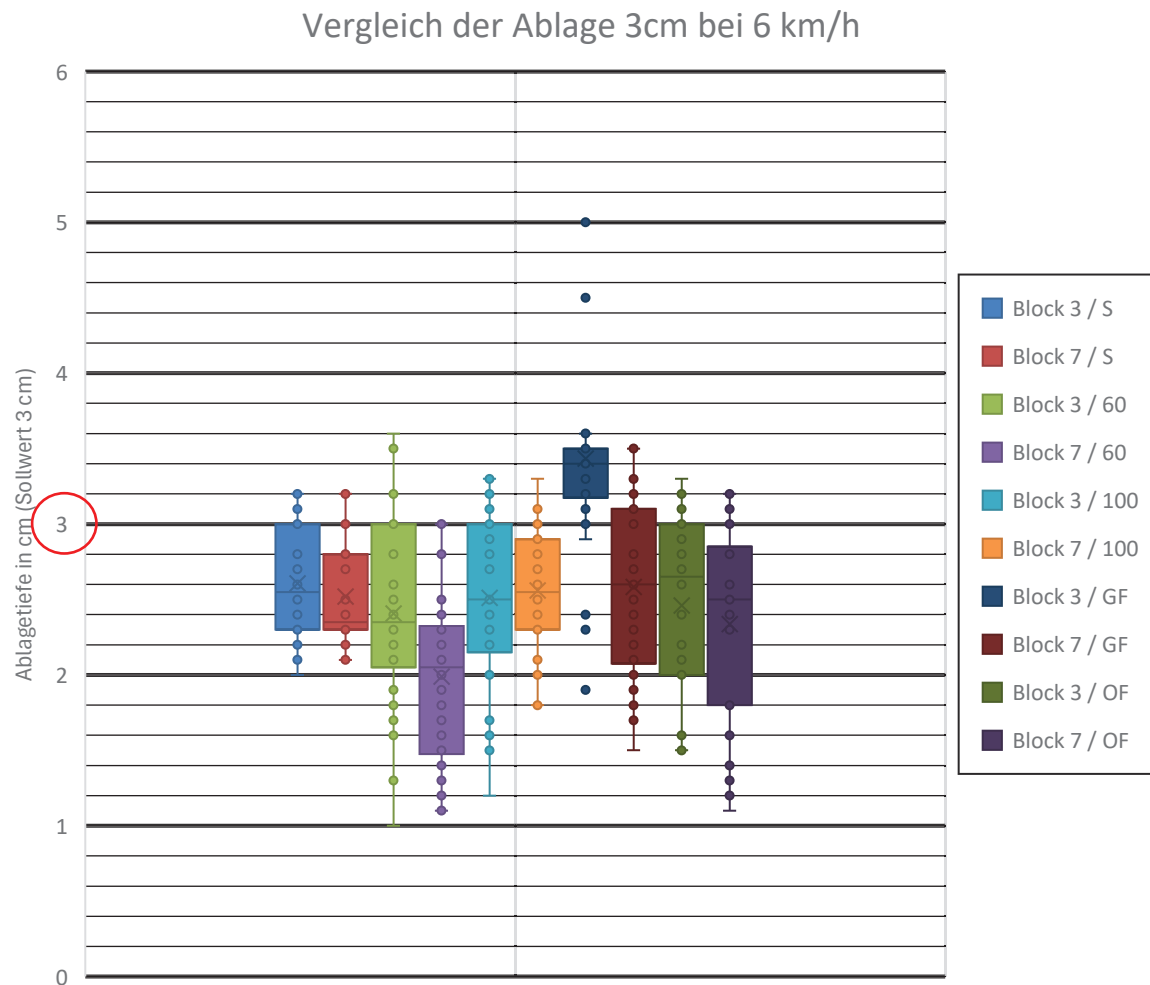


Abbildung 16: Vergleich der Ablage 3cm bei 6 km/h

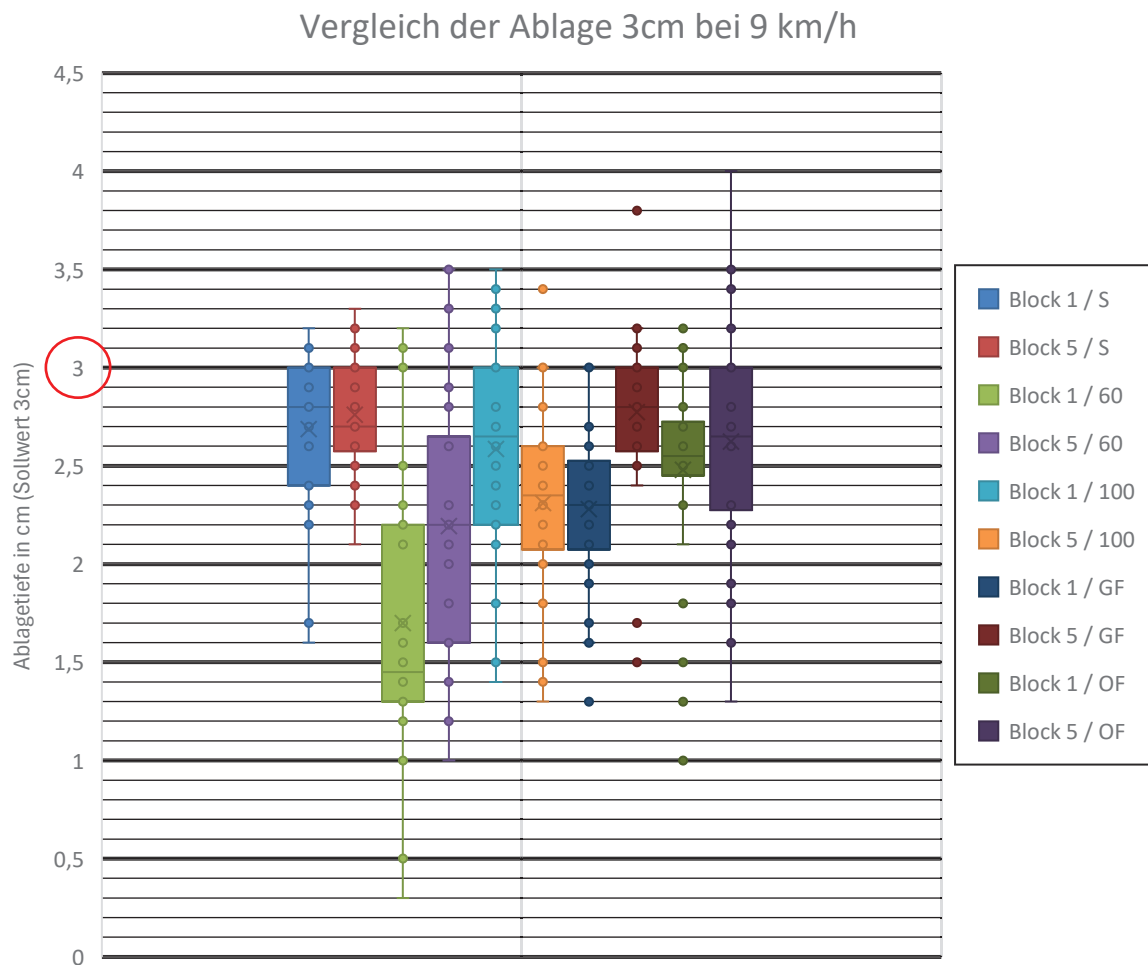


Abbildung 17: Vergleich der Ablage 3cm bei 9 km/h

In Block 1 und 5 der Ablage in 3cm tiefe und 9 km/h Fahrgeschwindigkeit, sehen wir die engsten Kastengrafiken über beide Streifen bei dem GF-Schar (s. Abb. 11) was auch durch die Standardabweichung von 0,41 und der Varianz von 0,17 bestätigt wird (s. Abb. 14), sie ist damit ähnlich präzise wie die Scheibe und die Einzige, die von der Präzision in die nahe kommt.

Die beiden Varianten 100mm- und OF-Schar liegen bei einer Standardabweichung von 0,51 (100er) und 0,55 (OF) (s. Abb. 14) die Varianz dabei beträgt 0,26 (100er) und 0,30 (OF) (s. Abb. 14), die größte Ungenauigkeit hat das 60mm- Schar mit einer Standardabweichung von 0,68 und einer Varianz von 0,46 (s. Abb. 14).

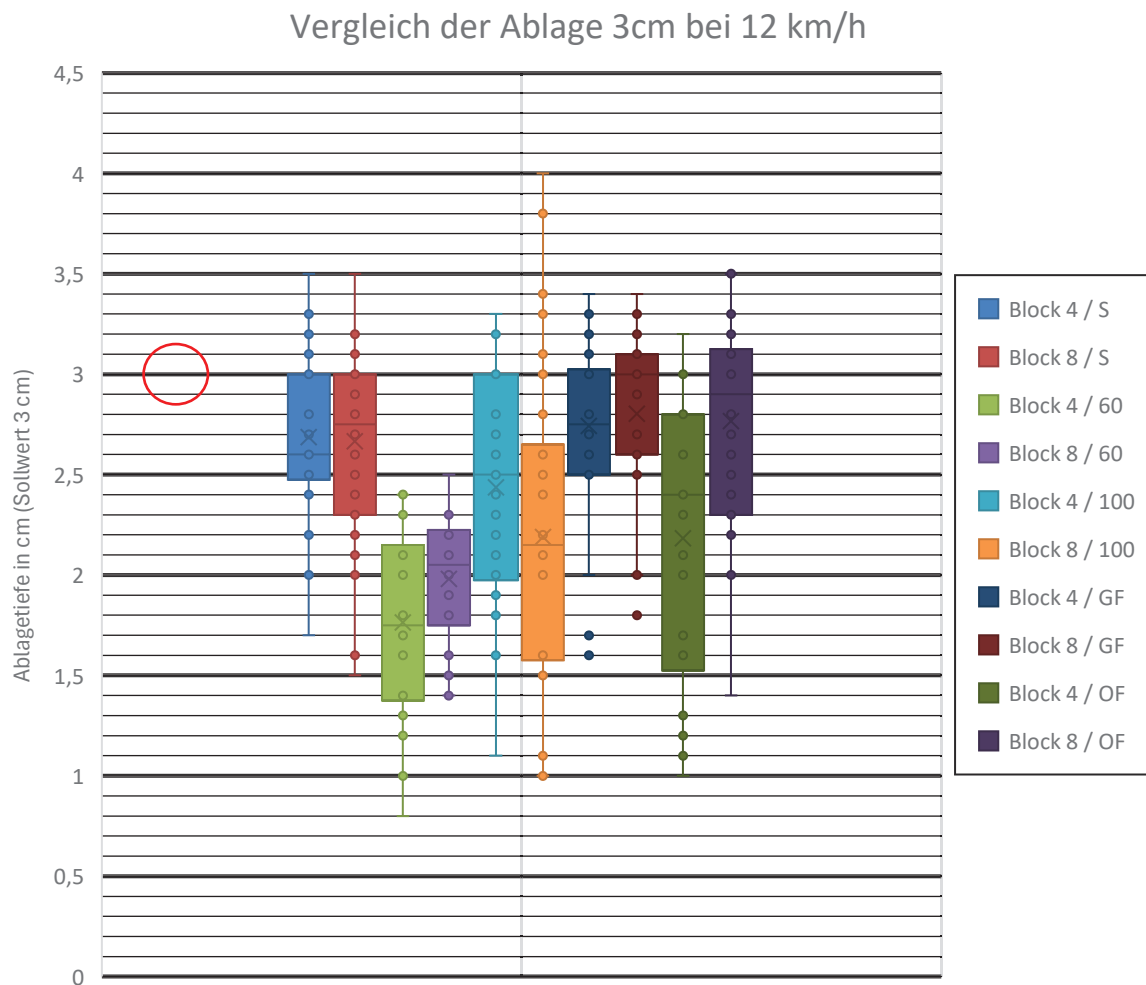


Abbildung 18: Vergleich der Ablage 3cm bei 12 km/h

Block 4 und 8, wo auf 3 cm mit 12 km/h abgelegt wurde erzielt das 60mm- Schar und das GF- Schar zwei Ergebnisse, die von der Standardabweichung und der Varianz fast an die Scheibe herankommen. Das 60er Schar mit einer Standardabweichung von 0,40 und einer Varianz von 0,17 (s. Abb. 14) und das GF-Schar mit einer Standardabweichung von 0,43 und einer Varianz von 0,19. Wie in Abbildung 12 zu sehen, das GF-Schar hat den geplanten Ablagebereich von 3cm getroffen, während das 60mm- Schar, das ganze einen Zentimeter zu flach abgelegt hat. Das OF-Schar hat eine Standardabweichung von 0,60 und eine Varianz von 0,37(s. Abb. 14). Die größte Standardabweichung mit 0,71 und einer Varianz von 0,52 hat in dieser Variante das 100mm- Schar (s. Abb. 14). Beide Ergebnisse werden auch hier durch die extrem lang gezogenen Kästchen aus Abb. 12 unterstrichen.

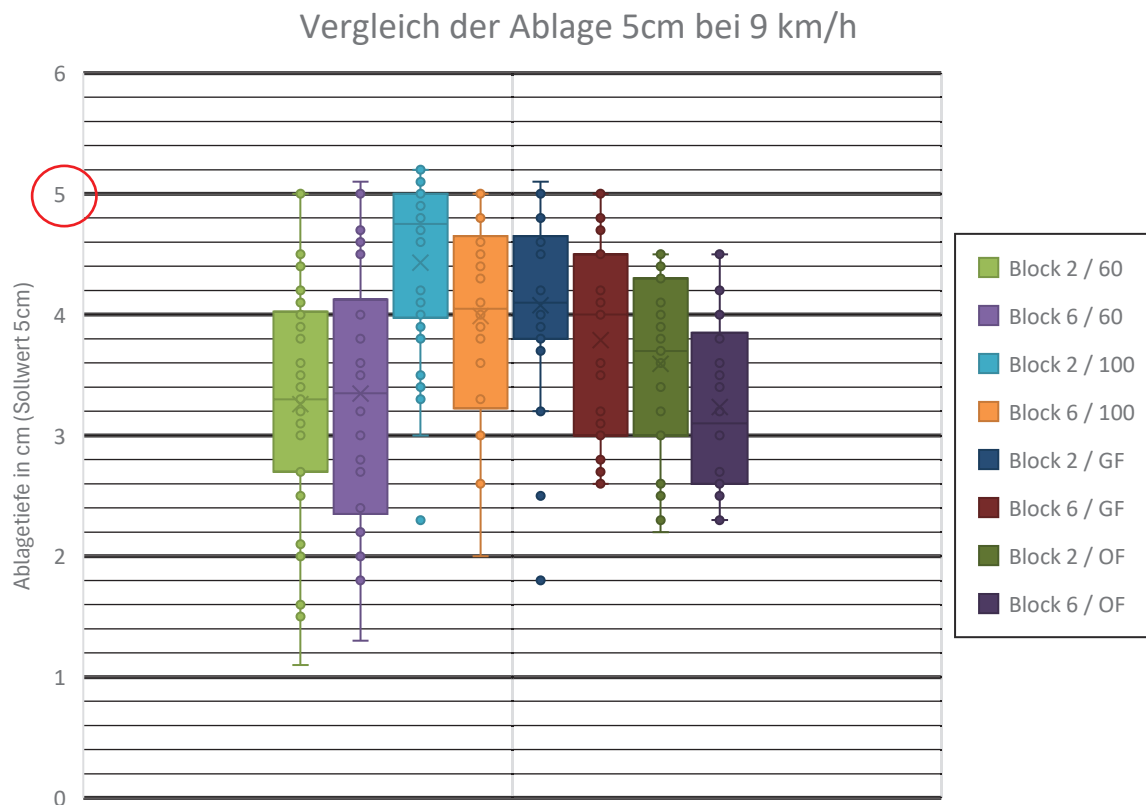


Abbildung 19: Vergleich der Ablage 5cm bei 9 km/h

Die letzte Variante ist die mit der Ablage auf 5cm bei 9 km/h Arbeitsgeschwindigkeit in Block 2 und 6. In die Abbildung 13 wurde die Nullparzelle nicht mit reingenommen, weil diese auf 3cm gelegt wurde. Anhand der Abbildung 13 lässt sich Lesen, dass wir den Zielwert von 5cm nur selten erreicht haben. Die beiden Scharssysteme 100mm- und GF-Schar mit der meisten Bodenbewegung, sind am ehesten an den Zielwert herangekommen.

Während das 60mm- Schar bei 3cm und 12 km/h noch das Beste aller Ergebnisse lieferte, liefert es in der Variante 5cm und 9 km/h das Schlechteste mit einer Standardabweichung von 1,04 und einer Varianz von 1,09 (s. Abb. 14) was auch anhand der Boxplots deutlich wird aus Abbildung 13. Während GF-Schar und 100er auf einem ähnlichen Niveau liegen mit einer Standardabweichung von 0,81(GF) und 0,79(100mm) und einer Varianz von 0,66(GF) und 0,63(100mm), so hat das OF-Schar hier das beste Ergebnis mit einer Standardabweichung von 0,72 und einer Varianz von 0,52 (s. Abb. 14).

Die Analyse der Hypokotyllängen unter verschiedenen Ablagetiefen und Fahrgeschwindigkeiten zeigt signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Scharsystemen. Die Hypokotyllänge ist ein entscheidender Parameter für die Qualität der Saatgutablage, da sie die

tatsächliche Ablagetiefe reflektiert und damit Aufschluss über die Präzision der Sätechnik gibt.

Block 1+5 (s. Tab. A. 9):

Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 9 km/h und einer angestrebten Ablagetiefe von 3 cm zeigen sich signifikante Abweichungen in der Hypokotyllänge in Abhängigkeit von der verwendeten Scharvariante. Insbesondere das 60mm-Schar weist mit einer mittleren Hypokotyllänge von 1,9 cm die stärkste negative Abweichung vom Zielwert von 3 cm auf und differenziert sich damit signifikant von den anderen Varianten.

Block 2+6 (s. Tab. A. 10):

Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 9 km/h und einer angestrebten Ablagetiefe von 5 cm sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Scharvarianten feststellbar. Allerdings zeigt sich, dass die Zielablage von 5 cm insgesamt nicht erreicht wurde. Die mittlere Hypokotyllänge variiert zwischen 3,3 cm und 4,2 cm. Lediglich das 100mm-Schar (4,2 cm) und das GF-Schar (3,9 cm) weichen signifikant von der Nullparzelle ab und liegen am nächsten am angestrebten Zielwert. Das 60mm-Schar zeigt mit einer mittleren Hypokotyllänge von 2,7 cm die stärkste Abweichung vom Zielwert und unterscheidet sich signifikant vom 100mm-Schar.

Block 3+7 (s. Tab. A. 11):

Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 6 km/h und einer angestrebten Ablagetiefe von 3 cm weist das 60mm-Schar mit einer mittleren Hypokotyllänge von 2,2 cm erneut eine negative Abweichung vom Zielwert auf. Im Vergleich dazu erreicht das GF-Schar mit einem Mittelwert von 3,0 cm exakt den Zielwert. Die Unterschiede zwischen den Varianten sind jedoch nicht signifikant, mit Ausnahme des GF-Schar, das sich signifikant vom 60mm-Schar unterscheidet.

Block 4+8 (s. Tab. A. 12):

Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 12 km/h und einer angestrebten Ablagetiefe von 3 cm

zeigt sich eine signifikante negative Abweichung der Hypokotyllänge für das 60mm-Schar mit einem Mittelwert von 1,9 cm. Die übrigen Varianten zeigen mittlere Werte, die näher am Zielwert von 3 cm liegen. Die Unterschiede zwischen den Varianten sind überwiegend nicht signifikant, mit Ausnahme des GF-Schar, das eine mittlere Hypokotyllänge von 2,8 cm erreicht und somit dem Zielwert am nächsten kommt. Zudem zeigt das 60mm-Schar eine signifikante Abweichung gegenüber der Nullparzelle, die mit einer mittleren Hypokotyllänge von 2,7 cm gemessen wurde.

Zusammenfassende Interpretation:

Das 60mm-Schar zeigte in allen Blöcken die größte Abweichung von der Ziel-Hypokotyllänge und führte in mehreren Fällen zu einer signifikant zu flachen Ablage des Saatguts.

Das 100mm-Schar und das GF-Schar wiesen die höchste Übereinstimmung mit der angestrebten Ablagetiefe auf, insbesondere bei 5 cm Zielablage.

Höhere Fahrgeschwindigkeiten (9 km/h und 12 km/h) führten zu stärkeren Abweichungen von der Zielhypokotyllänge, was auf eine reduzierte Ablagepräzision hinweist.

Eine geringere Fahrgeschwindigkeit (6 km/h) verbesserte die Ablagequalität, insbesondere für das GF-Schar, das eine exakte Zielhypokotyllänge von 3 cm erreichte.

Diese Ergebnisse verdeutlichen die Bedeutung der Saatgutplatzierung für die Keimlingsentwicklung. Eine angepasste Kombination aus Fahrgeschwindigkeit und Schartyp kann die Präzision der Ablagetiefe verbessern und somit eine homogene Keimlingsentwicklung und einen optimalen Feldaufgang gewährleisten

4.3 Bestandeshöhe

Im Folgenden wird eine empirische Auswertung der Bestandeshöhe (in cm) unter den unterschiedlichen Versuchsparametern präsentiert:

Block 1 + 5 (s. Tab. A. 13):

Unter diesen Bedingungen zeigten sämtliche Zinkenvarianten signifikant niedrigere Bestandeshöhe im Vergleich zur Null-Parzelle. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Standardaussaat bei einer Geschwindigkeit von 9 km/h und einer Ablagetiefe von 3 cm zu einer reduzierten Pflanzendichte bzw. Pflanzenentwicklung führt, wenn man die Null-Parzelle als Referenz heranzieht.

Block 2 + 6 (s. Tab. A. 14):

Bei der Erhöhung der Ablagetiefe auf 5 cm und einer Fahrgeschwindigkeit von 9 km/h konnten keine signifikanten Unterschiede in der Bestandeshöhe zwischen den verschiedenen Vergleichsgruppen festgestellt werden. Diese Homogenität in der Entwicklung der Bestandeshöhe legt nahe, dass die veränderte Ablagetiefe zu einer Angleichung der Pflanzenentwicklung führt.

Block 3 + 7 (s. Tab. A. 15):

Unter der Bedingung einer reduzierten Fahrgeschwindigkeit von 6 km/h in Kombination mit einer Ablagetiefe von 3 cm ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Differenzen in der Bestandeshöhe zwischen den Versuchsgruppen. Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass die veränderte Geschwindigkeitsvorgabe bei konstant gehaltenen Ablageparametern (3 cm) zu einer einheitlichen Pflanzenentwicklung beiträgt.

Block 4 + 8 (s. Tab. A. 16):

In diesem Versuchsdurchlauf wurden in fast allen Vergleichsgruppen keine signifikanten Abweichungen in der Bestandeshöhe festgestellt. Lediglich in den Fällen des 60mm- und des 100mm-Schar zeigten sich signifikante Unterschiede im Vergleich zur Nullparzelle. Diese Ausnahmen deuten darauf hin, dass spezifische Zinkenvarianten unter den gegebenen Bedingungen (6 km/h, 3 cm Ablagetiefe) eine abweichende Pflanzenentwicklung aufweisen, was auf einen sensitiv differenzierten Einfluss der mechanisierten Aussaat hinweist.

Zusammenfassende Interpretation:

Die Ergebnisse belegen, dass die Bestandeshöhe als ein wichtiger agronomischer Parameter sensitiv auf die mechanischen Einflussgrößen der Aussaat reagiert. Während bei konstanter Ablagetiefe von 3 cm und einer Fahrgeschwindigkeit von 9 km/h sämtliche Zinkenvarianten signifikant schlechter abschneiden als die Nullparzelle, führt eine Erhöhung der Ablagetiefe auf 5 cm (bei gleicher Geschwindigkeit) zu einer Angleichung der Bestandeshöhe zwischen den Versuchsgruppen. Bei einer reduzierten Fahrgeschwindigkeit (6 km/h) zeigt sich insgesamt ebenfalls eine Homogenität in der Pflanzenentwicklung, mit Ausnahme einzelner Zinkenvarianten (60mm- und 100mm-Schar) in Block 4 + 8, die signifikant von der Referenz abweichen. Diese differenzierten Beobachtungen liefern wertvolle Hinweise auf die Optimierungspotenziale mechanisierter Aussaatverfahren hinsichtlich der präzisen Steuerung von Ablageparametern und deren Einfluss auf die frühe Pflanzenentwicklung

4.4 Wurzelbonitierung

Im Folgenden wird eine differenzierte, wissenschaftliche Auswertung der Wurzelbonitierung unter den unterschiedlichen Versuchsbedingungen präsentiert:

Block 1 + 5 (s. Tab. A. 17):

Unter diesen Parametern ergab die statistische Analyse, dass lediglich zwischen der Nullparzelle (Mittelwert: 3,3) und dem GF-Schar (Mittelwert: 2,6) signifikante Unterschiede in der Wurzelbonitierung festzustellen waren. Es ist hierbei zu beachten, dass in dieser Versuchsanordnung ein Maximalwert ein Mittelwert von 5,0 erreicht werden kann, der den oberen Rand der Messskala repräsentiert.

Block 2 + 6 (s. Tab. A. 18):

Bei einer Erhöhung der Ablagetiefe auf 5 cm wurden zwischen den Versuchsgruppen keine statistisch signifikanten Differenzen in der Wurzelbonitierung festgestellt. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass unter den gegebenen Bedingungen eine homogene Wurzelentwicklung erzielt wurde, ohne dass einzelne Zinkenvarianten signifikant von der Referenz (Nullparzelle) abwichen.

Block 3 + 7 (s. Tab. A. 19):

Die Durchführung bei reduzierter Fahrgeschwindigkeit führte dazu, dass sämtliche der vier Vergleichsgruppen im direkten Vergleich zur Nullparzelle signifikante Abweichungen in der Wurzelbonitierung aufwiesen. Innerhalb der Zinkenvarianten wurden jedoch keine signifikanten intergruppenspezifischen Unterschiede ermittelt, was auf einen einheitlichen Einfluss der niedrigen Geschwindigkeit in Verbindung mit der 3 cm Ablagetiefe schließen lässt.

Block 4 + 8 (s. Tab. A. 20):

Analog zu den Ergebnissen aus Block 3 + 7 zeigten auch bei erhöhter Fahrgeschwindigkeit signifikante Differenzen in der Wurzelbonitierung zwischen allen Vergleichsgruppen und der Nullparzelle. Die interne Variation zwischen den einzelnen Zinkenvarianten blieb jedoch statistisch unauffällig, sodass hier primär der Einfluss der erhöhten mechanischen Beanspruchung im Vordergrund steht.

Zusammenfassende Interpretation:

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Wurzelbonitierung empfindlich auf die mechanischen Einflussfaktoren der Ablageparameter reagiert. Insbesondere unter den Bedingungen der Blöcke 3 + 7 und 4 + 8 konnten signifikante Abweichungen zur Nullparzelle festgestellt werden, während die Differenzierung zwischen den einzelnen Zinkenvarianten weitgehend homogen blieb. Diese Beobachtungen liefern wertvolle Hinweise darauf, dass sowohl die Fahrgeschwindigkeit als auch die Ablagetiefe entscheidende Faktoren für die Ausprägung der Wurzelbonitierung sind und damit indirekt auf die Effizienz der Pflanzenausbringung und die darauffolgende Keimlingsentwicklung Einfluss nehmen.

4.5 Unkräuter und Ungräser (s. Tab. A. 21 bis 28):

Unkrautbonitur:

Block 4+8 (s. Tab. A. 28):

Unter einer Fahrgeschwindigkeit von 12 km/h und einer Ablagetiefe von 3 cm konnten keine signifikanten Unterschiede in der Unkrautdichte zwischen den meisten untersuchten Varianten festgestellt werden. Eine Ausnahme bildete jedoch das GF-Schar, das mit einem Mittelwert von 0,7 Pflanzen/m² signifikant höhere Unkrautdichten aufwies als die Nullparzelle und das 60mm-Schar.

Ungrasbonitur:

Die Bonitur der Ungrasdichte ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Varianten.

4.6 Dieselverbrauch

Im Folgenden wird eine Auswertung des Dieselverbrauchs (in l/ha) unter den verschiedenen Versuchsparametern präsentiert.

Block 1 + 5 (s. Tab. A. 29):

Unter diesen Betriebsparametern wurde festgestellt, dass sämtliche Zinkenvarianten einen signifikant erhöhten Dieselverbrauch im Vergleich zur Nullparzelle aufwiesen. Insbesondere zeigte das 100mm-Schar einen statistisch signifikant höheren Verbrauch als die 60mm- und die OF-Variante. Diese Beobachtung deutet darauf hin, dass die mechanischen

Belastungen, die beim Einsatz des 100mm-Schar auftreten, einen substanziell höheren Energieaufwand erfordern.

Block 2 + 6 (s. Tab. A. 30):

Bei gleicher Fahrgeschwindigkeit, jedoch unter Erhöhung der Ablagetiefe auf 5 cm, persistierte das Muster: Alle untersuchten Zinkenvarianten wiesen einen signifikant höheren Dieselerverbrauch im Vergleich zur Null-Parzelle auf. Auch hier war der Verbrauch des 100mm Schar signifikant über dem der 60mm- und der OF-Variante, was die Relevanz der Zinkenvariante als Einflussfaktor auf den Energieaufwand bestätigt.

Block 3 + 7 (s. Tab. A. 31):

Bei reduzierter Fahrgeschwindigkeit (6 km/h) und konstanter Ablagetiefe von 3 cm ergaben sich differenzierte Effekte. So lag der Dieselerverbrauch des 100mm-Schar mit 8,7 l/ha sowie der des OF-Schars mit 7,8 l/ha signifikant über dem Wert der Nullparzelle. Darüber hinaus war der Verbrauch des 100er-Schar signifikant höher als der des GF-Schar, der mit 7,4 l/ha einen niedrigeren Energieaufwand aufwies. Diese Ergebnisse unterstreichen, dass bereits bei einer Reduktion der Fahrgeschwindigkeit Unterschiede in der Effizienz der Zinkenvarianten erkennbar sind.

Block 4 + 8 (s. Tab. A. 32):

Unter den Bedingungen einer erhöhten Fahrgeschwindigkeit von 12 km/h und einer Ablagetiefe von 3 cm wurden ebenfalls signifikant höhere Dieselerverbrauchswerte festgestellt. Die Varianten 60mm (7,2 l/ha), 100mm (7,9 l/ha) und GF-Schar (8,4 l/ha) wiesen jeweils signifikant höhere Werte als die Nullparzelle (6,4 l/ha) auf. Ferner ergaben sich in diesem Versuchsblock signifikante intervarianten Differenzen: Der Dieselerverbrauch des 60mm-Schar (7,2 l/ha) sowie des OF-Schar (6,8 l/ha) lag signifikant unter dem des 100mm- (7,9 l/ha) und des GF-Schar (8,4 l/ha).

Zusammenfassende Interpretation:

Die Ergebnisse belegen, dass der Dieselerverbrauch in sämtlichen Versuchsblöcken signifikant über dem Wert der Referenz (Nullparzelle) liegt. Insbesondere zeigt das 100mm-Schar in mehreren Versuchskonstellationen einen signifikant höheren Verbrauch als die anderen Zinkenvarianten. Diese Befunde verdeutlichen, dass die mechanischen Eigenschaften der Zinkenvarianten, in Kombination mit den jeweiligen Betriebsparametern

(Fahrtgeschwindigkeit und Ablagetiefe), einen maßgeblichen Einfluss auf den Energieaufwand im mechanisierten Aussaatprozess ausüben. Die gewonnenen Erkenntnisse liefern somit wertvolle Ansatzpunkte für die Optimierung der Betriebsführung im Hinblick auf eine nachhaltige Ressourcennutzung und Effizienzsteigerung im landwirtschaftlichen Maschinenbetrieb.

4.7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Interpretation

Die Ergebnisse basieren auf einer systematischen Versuchsreihe, in der acht Blöcke mit vier Parameterkombinationen realisiert wurden. Zur statistischen Validierung kamen eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) sowie der Tukey-HSD-Test zur Anwendung.[55]

Die empirischen Befunde liefern nicht nur Einblicke in die Keimlingsentwicklung und frühe Wachstumsparameter, sondern auch in den Energieaufwand sowie die ökonomischen Aspekte des mechanisierten Aussaatprozesses.

Die Aussaat erfolgte mittels zweier unterschiedlicher Sätechniken, einer Scheibensämaschine als Nullparzelle, sowie einer Zinkensämaschine mit vier Scharformen. Die Variation des Reihenabstands führte zu unterschiedlichen Erfassungsmodalitäten. Ziel der Untersuchung war es, anhand von Messgrößen wie Feldaufgang, Hypokotylllänge, Wurzelbonitierung, Bestandeshöhe, Unkraut- und Ungräser Druck sowie dem Dieserverbrauch (l/ha) die Effizienz der mechanisierten Aussaat quantitativ zu analysieren. Die statistische Analyse erfolgte mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$.

Feldaufgang und Keimlingsentwicklung

Die Datenerhebung erfolgte in zwei Bonituren (10.–13. April 2024 und 13.–17. Mai 2024). Die Null-Parzelle (Scheibensämaschine) wies im Vergleich zu den Zinkenvarianten signifikant höhere Pflanzendichten auf. Insbesondere wurde ein Zuwachs von bis zu 14 Pflanzen/m² in der Null-Parzelle verzeichnet, während die Zinkenvarianten – abhängig vom Scharsystem – Werte zwischen 6 und 9 Pflanzen/m² erreichten.

Die ANOVA ergab signifikante Unterschiede zwischen den Scharvarianten ($p < 0,05$). Das 60mm-Schar zeigte eine signifikant niedrigere Keimrate als die breiteren Varianten (100mm und Gänsefußschar), was auf eine unzureichende Bodenbedeckung und suboptimale Wasserverhältnisse zurückzuführen ist.[90]

Hypokotyllänge als Indikator der Ablagepräzision

Die Hypokotyllänge, gemessen vom Saatgut bis zum ersten Knoten bzw. dem Austritt aus der Erde, wurde als Indikator zur Beurteilung der Ablagepräzision herangezogen. Die statistische Analyse, gestützt durch Boxplots, Standardabweichung und Varianz.

Das 60mm-Schar zeigt wiederholt signifikante Unterschiede zu mehreren anderen Behandlungen (100mm-, GF-, OF-Schar), insbesondere in den Blöcken 1+5 und 4+8.

Die Nullparzelle unterscheidet sich signifikant vom 100mm- und GF-Schar in Block 2+6, was auf spezifische Unterschiede in der Hypokotyllänge hinweist.

Der Vergleich 60mm vs. GF ist in mehreren Blöcken signifikant, was darauf hindeutet, dass diese Behandlungen unterschiedliche Auswirkungen auf die Hypokotyllänge haben.

Die Unterschiede zwischen Nullparzelle, 100mm- und GF-Schar variieren je nach Block, was auf eine mögliche Interaktion zwischen Umweltbedingungen und Saatgutablage hinweist.

Keine der Behandlungen zeigt durchgehend signifikante Unterschiede über alle Blöcke hinweg, was bedeutet, dass die Effekte standort- und bedingungsabhängig sein können.[90]

Wurzelbonitierung und Bestandeshöhe

Die Wurzelbonitierung, erfasst auf einer Skala von 1 bis 5, erwies sich als sensitiv gegenüber mechanischen Einflüssen. Während bei einer Geschwindigkeit von 9 km/h und einer Ablagetiefe von 3 cm nur zwischen der Nullparzelle (Mittelwert= 3,3) und dem Gänsefußschar (Mittelwert= 2,6) signifikante Unterschiede auftraten, zeigten sich bei abweichenden Fahrgeschwindigkeiten (6 km/h bzw. 12 km/h) signifikante Differenzen zwischen allen Scharsystemen und der Nullparzelle. Dies unterstreicht den Einfluss mechanischer Beanspruchung auf die Wurzelentwicklung.

Die Nullparzelle zeigt wiederholt signifikante Unterschiede zu anderen Scharen, insbesondere in den Blöcken 3+7 und 4+8.

In den Blöcken 2+6 gibt es keine signifikanten Unterschiede, was darauf hindeutet, dass dort andere Wachstumsfaktoren die Wurzelentwicklung stärker beeinflussen könnten. Vielleicht, aber auch weil die Ablage den 3cm näher gekommen ist und in den anderen zu flach abgelegt wurde.

Der Vergleich der Nullparzelle mit dem GF-Schar ist in mehreren Blöcken signifikant, insbesondere in 1+5, 3+7 und 4+8. Dies legt nahe, dass diese unterschiedliche Wirkungen auf die Wurzelbonitierung haben.

In Block 4+8 weichen alle signifikant von der Nullparzelle ab, was darauf hinweist, dass die Nullparzelle die Wurzelentwicklung in diesem Block am stärksten beeinflusst hat.[91]

Die Nullparzelle zeigt wiederholt signifikante Unterschiede zu allen anderen Scharen, insbesondere in den Blöcken 1+5 und 4+8. Dies weist darauf hin, dass die Bestandeshöhe in dieser Behandlung systematisch von den anderen abweicht.

In den Blöcken 2+6 und 3+7 wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt, was darauf hindeutet, dass die Effekte in diesen Blöcken weniger ausgeprägt sind oder andere Faktoren das Wachstum dominieren.

Die signifikanten Unterschiede in Block 1+5 und Block 4+8 konzentrieren sich auf die Vergleiche mit der Nullparzelle, während die Zinkenschar sich nicht signifikant unterscheiden. Somit lässt sich festhalten, dass die Bestandeshöhe in der Nullparzelle positiv beeinflusst ist. Es gibt keine einheitliche Tendenz über alle Blöcke hinweg, was auf standort- oder witterungsabhängige Einflüsse hinweisen könnte.

Die Unterschiede sind in bestimmten Blöcken (1+5 und 4+8) besonders ausgeprägt, während sie in anderen (2+6, 3+7) nicht nachweisbar sind.

Weitere Analysen sollten prüfen, ob externe Faktoren (z. B. Bodenbeschaffenheit, Wasserverfügbarkeit) Einfluss genommen haben.[91]

Dieserverbrauch und Energieaufwand

Der Dieserverbrauch wurde als ökonomisch relevanter Parameter erfasst (l/ha). In sämtlichen Versuchsblöcken lag der Verbrauch bei den Zinkenvarianten signifikant über dem der Nullparzelle. Besonders das 100-mm-Schar wies in mehreren Kombinationen (9 km/h, 6 km/h und 12 km/h bei jeweils 3 cm Ablagetiefe) signifikant höhere Verbrauchswerte auf als die anderen Zinkenvarianten. Diese Ergebnisse zeigen, dass die mechanischen Eigenschaften der Zinkenvarianten – insbesondere des 100-mm-Schars – mit einem erhöhten Energieaufwand verbunden sind, was direkte ökonomische Konsequenzen nach sich zieht.[92]

Das 100mm- und das OF-Schar zeigen in mehreren Blöcken signifikante Unterschiede, was darauf hindeutet, dass diese Behandlungen unterschiedliche Effekte auf den Dieserverbrauch haben. So weisen sie z.B. in Block 4+8 signifikante Unterschiede auf, was auf mögliche Unterschiede in der mechanischen Beanspruchung oder Effizienz hinweisen könnte.

Das Scheibenschar führt tendenziell zu einem niedrigeren Dieserverbrauch, da sie sich in fast allen Blöcken signifikant von den anderen Scharen unterscheidet.

Die Unterschiede sind in Blöcken 1+5, 2+6 und 4+8 am stärksten ausgeprägt, während sie in Block 3+7 schwächer ausfallen.

Das 100mm- und das OF-Schar zeigen in mehreren Blöcken signifikante Unterschiede auf, was auf unterschiedliche mechanische Anforderungen oder Energieeffizienz hinweisen könnte.[92]

Unkraut- und Ungräser Druck

Die Bonituren ergaben, dass Ungräser häufiger als Unkräuter auftraten. Die Unkrautdichten in der Nullparzelle (Scheibensämaschine) waren nahezu vernachlässigbar. Dies zeigt, dass die Wahl der Aussaattechnik nicht nur die Keimlingsetablierung beeinflusst, sondern auch die Konkurrenzsituation zwischen Kulturpflanzen und unerwünschter Vegetation maßgeblich steuert.

Die statistische Analyse ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Parzellen hinsichtlich der Ungräserdichte. Die Unkrautbonitierung zeigte jedoch signifikante Abweichungen bei der Geschwindigkeit von 12 km/h und einer Ablagetiefe von 3 cm. Insbesondere das GF-Schar wich mit einem Mittelwert von 0,7 Pflanzen/m² signifikant von der Nullparzelle der Scheibensämaschine sowie dem 60mm-Schar ab. Diese Ergebnisse bestätigen frühere Untersuchungen zur Bodenbearbeitung und Aussaattechnik, die eine optimierte mechanische Unkrautkontrolle ermöglichen.[93]

5 Diskussion

5.1 Standort

Die Auswahl eines geeigneten Versuchsstandorts stellt eine der zentralen Herausforderungen in pflanzenbaulichen Untersuchungen dar, da sowohl bodenphysikalische als auch klimatische Faktoren maßgeblich die Wachstumsbedingungen und somit die experimentellen Ergebnisse beeinflussen. Eine homogene Bodenstruktur ist essenziell, da Bodenverdichtungen die Durchwurzelung und Wasseraufnahme limitieren können.[94] Hier ist kritisch zu betrachten, dass die Versuchsfläche eine Erosionsgefährdete Hanglage war. Zusätzlich war der Tonhaltige Boden gefährdet zu verschmieren.

Die klimatischen Bedingungen beeinflussen sowohl die Keimung als auch die Wachstumsdynamik der Pflanzen. Eine Bodentemperatur zwischen 10 °C und 25 °C begünstigt die enzymatische Aktivität und die Nährstoffmobilisierung, während Temperaturabweichungen metabolische Prozesse limitieren können.[95] Ebenso ist die Verteilung der Niederschläge von entscheidender Bedeutung, da extreme Trockenperioden oder Staunässe die Pflanzenentwicklung hemmen. Studien belegen, dass angepasste Bodenbearbeitungsstrategien, beispielsweise konservierende Bodenbearbeitung oder Mulchsaat, die Wasserverfügbarkeit optimieren und Verdunstungsverluste minimieren können.[96]

Die Aussaat bei einer Bodentemperatur von 8°C (zu kalt) ist vielleicht etwas früh und der Boden nicht ganz abgetrocknet gewesen. Was sich negativ auf die Etablierung ausgewirkt haben könnte. Durch die hohe Standortheterogenität gibt es eine erhöhte Varianz innerhalb der erhobenen Daten, wodurch die Aussagekraft reduziert wird.[97]

Externe Störfaktoren, wie mechanischer Einflüsse, Wind und Wildverbiss, Verzerrungen zu minimieren konnten Maßnahmen wie Schutznetze oder mechanische Begrenzungen leider nicht ergriffen werden.[98]

5.2 Versuchsaufbau und Variablen

Die wissenschaftliche Validität agronomischer Experimente hängt maßgeblich von der Kontrolle experimenteller Variablen ab. Eine übermäßige Anzahl simultan variierender Faktoren kann Interaktionseffekte hervorrufen, wodurch die Isolierung einzelner Einflussgrößen erschwert wird.[99] Die kausale Zuordnung von Effekten wird hierbei zunehmend problematisch, da multiple Einflussgrößen in Wechselwirkung treten und somit potenziell antagonistische oder synergetische Effekte hervorrufen können.[94]. Dieses ist im Versuch geschehen. Es gab mit drei Einflussgrößen, den unterschiedlichen Scharen, der

Fahrtgeschwindigkeit und der Ablagetiefe zu viele Variablen, die sich vermutlich gegenseitig beeinflusst haben. Es wäre sinnvoller gewesen, die Variablen zu reduzieren und mehr Wiederholungen zu haben. Um eine validere Datenmenge zu haben.

Statistische Herausforderungen ergeben sich insbesondere aus der exponentiellen Zunahme der möglichen Faktorstufen-Kombinationen, wodurch der Stichprobenumfang proportional erhöht werden muss, um signifikante Unterschiede nachweisen zu können. Eine zu hohe Anzahl an Variablen kann die statistische Kraft des Versuchs verringern.[100][101] Die Ressourcenintensität nimmt mit steigender Variablenanzahl zu, da die Erfassung, Aufbereitung und Analyse der erhobenen Daten komplexer wird.[102] Dieses hat sich unter anderem im Bonitieren und Verarbeiten der Daten bemerkbar gemacht.

Zur Reduktion systematischer Verzerrungen besteht in der Randomisierung experimenteller Parzellen, wodurch Störvariablen minimiert werden.[103]

Multivariate Analysemethoden, insbesondere Hauptkomponentenanalyse (PCA) und Varianzanalyse (ANOVA), ermöglichen eine differenzierte Betrachtung der Einflussgrößen und tragen zur methodischen Absicherung der Ergebnisse bei.[104]

5.3 Technik

Die technische Ausstattung eines pflanzenbaulichen Versuchs nimmt Einfluss auf die Präzision und Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Variationen in der Ablagetiefe und Saatgutverteilung durch heterogene Maschinenkonfigurationen stellen eine zentrale Fehlerquelle dar.[105]

Technisch divergierende Sämaschinen wie in diesem Versuch können zu inkonsistenten Saatgutverteilungen führen, da Unterschiede in Dosierungsmechanismen, Ablagepräzision und Druckeinstellungen auftreten können. Insbesondere ältere Maschinen weisen häufig Verschleißerscheinungen auf, die eine gleichmäßige Saatgutablage beeinträchtigen.[106]

Eine veränderte Maschinengeometrie kann zudem zu ungleichmäßigen Ablagetiefen führen, wodurch die Keimbedingungen zwischen den Behandlungsgruppen variieren und somit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse reduziert wird.[107]

Eine regelmäßige Kalibrierung der Sämaschinen ist erforderlich, um eine homogene Saatgutablage zu gewährleisten.[108]

Falls unterschiedliche Maschinen verwendet werden, sollten Maschinenarteffekte statistisch berücksichtigt werden, um deren Einfluss von den experimentellen Behandlungsvariablen

zu separieren. In diesem spezifischen Fall erfolgte keine statistische Berücksichtigung der Maschinenarteffekte, da lediglich die Nullparzelle betroffen war.[109]

5.4 Bonitierung und Auswertung

Die Bonitierung agronomischer Parameter erfordert ein methodisch fundiertes Vorgehen, um die Objektivität und Reproduzierbarkeit der Datenerhebung sicherzustellen. Subjektive Beurteilungen stellen eine der häufigsten Fehlerquellen dar, da individuelle Wahrnehmungsdifferenzen zwischen Beobachtern zu Variationen in den erhobenen Daten führen können. Zur Reduktion dieser Artefakte ist die Verwendung standardisierter Boniturskalen essenziell.[110] Dies wurde z.B. umgesetzt anhand einer Bonitierungsskala für die Wurzelbonitierung.

Die Wahl des Boniturzeitpunkts hat signifikanten Einfluss auf die erhobenen Daten, da Schwankungen in Umweltbedingungen und phänologischen Stadien der Pflanzen die Messwerte beeinflussen können.[103]

Eine systematische Erfassung relevanter Parameter, insbesondere unter Berücksichtigung meteorologischer Einflussgrößen, ist daher erforderlich, um Fehlschlüsse zu vermeiden.[102] Daher wurde ein möglichst konsistentes Boniturintervall von drei Wochen festgelegt, wobei die Erhebungen gezielt in niederschlagsfreien Phasen durchgeführt wurden, um witterungsbedingte Variationen in den Messergebnissen zu minimieren.

Statistische Fehlerquellen ergeben sich aus der Auswahl ungeeigneter Analysemethoden, insbesondere wenn Datenverteilungen oder Varianzhomogenität nicht überprüft werden. Methoden wie die Varianzanalyse (ANOVA) oder die Regressionsanalyse sollten unter Berücksichtigung ihrer Modellannahmen angewendet werden, um valide Schlussfolgerungen zu gewährleisten.[111]

Die Auswahl einer adäquaten Stichprobengröße ist ebenfalls entscheidend, da zu geringe Stichprobenumfänge zu einer erhöhten Fehlervarianz führen.[112] Es ist kritisch anzumerken, dass die hohe Anzahl an Variablen zu einer Reduktion der verfügbaren Datenmenge sowie zu einer geringeren Anzahl an Wiederholungen geführt hat, wodurch die Stichprobengröße und damit die statistische Aussagekraft des Experiments eingeschränkt wurden.

Ein weiterer kritischer Punkt ist die Dokumentation externer Störfaktoren, da unkontrollierte Umweltbedingungen, Pathogenbefall oder Herbivoren die Versuchsergebnisse beeinflussen

können. Eine umfassende Erfassung dieser Einflussgrößen ermöglicht eine differenziertere Interpretation der Daten und erhöht die methodische Transparenz.[113]

Aufgrund der räumlichen Distanz von 400 km zum Versuchsstandort war es in einigen Fällen nicht vollständig möglich, alle potenziellen Störfaktoren systematisch zu erfassen und zu dokumentieren.

5.5 Ackerbauliche Maßnahmen

Am Tag nach der Aussaat wurde der gesamte Versuch mittels einer Cambridge-Walze angewalzt. Diese Maßnahme diente primär der Einebnung des Bodens zur Erleichterung des späteren Drusches sowie der Förderung des Schließens der Saatrillen. Durch das Walzen soll eine verbesserte Bodenkontaktierung des Saatguts erreicht und die Kapillarität im Boden erhöht werden, um eine gleichmäßigere Wasserverfügbarkeit während der Keimung sicherzustellen. Gleichzeitig kann das Walzen jedoch zu einer Verdichtung der obersten Bodenschicht führen, was unter bestimmten Bedingungen die Sauerstoffverfügbarkeit im Wurzelraum einschränken und das Auflaufen der Pflanzen negativ beeinflussen kann.[114]

Zusätzlich wurden zwei Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt, die sich an den Richtlinien der guten fachlichen Praxis im Pflanzenschutz orientierten. Die erste Applikation erfolgte am 22. März 2024 mit einer Kombination aus *Bandur* und *Clomazone*, beides Herbizide mit unterschiedlichen Wirkmechanismen, um insbesondere die Konkurrenz durch die Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) zu reduzieren. Diese Maßnahme wurde auf einer Fläche von 9,3 ha mit einer Ausbringungsmenge von 192,53 l/ha appliziert.

Die zweite Pflanzenschutzmaßnahme wurde am 1. Mai 2024 durchgeführt und umfasste die Applikation von *Select - Spurlis* auf einer Fläche von 4 ha mit einer Ausbringungsmenge von 155,31 l/ha. Neben dem Herbizid *Select 240 EC* wurden zusätzlich Spurenelemente zur Förderung einer vitalen Pflanzenentwicklung ausgebracht. Diese bestand aus:

- **Bor 150:** 0,78 l/ha
- **Mn-Chelat:** 0,65 l/ha
- **Molybdän:** 0,19 l/ha
- **Select 240 EC:** 0,78 l/ha
- **Wasser:** 152,92 l/ha

Mögliche nachteilige Effekte dieser Maßnahmen im Rahmen eines pflanzenbaulichen Versuchs

Obwohl der Pflanzenschutz integraler Bestandteil moderner Anbausysteme ist, können die durchgeführten Maßnahmen im Kontext eines pflanzenbaulichen Experiments methodische Herausforderungen mit sich bringen.

Einfluss auf die Vergleichbarkeit der Behandlungen

Die Anwendung von Breitbandherbiziden beeinflusst nicht nur die Zielunkräuter, sondern kann auch das gesamte Begleitflora-Spektrum verändern. Dies kann die Interaktion zwischen Kulturpflanzen und konkurrierender Vegetation erheblich beeinflussen, wodurch Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten verwischt oder überlagert werden könnten.[95]

Interferenz mit bodenmikrobiellen Prozessen

Herbizide wie *Clomazone* sind bodenaktiv und können mikrobiologische Prozesse im Boden beeinflussen, insbesondere durch Veränderungen der Stickstoffmineralisierung oder der mikrobiellen Diversität.[115] In einem Versuchsansatz, der auch bodenbiologische Parameter erfassen will, kann dies eine nicht kontrollierte Störgröße darstellen.

Direkte Wachstumsbeeinflussung durch Spurenelemente

Die zusätzliche Gabe von Mikronährstoffen im Rahmen der zweiten Applikation kann ebenfalls die Wachstumsparameter der Pflanzen beeinflussen. Spurenelemente wie Bor und Molybdän sind essenziell für die Enzymaktivität und die Stickstoffassimilation.[116] In einem pflanzenbaulichen Versuch, der primär Unterschiede zwischen Anbauverfahren oder Saatechniken analysiert, könnte die differenzierte Düngung zu einer systematischen Verzerrung führen, da die Nährstoffversorgung als zusätzlicher Wachstumsfaktor variiert wurde.

Effekte der Bodenfeuchte und Herbizidwirkung

Die Wirkung von Bodenherbiziden wie *Clomazone* ist stark von der Bodenfeuchte abhängig. In einem Versuchsaufbau mit variierenden Bodenbedingungen könnte dies zu ungleichen Herbizidwirkungen zwischen den Versuchseinheiten führen und damit die Interpretation der eigentlichen experimentellen Fragestellung erschweren[105]

Die durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahmen sind agronomisch sinnvoll, können jedoch im Kontext eines wissenschaftlichen Feldversuchs methodische Herausforderungen darstellen. Die selektive Anwendung von Herbiziden und Spurenelementen kann unbeabsichtigte Effekte auf die Wachstumsbedingungen der Pflanzen haben, die nicht allein durch die experimentellen Faktoren erklärt werden können. Um eine höhere interne Validität der Untersuchung zu gewährleisten, wäre eine einheitliche Applikationsstrategie über alle Versuchseinheiten hinweg oder eine statistische Berücksichtigung dieser Maßnahmen erforderlich, um potenzielle Störgrößen zu minimieren.

6 Fazit und Ausblick

Schlussfolgerungen und Implikationen für die mechanisierte Aussaat

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung verdeutlichen, dass sowohl die Fahrgeschwindigkeit als auch die Ablagetiefe signifikante Einflüsse auf zentrale agronomische Parameter wie das Pflanzenwachstum, die Bestandesetablierung und den Ressourcenverbrauch haben. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer optimierten Saatbettbereitung, die agronomische und technische Aspekte integriert.[117][100]

Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf die Saatgutablage und Bestandesentwicklung

Eine Reduktion der Fahrgeschwindigkeit auf Werte unterhalb der standardisierten 9 km/h führte zu einer präziseren Saatgutablage. Dies lässt sich durch die geringere mechanische Belastung des Bodens erklären, welche die gleichmäßige Einbettung des Saatguts fördert und Abweichungen im Feldaufgang minimiert. Frühere Untersuchungen bestätigen, dass eine reduzierte Arbeitsgeschwindigkeit mit einer verbesserten Keimlingsetablierung korreliert, da Turbulenzen und Bodenverdrängung verringert werden, wodurch die Saatablage konsistenter erfolgt.[94]

Zudem kann eine langsamere Arbeitsgeschwindigkeit die Variabilität innerhalb des Bestandes reduzieren und so zu einer homogenen Pflanzenentwicklung beitragen.[91]

Optimierung der Ablagetiefe zur Förderung der Keimlingsetablierung

Die Analyse der Ablagetiefen ergab, dass die angestrebten 5 cm in mehreren Fällen nicht zuverlässig erreicht wurden, was suboptimale Keimbedingungen zur Folge haben kann. Da die Ablagetiefe entscheidenden Einfluss auf die Mikroklimabedingungen des Saatbetts – insbesondere Feuchtigkeit, Sauerstoffverfügbarkeit und Temperatur – hat, kann eine inkonsistente Saatgutplatzierung zu signifikanten Unterschieden in der Keimung führen.[94]

Sensorgestützte Steuerungssysteme, wie GPS- oder bildbasierte Technologien, könnten hierbei die Kalibrierung der Maschinen verbessern und eine exaktere Platzierung des Saatguts ermöglichen.[100][105]

Darüber hinaus hat eine unpräzise Ablagetiefe unmittelbare Auswirkungen auf die Konkurrenzkraft der Pflanzen. Eine zu flache Ablage kann zu einer erhöhten Verdunstung und damit zu Wasserstress führen, während eine zu tiefe Ablage die Sauerstoffverfügbarkeit und Keimfähigkeit reduziert.[98] Diese Effekte wurden bereits in Studien zur Direktsaat und minimalen Bodenbearbeitung nachgewiesen, in denen inkonsistente Saatablagen zu heterogenen Beständen und Ertragsverlusten führten.[97][99]

Bewertung des eingesetzten 60mm-Schars

Die Ergebnisse zeigen, dass das standardmäßig verwendete 60mm-Schar signifikante Nachteile für die frühe Pflanzenentwicklung aufweist. Die Daten belegen eine geringere Keimlingsdichte sowie eine erhöhte Variabilität in der Bestandesetablierung im Vergleich zu breiteren Scharsystemen. Diese Befunde stimmen mit Untersuchungen überein, die zeigen, dass schmalere Schare stärker zur Bodenverdrängung und ungleichmäßigen Saatgutablage beitragen, insbesondere in Böden mit variablen Feuchtigkeitsgehalten.[94][100]

Insbesondere für empfindliche Kulturen, die auf mechanische Belastungen und präzise Ablagetiefen reagieren, sollte der Einsatz des 60-mm-Schars kritisch hinterfragt werden. Alternativen wie Gänsefuß- oder 100-mm-Scharsysteme könnten die Homogenität der Keimlinge und damit die Ertragssicherheit verbessern.[114]

Energieeffizienz und Kraftstoffverbrauch in der mechanisierten Aussaat

Ein weiteres Optimierungspotenzial zeigt sich im Bereich des Dieserverbrauchs. Die Daten weisen darauf hin, dass insbesondere das 100mm-Schar mit einem erhöhten Energieaufwand verbunden ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass breitere Schare eine höhere Bodenresistenz überwinden müssen, wodurch der Traktionsbedarf steigt.[92]

Die Senkung der Bearbeitungsgeschwindigkeit sowie der gezielte Einsatz von energieeffizienteren Säwerkzeugen könnten hier zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs beitragen. Studien zeigen, dass konservierende Bodenbearbeitungstechniken, die mit einer Reduktion der mechanischen Bodenstörung einhergehen, signifikante Einsparungen im Dieserverbrauch ermöglichen, ohne dabei die Bestandesetablierung zu beeinträchtigen.[117][118]

Zukunftsperspektiven für die mechanisierte Aussaat

Für zukünftige Untersuchungen empfiehlt es sich, verstärkt auf die Entwicklung präziser und energiesparender Saattechnologien zu fokussieren. Insbesondere sollten die Wechselwirkungen zwischen mechanischen Parametern, Bodeneigenschaften und klimatischen Einflussfaktoren systematisch untersucht werden, um sowohl Erträge zu maximieren als auch Umweltbelastungen zu reduzieren.[96]

Implikationen für Praxis und Forschung

Die gewonnenen Erkenntnisse liefern wertvolle Handlungsempfehlungen sowohl für landwirtschaftliche Betriebe als auch für Maschinenhersteller. Durch gezielte Anpassungen in der Wahl der Scharsysteme, der Fahrgeschwindigkeit sowie der Ablagetiefe kann nicht nur die homogene Etablierung des Saatbestandes verbessert, sondern auch der Einsatz von Betriebsmitteln effizienter gestaltet werden.

Die Kombination aus agronomischen Optimierungsstrategien und technologischer Weiterentwicklung stellt somit einen zentralen Beitrag zur nachhaltigen Modernisierung der mechanisierten Aussaat dar. Insbesondere in Zeiten zunehmender Herausforderungen durch Klimawandel und Ressourcenschonung ist eine wissenschaftlich fundierte Weiterentwicklung der Aussaattechnologien essenziell, um langfristig Ertragsstabilität und ökologische Effizienz in der landwirtschaftlichen Praxis zu gewährleisten.[93][99]

7 Quellenangaben

[1] Nachhaltigkeits Wirtschaft:

Wie nachhaltige Landwirtschaft den Klimawandel stoppen kann!

2024. Verfügbar unter: <https://nachhaltigkeit-wirtschaft.de/klimawandel-und-nachhaltige-landwirtschaft-handeln-fuer-die-zukunft/> Stand 10.11.2024, 16:13 GMT+2.

[2] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL):

Klimaschützer Land- und Forstwirtschaft – Maßnahmen der Land- und Forstwirtschaft für den Klimaschutz.

Berlin, BMEL, 2024.

[3] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL):

Landwirtschaft und Klimaschutz.

<https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/klimaschutz/landwirtschaft-und-klimaschutz.html>, Stand 13.11.2024, 18:10 GMT+2.

[4] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL):

Pressemitteilung - Klimaschutz in der Landwirtschaft.

<https://www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2023/035-klimaschutz-landwirtschaft.html>, Stand: 13.11.2024, 18:19 GMT+2.

[5] Umweltbundesamt:

Bodenerosion durch Wasser.

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/bodenbelastungen/bodenerosion/bodenerosion-durch-wasser>, Stand: : 13.11.2024, 18:31 GMT+2 .

[6] Umweltbundesamt:

Walabo-Abschlussbericht - Direktsaat.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/190905_abschlussbericht_walabo-final1_0.pdf, Stand: 13.11.2024, 18:59 GMT+2.

[7] Michel, J.:

Erosionsanfälligkeit ökologisch bewirtschafteter Ackerflächen im sächsischen Lößhügelland.

Diplomarbeit, Universität Leipzig, 2004.

[8] Zimmerling, B.:

Beregnungsversuche zum Infiltrationsverhalten von Ackerböden nach Umstellung der konventionellen auf konservierende Bodenbearbeitung.

Horizonte, Band 15, Osnabrück: Der andere Verlag, 2004.

[9] Bundesministerium der Justiz:

Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) – § 17 Gute fachliche Praxis, § 7 Vorsorgepflicht, § 2 Begriffsbestimmungen.

Verfügbar unter:

- https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/_17.html
- https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/_7.html
- https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/_2.html

Herausgeber: Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister der Justiz, Mohrenstraße 37, 10117 Berlin, Stand: 09.12.2024, 09:07 GMT+2.

- [10] Flury, D.:
Konservierende Landwirtschaft.
Schweizerische Gesellschaft für bodenschonende Landwirtschaft, 2019
- [11]
Pilz, S., Bonney, M., Würfel, T., & Pekrun, C. (2024). Konservierender Ackerbau – Ein Anbausystem mit minimaler Bodenbearbeitung und optimiertem Zwischenfruchtanbau. Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Universität Hohenheim, Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der Ländlichen Räume.
- [12] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL):
Anbau und Erntemengen von Erbsen.
<https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/bodennutzung-und-pflanzliche-erzeugung/huelsenfruechte>, Stand: 09.12.2024, 08:39 GMT+2.
- [13] Köller, K.; Hensel, O.:
Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion.
Eugen Ulmer KG, 2019, ISBN: 978-3-8252-5198-7.
- [14] Schmidt, C. P.; Belford, R. K.; Tennant, D.:
Effect of Different Direct Drilling and Conventional Sowing Techniques on Soil Strength, Root Growth, and Grain Yield of Wheat on Sandplain Soils in Western Australia.
Australian Journal of Agricultural Research, 45, 547-564, 1994.
- [15] John Deere:
Sämaschine 750A – Technische Dokumentation.
John Deere, Herstelldokumentation, 2024
- [16] Köckerling GmbH & Co. KG:
Ultima – Sätechnik für den Ackerbau.
Abgerufen von: <https://www.koeckerling.de/produkte/saetechnik/ultima>, Stand: 20.01.2025, 14:13 GMT+2
- [17] BMVEL:
Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion.
Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, 2002.
- [18] Statistisches Bundesamt (Destatis):
Direktsaatfläche Deutschland.
https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Produktionsmethoden/_inhalt.html#_esenyp1hp, Stand: 09.12.2024, 10:01 GMT+2.
- [19] Mello, I., et al.: No-Tillage Agriculture and Soil Carbon Sequestration in Brazil. Soil & Tillage Research, Band 195, 2019, Artikel-Nr. 104365.
- [20] FAO (Food and Agriculture Organization): The role of conservation agriculture in sustainable food systems. FAO, 2022. Verfügbar unter: www.fao.org, Stand: 20.01.2025, 10:05 GMT+2

- [21] AAPRESID: *Siembra Directa en Argentina: Evolución y Perspectivas*. AAPRESID, 2023. Verfügbar unter: www.aapresid.org.ar, Stand: 20.01.2025, 14:13 GMT+2.
- [22] Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., Li, H.: *Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits*. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 3(1), 2010, S. 1–25.
- [23] Rosner, J.:
Warum Mulch- und Direktsaat bei Ertrag und Erlös mithalten können.
Amt der NÖ Landesregierung,
<https://noe.lko.at/warum-mulch-und-direktsaat-bei-ertrag-und-erloes-mithalten-koennen+2400+3373597>, Stand: 09.12.2024, 09:25 GMT+2.
- [24] Anken, T.; Heusser, J.; Weisskopf, P.; Rek, J.; Boller, M.; Stamp, P.:
Mulch- und Direktsaaten - Ursachen reduzierter Feldaufgänge.
ART-Berichte Nr. 682, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen, 2007.
- [25] Licht, M. A.; Al-Kaisi, M.:
Strip-tillage effect on seedbed soil temperature and other soil physical properties.
In: *Soil & Tillage Research*, Band 80, 2005, S. 233–249.
- [26] Universität Hamburg:
Wasser sparen im Ackerbau – Anpassungsstrategien an den Klimawandel.
Zentrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit, Hamburg, 2024.
Verfügbar unter: https://edoc.sub.uni-hamburg.de/klimawandel/files/926/teil_4_wasser_sparen_im_ackerbau.pdf.
- [27] Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ):
Systemvergleich Bodenbearbeitung – Auswirkungen auf Boden, Wasser und Ertrag.
In: Informationen für die Pflanzenproduktion (IFPP), 05 (2017).
- [28] Reinsch, T.; Struck, I. J. A.; Loges, R.; Kluß, C.; Taube, F.:
Soil carbon dynamics of no-till silage maize in ley systems.
In: *Soil and Tillage Research*, 2021, DOI: 10.1016/j.still.2021.104957.
- [29] BIOBO: *Macht reduzierte Bodenbearbeitung den Boden klimafitter? Systeme reduzierter Bodenbearbeitung im Trockengebiet Österreichs*. Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), 2023. Verfügbar unter: https://boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H93000/H93300/AG_Boden/Projekte/BIOBO/BIOBO_Broschuere_Endfassung.pdf Stand: 09.02.2025, 19:33 GMT+2
- [30] Universität Kiel: *Direktsaat im Maisanbau – Vorteile für Boden und Umwelt*. Universität Kiel, 2024. Verfügbar unter: <https://www.uni-kiel.de/de/detailansicht/news/060-mais-direktsaat>, Stand: 09.02.2025, 19:25 GMT+2
- [31] Köller, K.; Hensel, O.; Meinel, T.:
Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion.
S. 59 ff, Eugen Ulmer KG, 2019, ISBN: 978-3-8252-5198-7.

- [32] Bischoff, J.; Grosa, A.; Grube, J.; Meinel, T.:
Praxishandbuch Bodenbearbeitung und Aussaat, 1. Auflage.
ERLING Verlag GmbH & Co. KG, 2018, ISBN: 978-3-86263-132-2.
- [33] UFA Revue:
Sämaschinen und schonende Bodenbearbeitung.
<https://www.ufarevue.ch/landtechnik/saemaschinen-und-schonende-bodenbearbeitung>,
Stand: 12.12.2024, 08:43 GMT+2.
- [34] Brunotte, J.; Wagner, M.:
Bodenschonung und Kosteneinsparung.
KTBL-Schrift 398, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.
(KTBL), 2001, ISBN: 3-7843-2129-1.
- [35] Dany, C.:
Mit Intelligenz und Hightech zukunftsfähigen Ackerbau betreiben.
In: Biogas Journal, 1 (2023), S. 52–61
- [36] AgTech Centre. (2006). *Evaluation Report 767: Tested at Lethbridge*. AgTech File
EL0204, ISSN 0383-3445. Alberta Agriculture and Food, Lethbridge, Alberta, Canada.
Abgerufen von [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/) Stand: 20.01.2025, 15:02
GMT+2
- [37] Green, M. (1999). *Ground Opener Systems*. Agdex 519-24, Alberta Agriculture, Food
and Rural Development, Engineering Services Branch, März 1999
- [38] Gall, C., Schüle, T., & Köller, K.: *Systemvergleich Direktsaattechnik*. In: Landtech-
nik, 64(3), 2009, S. 172–174.
- [39] Streit, B., Sturny, W. G., & Lauper, H.:
Ergebnisse von Vergleichsuntersuchungen unterschiedlicher Direktsämaschinen.
Schweizer Hochschule für Landwirtschaft (SHL), Vortrag Arbeitskreis Ackerbau ohne
Pflug, Stuttgart-Hohenheim, 2008.
- [40] UFA Revue:
Präsentation von Maschinen zur Direktsaat.
UFA Revue, Swiss No-Till Tagung, 2024.
Verfügbar unter: <https://www.ufarevue.ch/landtechnik/swiss-no-till-tagung>., Stand:
20.01.2025, 16:45 GMT+2
- [41] Gebresenbet, G., & Jönsson, H.:
Performance of seed drill coulters in relation to speed, depth and rake angles.
Journal of Agricultural Engineering Research, 52 (1992), S. 121–145.
- [42] Tice, E. M., & Hendrick, J. G.:
Disc coulters operating characteristics.
Transaction of the ASAE, 35 (1992), S. 3–10.
- [43] Ahmad, F., Ding, W., Ding, Q., Rehim, A., & Jabran, K. (2017). *Comparative Perfor-
mance of Various Disc-Type Furrow Openers in No-Till Paddy Field Conditions*. Sustaina-
bility, 9(7), 1107. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/su9071107>

- [44] Ahmad, F., Weimin, D., Qishuo, D., Hussain, M., & Jabran, K. (2015). *Forces and Straw Cutting Performance of Double Disc Furrow Opener in No-Till Paddy Soil*. PLoS ONE, 10(3), e0119648. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119648>
- [45] Kushwaha, R. L., Linke, C., & Zoerb, G. C. (1986). *Soil disturbance associated with different furrow openers*. Soil and Tillage Research, 7(4), 301-316. Verfügbar unter: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(86\)90312-1](https://doi.org/10.1016/0167-1987(86)90312-1).
- [46] Choudhary, V. K., & Sahoo, P. K. (2013). *Performance evaluation of disc type furrow openers on seed drills: A review*. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 15(2), 1-15. Verfügbar unter: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/2310>.
- [47] GeoMIS Thüringen: *Geonetwork Thüringen - Bodendaten und Geoinformationen*. Verfügbar unter: <https://geomis.geoportal-th.de/geonetwork/srv/api/records/B562DF09-7B12-42CF-8D16-88A5A4F83A45>. Stand: 20.01.2025, 17:33 GMT+2
- [48] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG): *Bodenübersichtskarte 1:400.000 (BÜK400)*. Verfügbar unter: <https://luis.sachsen.de/boden/buek400.html>, Stand: 20.01.2025, 14:13 GMT+2
- [49] Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau: *Welchen Einfluss hat die Bodenart?* https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/analytik/dateien/boden_poster_welchen_einfluss_hat_die_bodenart.pdf, Stand: [Datum des Abrufs].
- [50] Bayerisches Landesamt für Umwelt: *Physik in Böden*. https://www.lfu.bayern.de/boden/boeden_brauchen_wissenschaft/physik/index.htm, Stand: [Datum des Abrufs].
- [51] Bayerisches Landesamt für Umwelt: *Bodenbestandteile*. <https://www.lfu.bayern.de/boden/erdausstellung/bodenbestandteile/index.htm>, Stand: [Datum des Abrufs]
- [52] U.A.S. Umwelt- und Agrarstudien: *Handout – Feldrundgang der Gewässerschutzkooperation Thüringen – Kooperationsbetrieb LWB Jerchel in Zehma*. Jena, 25.06.2024.
- [53] LIFE Local Adapt: *Kommunalanpassung an Bodenerosion – Strategien und Maßnahmen*. Verfügbar unter: https://life-local-adapt.eu/downloads/reports/brosch_4_kommunalanpassung_bodenerosion.pdf, Stand: 01.02.2025 17:59 GMT+2
- [54] Wilbois, K.-P.; Schwab, A.; Fischer, H.; Bachinger, J.; Palme, S.; Peters, H.; Dongus, S.: *Leitfaden für Praxisversuche – Eine Anleitung zur Planung, Durchführung und Auswertung von Praxisversuchen*. FiBL Deutschland e.V., Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BÖL), 2004.

- [55] Montgomery, D. C.:
Design and Analysis of Experiments (8th ed.).
Wiley, 2013.
- [56] Schils, R. L. M.; van der Meer, F.:
Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives.
In: *Precision Agriculture*, 2003.
- [57] Landwirtschaftskammer Niedersachsen:
Landessortenversuche 2023: Ackerbohnen und Körnererbsen.
Verfügbar unter: <https://www.lwk-niedersachsen.de>
Landessortenversuch Körnererbsen 2023, Stand: 22.08.2024, 13:41 GMT +2
- [58] Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) Ansbach:
Körnererbsen – Anbau, Fruchtfolge und Empfehlungen.
Verfügbar unter: <https://www.aelf-an.bayern.de/landwirtschaft/pflanzenbau/125899/in-dex.php>, Stand: 01.02.2025 20:01 GMT+2
- [59] Karalus, W.; Sacher, M.; Panicke, M.; Sorms, M.:
Öko-Sortenempfehlungen 2025 – Körnererbsen.
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Abteilung 9,
Referat 94.
Redaktionsschluss: 19.12.2024.
Verfügbar unter: www.lfulg.sachsen.de.
- [60] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE):
Erbsen und Ackerbohnen anbauen und verwerten – Ein Leitfaden zur Förderung des Anbaus heimischer Eiweißpflanzen.
Herausgegeben im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL).
Verfügbar unter: [Erbsen-Ackerbohnen-Anbau und Verwertung.pdf](#), Stand: 01.02.2025 19:48 GMT+2.
- [61] Schmidt, H.; Langanky, L. (Hrsg.):
Körnererbsen-Anbau in der Praxis – Ackerbau & Ökonomie: ökologisch & konventionell.
Ergebnisse aus Projekten im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie des BMEL.
Herausgeber: Stiftung Ökologie & Landbau.
Erscheinungsjahr: 2021.
Verfügbar unter: [Koernererbsen-Anbau-Broschuere-SOEL.pdf](#).
- [62] Saatgut Austria:
Saatstärketabellen für verschiedene Kulturen.
Verfügbar unter: <http://www.saatgut-austria.at/page.asp/-/Saatstaerketabellen>, Stand: 01.02.2025 20:14 GMT+2
- [63] ISIP – Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion e.V.:
Meteorologische Daten und Prognosemodelle für Mecklenburg-Vorpommern.
Verfügbar unter: <https://www.isip.de/mecklenburg-vorpommern>, Stand: 20.06.2024 12:14 GMT+2.

[64] Universität Hohenheim: *Einfluss geringer Luftfeuchte auf Transpiration und Blattmorphologie der Erbse (Pisum sativum L.)* Verfügbar unter: <https://www.asch-online.eu/downloads/Theses/Stana-BSc-webversion-2015.pdf>

[65] Leitlinie des integrierten Pflanzenschutzes für Körnerleguminosen: *Empfehlungen zum Anbau und Pflanzenschutz von Erbsen und anderen Leguminosen* Verfügbar unter: https://www.nap-pflanzenschutz.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Dokumente/Integrierter_Pflanzenschutz/Leitlinien_IPS/Koernerleguminosen.pdf

[66] Koch, H.-J., Märländer, B.: *Der Feldversuch in der Praxis: Ein Leitfaden für Versuchsanstellung und Auswertung*. Springer-Verlag, 1998.

[67] Munzert, F.:
Statistische Methoden in der Agrarforschung.
Springer-Verlag, 1992, S. 43–45, 48.

[68] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE): *Abschlussbericht zum Modell- und Demonstrationsvorhaben "Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz"*. Verfügbar unter: https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Projektförderung/MuD-Vorhaben/PflanzlicheErzeugung/Abschlussbericht_Koord._MUDPflanzenschutz.pdf

[69] Haufe, M.:
Grundlagen der statistischen Datenanalyse.
Oldenburg Wissenschaftsverlag, 1988, S. 18.

[70] Sachs, L.:
Statistische Auswertungsmethoden.
Springer-Verlag, 1984, S. 46, 107.

[71] Helbig, J.; Paap, M.; Gummert, A.; Schlage, B.; Sellmann, J.; Strassemer, J.; Suhl, F.; Pramschüfer, L.; Stosius, H.; Herzer, A.; Eberhardt, G.; Kehlenbeck, H.:
Abschlussbericht: Modell- und Demonstrationsvorhaben „Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz“ – Teilprojekt „Koordination“.
Herausgegeben vom Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow.
Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Förderkennzeichen 2810MD001, 2019.

[72] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL):
Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz.
<https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/pflanzenschutz/gute-fachliche-praxis.html>, Stand: 08.02.2025 18:14 GMT+2

[73] Bayer AG:
Bandur – Sicherheitsdatenblatt.
Monheim am Rhein: Bayer CropScience Deutschland GmbH, Version 10, überarbeitet am 20.09.2022.
Online verfügbar unter: <https://www.bayer.com/de/produkte>, abgerufen am [Datum des Abrufs].

[74] UPL Deutschland GmbH:
Select 240 EC – Sicherheitsdatenblatt.

Hürth: UPL Deutschland GmbH, Version 13.0, überarbeitet am 19.07.2023.
Online verfügbar unter: <https://www.upl-ltd.com>, Stand: 08.02.2025 18:32 GMT+2

[75] ADAMA Deutschland GmbH:
Clomazone 360 CS – Sicherheitsdatenblatt.
Köln: ADAMA Deutschland GmbH, Version 5.01, überarbeitet am 03.11.2023.
Online verfügbar unter: <https://www.adama.com>, Stand: 08.02.2025 18:55 GMT+2

[76] Lindner, U.; Billmann, B. (Hrsg.):
Planung, Anlage und Auswertung von Versuchen im ökologischen Gemüsebau – Handbuch für die Versuchsanstellung.
Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frick, Schweiz und Frankfurt, Deutschland, 2006

[77] Heege, H. J.:
Seeding Methods Performance for Cereals, Rape, and Beans.
In: Transactions of the ASAE, Vol. 36(3), S. 653–661, 1993.
American Society of Agricultural Engineers (ASAE)

[78] Ronald, J., & Davis, S. J. (2022). Measuring Hypocotyl Length in Arabidopsis. *Methods in Molecular Biology*, 2398, 99–106. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34674171/>, Stand: 08.02.2025 08:20 GMT+2

[79] DLG TestService GmbH. (2023). Prüfbericht 7413: Mechanische Drillmaschine Horsch Versa 3 KR. https://cdn.horsch.com/celum/37105_original.pdf, Stand: 08.02.2025 08:14 GMT+2

[80] Helm, S. (2013). Einfluss unterschiedlicher Aussaatverfahren auf den Feldaufgang und die Jugendentwicklung von Wintererbsen (*Pisum sativum* L.). Bachelorarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. <https://opendata.uni-halle.de/bitstream/1981185920/12569/1/Bachelorarbeit%20Steffen%20Helm.pdf>, Stand: 08.02.2025 10:44 GMT+2

[81] Agrarforschung Schweiz (2024). *Bodenbearbeitung und Herbizide reduzieren können durch Unkraut verursachte Ertragsverluste begrenzt werden*. Abgerufen von: <https://www.agrarforschungschweiz.ch>, Stand: 08.02.2025 11:02 GMT+2

[82] Rodale Institute (2024). *Bio-Direktsaat hilft den Landwirten, erfolgreich zu sein*. Abgerufen von: <https://rodaleinstitute.org>, Stand: 08.02.2025 11:34 GMT+2

[83] Fachbeirat „Nachhaltiger Pflanzenbau“ (2018). *Protokoll der 26. Sitzung: Unkrautbekämpfung und Pflanzenvielfalt*. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), Braunschweig. Abgerufen aus: *fachbeirat_nachpflbau_prot_26.pdf*

[84] Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF):
EVA II – Endbericht: Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen.
Müncheberg: ZALF, 2014.
Online verfügbar unter: literatur.thuenen.de, Stand: [Datum des Abrufs]

- [85] Tukey, J. W.:
A Quick, Compact, Two-Sample Test to Duckworth's Specifications.
In: *Technometrics*, 1(1)/1959, S. 31–48, doi:10.1080/00401706.1959.10489847.
[jstor.org](https://www.jstor.org), Stand: 08.02.2025 13:52 GMT+2
- [86] Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). *Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) Test*. In N. J. Salkind (Ed.), *Encyclopedia of Research Design* (Vol. 3, pp. 1-5). Sage Publications.
Verfügbar unter: <https://www.utdallas.edu/~herve/abdi-HSD2010-pretty.pdf>, Stand: 08.02.2025 14:08 GMT+2
- [87] Selvin, S.:
A Biostatistics Toolbox for Data Analysis.
Cambridge University Press, Cambridge 2015, ISBN 1-10-711308-3, S. 300.
- [88] Montana State University Library:
Statistics with R - Tukey's Honest Significant Difference (HSD) Test.
Verfügbar unter: <https://arc.lib.montana.edu/book/statistics-with-r-textbook/item/59>,
Stand: 01.02.2025 16:34 GMT+2.
- [89] AStatsa:
One-Way ANOVA with Tukey HSD Test.
Verfügbar unter: https://astatsa.com/OneWay_Anova_with_TukeyHSD/, Stand: 09.02.2025 18:14 GMT+2
- [90] Bänziger, M.; Edmeades, G. O.:
Physiological mechanisms contributing to maize drought tolerance.
In: *Crop Science*, 30 (1990), Nr. 3, S. 723-728.
- [91] Taiz, L.; Zeiger, E.:
Plant Physiology (5th ed.).
Sinauer Associates, 2010.
- [92] Schils, R.; van der Meer, H. G.:
Energy use and efficiency in conventional and organic farming.
In: *European Journal of Agronomy*, 19 (2003), Nr. 4, S. 573-582.
- [93] Jensen, P. K.; Kristensen, K.; Ritz, C.:
Effects of seed size and seed density on the competitive ability of weeds.
In: *Weed Research*, 46 (2006), Nr. 3, S. 196-205
- [94] Baker, J. M.; Ochsner, T. E.; Venterea, R. T.; Griffis, T. J. (2007):
Tillage and soil carbon sequestration – what do we really know?
Agriculture, Ecosystems & Environment, 118, S. 1–5.
- [95] Blanco-Canqui, H.; Lal, R. (2008):
No-tillage and soil-profile carbon sequestration: an on-farm assessment.
Soil Science Society of America Journal, 72, S. 693–701

[96] FAO (2025):

CA Adoption Worldwide; FAO AQUASTAT Database on CA Adoption.

Verfügbar unter: <http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>, Stand: 31.01.2025.

[97] Calegari, A.; Hargrove, W. L.; Rheinheimer, D. S.; Ralish, R.; Tessier, D.; Tourdonnet, S.; Guimaraes, M. F. (2008):

Impact of long-term no-tillage and cropping system management on soil organic carbon in an Oxisol. A model for sustainability.

Agronomy Journal, 100, S. 1013–1019

[98] Derpsch, R.; Friedrich, T.; Kassam, A.; Li, H. W. (2010):

Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits.

International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 3, S. 1–25

[99] Christopher, S. F.; Lal, R.; Mishra, U.:

Regional study of no-till effects on carbon sequestration in the Midwestern United States.

In: *Soil Science Society of America Journal*, 73 (2009), S. 207–216.

[100] Montgomery, D. C. (2019).

Design and Analysis of Experiments (10th Edition). Wiley.

→ Ein Standardwerk zur Versuchsplanung, das explizit darauf eingeht, wie multiple Faktoren die statistische Signifikanz beeinflussen.

[101] Werner, C. R.:

Design and Analysis of Field Trials – Theoretical Background.

Excellence in Breeding Platform, 2022.

[102] Bailey, R. A. (2008).

Design of Comparative Experiments. Cambridge University Press.

→ Dieses Werk behandelt detailliert die Herausforderungen einer hohen Anzahl von Variablen in experimentellen Designs und deren Auswirkungen auf die statistische Power.

[103] BLE (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung):

Körnererbsen-Anbau in der Praxis.

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2021.

[104] Schmidt, H.; Langanky, L.:

Ackerbauliche Auswertung von Praxiserhebungen in Beständen verschiedener Körnerleguminosen.

Stiftung Ökologie & Landbau (SÖL), 2018

[105] Koller, K.:

Techniques of soil tillage.

In: *Soil Tillage in Agroecosystems*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2003, S. 1–25.

- [106] Linke, C.:
Direktsaat – eine Bestandsaufnahme unter besonderer Berücksichtigung technischer, agronomischer und ökonomischer Aspekte.
 Dissertation, Fakultät IV - Agrarwissenschaften II, Selbstverlag, Stuttgart-Hohenheim, 1998.
- [107] Griepentrog, H.-W.:
Längsverteilung von Sämaschinen und ihre Wirkung auf Standfläche und Ertrag bei Raps.
Agrartechnische Forschung, 1 (1995), H. 2, S. 129–136
- [108] Tippelt, M.:
Direktsaat als mögliche Alternative zur Mulchsaat? Ein wirtschaftlicher Systemvergleich in Zeiten zunehmender Vorsommertrockenheit.
 Hochschule Anhalt, Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und Landschaftsentwicklung, Bernburg, 2022
- [109] Phillips, R. E., Blevins, R. L., Thomas, G. W., Frye, W. W., & Phillips, S. H.:
No-Tillage Agriculture.
 In: *Science*, 208 (1980), H. 4448, S. 1108–1113
- [110] Thünen-Institut:
Gute fachliche Praxis – Bodenfruchtbarkeit.
 Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, 2024.
 Verfügbar unter: https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn065124.pdf.
- [111] Deubel, A.; Orzessek, D. (Hrsg.):
Nährstoff- und Wasserversorgung der Pflanzenbestände unter den Bedingungen der Klimaerwärmung.
 Internationale wissenschaftliche Konferenz am 18. und 19. Oktober 2012 in Bernburg-Strenzfeld.
 Hochschule Anhalt, Bernburg, 2014.
- [112] Vincent-Caboud, L., Peigné, J., Casagrande, M., & Silva, E. M.:
Overview of Organic Cover Crop-Based No-Tillage Technique in Europe: Farmers' Practices and Research Challenges.
 In: *Agriculture*, 7 (2017), H. 42, S. 1–16.
- [113] Charles, R.; Wendling, M.; Burgos, S.:
Boden und Nahrungsmittelproduktion.
 Thematische Synthese TS1 des Nationalen Forschungsprogramms „Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden“ (NFP 68).
 Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, 2021
- [114] Baumhardt, R. L.; Jones, O. R.:
 Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas.
 In: *Soil & Tillage Research*, 68 (2002), S. 71–82.
- [115] Franzluebbers, A. J.:
 Soil organic carbon sequestration and agricultural greenhouse gas emissions in the southeastern USA.
 In: *Soil & Tillage Research*, 83 (2005), S. 120–147.

[116] Sa, J. C. M.; Lal, R.:

Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol.

In: *Soil & Tillage Research*, 103 (2009), S. 46–56.

[117] Dick, W. A.; Edwards, W. M.; McCoy, E. L.:

Continuous application of no-tillage to Ohio soils: changes in crop yields and organic matter related soil properties.

In: Paul, E. A.; Paustian, K.; Elliott, E. T.; Cole, C. V. (Hrsg.): *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1997, S. 171–182.

[118] Derpsch, R.; Friedrich, T.; Landers, J. N.; Rainbow, R.; Reicosky, D. C.; Sá, J. C. M.; Sturny, W. G.; Wall, P.; Ward, R. C.; Weiss, K.:

About the necessity of adequately defining no-tillage – a discussion paper.

In: *Proceedings 5th World Congress on Conservation Agriculture*, 26.–29. September 2011, Brisbane, Australien.

7.1 Zusatzliteratur

Ashburner, J. E.:

Dryland tillage practices and studies in Algeria.

In: *FAO Panel of Experts on Agricultural Mechanisation*, 6th Session, Oktober 1984, Adana, Türkei, S. 22.

Derpsch, R.:

How to get no-tillage to the next level.

In: *Proceedings No-Till on the Plains Winter Conference, AIM Symposium*, 1. Februar 2007, Salina, Kansas.

Derpsch, R.:

Critical steps to no-till adoption.

In: Goddard, T.; Zoebisch, M. A.; Gan, Y.; Ellis, W.; Watson, A.; Sombatpanit, S. (Hrsg.): *No-Till Farming Systems*, World Association of Soil and Water Conservation, 2008, S. 479–495.

Kaufmann-Boll, C.; Kern, M.; Niederschmidt, S.:

Bodendaten in Deutschland – Übersicht über die wichtigsten Mess- und Erhebungsaktivitäten für Böden (3. Auflage).

Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2020.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) (Hrsg.):

Boden gut machen – neue Ackerbausysteme.

KTBL-Tage 2021, Online-Tagung, Darmstadt, 2021.

Grocholl, J.; Anter, J.; Asendorf, R.; Feistkorn, D.; Mensching-Buhr, A.; Nolting, K.; Riedel, A.; Schossow, R.; Thörmann, H.-H.; Urban, B.:

Wasser sparen im Ackerbau.

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen, 2014

Englmair, N.; Traunmüller, L.:

Vergleich verschiedener Anbaumethoden bei Ackerbohnen.

Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, Jahr unbekannt.

Prasun, A. H.:

Einfluss verschiedener Saatparameter und mechanischer Beikrautregulierungsarten auf die Bestands- und Ertragsentwicklung von Wintertriticale (x Triticosecale WITTM. ex A. CAMUS) und die Beikraut-Biodiversität im ökologischen Landbau in Nord-West-Deutschland.

Masterarbeit, Universität Göttingen, 2022.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung:
Maisaussaat mit Direktsätechnik.

Endbericht, Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V., 2010

Oekolandbau.de:

Anbau von Körnererbsen in der ökologischen Landwirtschaft.

Oekolandbau.de, 2024.

Stiftung Ökologie & Landbau (SÖL):

Abschlussbericht gesamt Demonstrationsnetzwerk Eiweißpflanzen – Erweiterung und ackerbauliche Auswertung der Praxiserhebungen und -untersuchungen im Rahmen der modellhaften Demonstrationsnetzwerke Soja, Lupine, Erbse und Bohne der Eiweißpflanzenstrategie.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 2022.

Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt:

Anbauempfehlung Körnererbsen.

Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt, 2024.

Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG:

Körnererbse Astronaut – Saatgutinformationen.

Norddeutsche Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG, 2024.

Peruzzo, P. J.; Porta, A. A.; Ronco, A. E.:

Levels of glyphosate in surface waters, sediments, and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north Pampasic region of Argentina.

Environmental Pollution, 156(1), 61-66, 2008.

Europäisches Parlament – Generaldirektion Wissenschaftlicher Dienst:

Technologische Optionen zur Ernährung von 10 Milliarden Menschen – Wechselbeziehungen zwischen Landwirtschaft, Klimawandel und biologischer Vielfalt.

STOA-Projekt, 2013.

Tice, E. M., & Hendrick, J. G.:

Disc coulter forces: Evaluation of mathematical models.

Transaction of the ASAE, 34 (1991), S. 2291–2298.

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ):

Untersuchungs- und Demonstrationsvorhaben „Regenerative Landwirtschaft“.

In: Informationen für die Pflanzenproduktion (IFPP), 10 (2023).

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ):

Umsetzung des konservierenden Ackerbaus in Baden-Württemberg.

In: Informationen für die Pflanzenproduktion (IFPP), 11 (2023).

Amézketa, E.:

Soil Aggregate Stability: A Review.

In: Journal of Sustainable Agriculture, 14 (1999), H. 2–3, S. 83–151

Beare, M. H., Hendrix, P. F., & Coleman, D. C.:

Water-Stable Aggregates and Organic Matter Fractions in Conventional- and No-Tillage Soils.

In: Soil Science Society of America Journal, 58 (1994), H. 3, S. 777–786

Soane, B. D., Ball, B. C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., & Roger-Estrade, J.:

No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment.

In: Soil & Tillage Research, 118 (2012), S. 66–87.

Chervet, A., Maurer-Troxler, C., Sturny, W. G., & Müller, M. (2001). Direktsaat im Praxisversuch: Einfluss auf die Struktur des Bodens. *Agrarforschung*, 8(1), 12-17.

Chervet, A., Ramseier, L., Sturny, W. G., & Tschannen, S. (2005). Direktsaat und Pflug im 10-jährigen Systemvergleich. *Agrarforschung*, 12(5), 184-189.

Chervet, A., Ramseier, L., Sturny, W. G., Weisskopf, P., Zihlmann, U., Müller, M., & Schafflützel, R. (2006). Bodenwasser bei Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung*, 13(4), 162-169.

Maurer-Troxler, C., Chervet, A., Ramseier, L., Sturny, W. G., & Oberholzer, H.-R. (2005). Bodenbiologie nach 10 Jahren Direktsaat und Pflug. *Agrarforschung*, 12(10), 460-465

Artmann, R.; Bockisch, F.-J.:

Nachhaltige Bodennutzung aus technischer, pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Sicht.

Tagungsband zum Symposium am 16. Oktober 2003, Braunschweig, 2003.

8 Anhang

Tabelle A. 1: Feldaufgang Pfl./m ² Block 1+5 Tukey HSD Auswertung	91
Tabelle A. 2: Feldaufgang Pfl./m ² Block 2+6 Tukey HSD test	91
Tabelle A. 3: Feldaufgang Pfl./m ² Block 3+7 Tukey HSD Auswertung	92
Tabelle A. 4: Feldaufgang Pfl./m ² Block 4+8 Tukey HSD Auswertung	92
Tabelle A. 5: Feldaufgang Pfl./Reihe Block 1+5 Tukey HSD Auswertung	93
Tabelle A. 6: Feldaufgang Pfl./Reihe Block 2+6 Tukey HSD Auswertung	93
Tabelle A. 7: Feldaufgang Pfl./Reihe Block 3+7 Tukey HSD Auswertung	94
Tabelle A. 8: Feldaufgang Pfl./Reihe Block 4+8 Tukey HSD Auswertung	94
Tabelle A. 9: Hypokotylllänge in cm Block 1+5 Tukey HSD Auswertung	95
Tabelle A. 10: Hypokotylllänge in cm Block 2+6 Tukey HSD Auswertung	95
Tabelle A. 11: Hypokotylllänge in cm Block 3+7 Tukey HSD Auswertung	96
Tabelle A. 12: Hypokotylllänge in cm Block 4+8 Tukey HSD Auswertung	96
Tabelle A. 13: Bestandeshöhe in cm Block 1+5 Tukey HSD Auswertung	97
Tabelle A. 14: Bestandeshöhe in cm Block 2+6 Tukey HSD Auswertung	97
Tabelle A. 15: Bestandeshöhe in cm Block 3+7 Tukey HSD Auswertung	98
Tabelle A. 16: Bestandeshöhe in cm Block 4+8 Tukey HSD Auswertung	98
Tabelle A. 17: Wurzelbonitierung in Punkten Block 1+5 Tukey HSD Auswertung	99
Tabelle A. 18: Wurzelbonitierung in Punkten Block 2+6 Tukey HSD Auswertung	99
Tabelle A. 19: Wurzelbonitierung in Punkten Block 3+7 Tukey HSD Auswertung	100
Tabelle A. 20: Wurzelbonitierung in Punkten Block 4+8 Tukey HSD Auswertung	100
Tabelle A. 21: Unkrautbonitierung Pfl./m ² Block 1+5 Tukey HSD Auswertung	101
Tabelle A. 22: Unkrautbonitierung in Pfl./m ² Block 2+6 Tukey HSD Auswertung	101
Tabelle A. 23: Unkrautbonitierung in Pfl./m ² Block 3+7 Tukey HSD Auswertung	102
Tabelle A. 24: Unkrautbonitierung in Pfl./m ² Block 4+8 Tukey HSD Auswertung	102
Tabelle A. 25: Ungrasbonitierung Pfl./m ² Block 1+5 Tukey HSD Auswertung	103
Tabelle A. 26: Ungrasbonitierung Pfl./m ² Block 2+6 Tukey HSD Auswertung	103
Tabelle A. 27: Ungrasbonitierung in Pfl./m ² Block 3+7 Tukey HSD Auswertung	104
Tabelle A. 28: Ungrasbonitierung in Pfl./m ² Block 4+8 Tukey HSD Auswertung	104
Tabelle A. 29: Dieselverbrauch in l/ha Block 1+5 Tukey HSD Auswertung	105
Tabelle A. 30: Dieselverbrauch in l/ha Block 2+6 Tukey HSD Auswertung	105
Tabelle A. 31: Dieselverbrauch in l/ha Block 3+7 Tukey HSD Auswertung	106
Tabelle A. 32: Dieselverbrauch in l/ha Block 4+8 Tukey HSD Auswertung	106

Tabelle A. 1: Feldaufgang Pfl./m² Block 1+5 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	11.6007	0.0010053	** p<0.01
A vs C	11.3972	0.0010053	** p<0.01
A vs D	10.5831	0.0010053	** p<0.01
A vs E	8.5988	0.0010053	** p<0.01
B vs C	0.2035	0.8999947	insignificant
B vs D	1.0176	0.8999947	insignificant
B vs E	3.0019	0.2420707	insignificant
C vs D	0.8141	0.8999947	insignificant
C vs E	2.7984	0.3049630	insignificant
D vs E	1.9843	0.6168148	insignificant

Tabelle A. 2: Feldaufgang Pfl./m² Block 2+6 Tukey HSD test

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	5.9111	0.0026409	** p<0.01
A vs C	6.6500	0.0010053	** p<0.01
A vs D	6.8963	0.0010053	** p<0.01
A vs E	4.0885	0.0552374	insignificant
B vs C	0.7389	0.8999947	insignificant
B vs D	0.9852	0.8999947	insignificant
B vs E	1.8226	0.6790852	insignificant
C vs D	0.2463	0.8999947	insignificant
C vs E	2.5615	0.3908484	insignificant
D vs E	2.8078	0.3018767	insignificant

Tabelle A. 3: Feldaufgang Pfl./m² Block 3+7 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	9.6998	0.0010053	** p<0.01
A vs C	9.4076	0.0010053	** p<0.01
A vs D	8.2974	0.0010053	** p<0.01
A vs E	7.8884	0.0010053	** p<0.01
B vs C	0.2922	0.8999947	insignificant
B vs D	1.4024	0.8408767	insignificant
B vs E	1.8114	0.6833906	insignificant
C vs D	1.1102	0.8999947	insignificant
C vs E	1.5192	0.7958793	insignificant
D vs E	0.4090	0.8999947	insignificant

Tabelle A. 4: Feldaufgang Pfl./m² Block 4+8 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	14.9564	0.0010053	** p<0.01
A vs C	11.3433	0.0010053	** p<0.01
A vs D	9.4108	0.0010053	** p<0.01
A vs E	8.9066	0.0010053	** p<0.01
B vs C	3.6131	0.1104019	insignificant
B vs D	5.5456	0.0050121	** p<0.01
B vs E	6.0498	0.0020664	** p<0.01
C vs D	1.9326	0.6367433	insignificant
C vs E	2.4367	0.4402812	insignificant
D vs E	0.5041	0.8999947	insignificant

Tabelle A. 5: Feldaufgang Pfl./Reihe Block 1+5 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	6.8781	0.0010053	** p<0.01
A vs C	6.6656	0.0010053	** p<0.01
A vs D	5.8158	0.0031230	** p<0.01
A vs E	3.7444	0.0915892	insignificant
B vs C	0.2125	0.8999947	insignificant
B vs D	1.0623	0.8999947	insignificant
B vs E	3.1336	0.2067574	insignificant
C vs D	0.8498	0.8999947	insignificant
C vs E	2.9212	0.2659037	insignificant
D vs E	2.0714	0.5832924	insignificant

Tabelle A. 6: Feldaufgang Pfl./Reihe Block 2+6 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	1.7407	0.7106213	insignificant
A vs C	2.5086	0.4115925	insignificant
A vs D	2.7646	0.3162311	insignificant
A vs E	0.1536	0.8999947	insignificant
B vs C	0.7679	0.8999947	insignificant
B vs D	1.0239	0.8999947	insignificant
B vs E	1.8943	0.6514874	insignificant
C vs D	0.2560	0.8999947	insignificant
C vs E	2.6622	0.3525821	insignificant
D vs E	2.9182	0.2668176	insignificant

Tabelle A. 7: Feldaufgang Pfl./Reihe Block 3+7 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	4.4135	0.0333405	* p<0.05
A vs C	4.1173	0.0528603	insignificant
A vs D	2.9917	0.2449957	insignificant
A vs E	2.5770	0.3848203	insignificant
B vs C	0.2962	0.8999947	insignificant
B vs D	1.4218	0.8333953	insignificant
B vs E	1.8365	0.6737267	insignificant
C vs D	1.1256	0.8999947	insignificant
C vs E	1.5403	0.7877757	insignificant
D vs E	0.4147	0.8999947	insignificant

Tabelle A. 8: Feldaufgang Pfl./Reihe Block 4+8 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	8.1781	0.0010053	** p<0.01
A vs C	4.3968	0.0342367	* p<0.05
A vs D	2.3743	0.4653726	insignificant
A vs E	1.8467	0.6698220	insignificant
B vs C	3.7813	0.0870855	insignificant
B vs D	5.8038	0.0031923	** p<0.01
B vs E	6.3314	0.0012518	** p<0.01
C vs D	2.0225	0.6021051	insignificant
C vs E	2.5501	0.3952672	insignificant
D vs E	0.5276	0.8999947	insignificant

Tabelle A. 9: Hypokotylllänge in cm Block 1+5 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	6.7706	0.0010053	** p<0.01
A vs C	2.2078	0.5307734	insignificant
A vs D	1.6190	0.7574542	insignificant
A vs E	1.3247	0.8707932	insignificant
B vs C	4.5628	0.0262478	* p<0.05
B vs D	5.1515	0.0098760	** p<0.01
B vs E	5.4459	0.0059580	** p<0.01
C vs D	0.5887	0.8999947	insignificant
C vs E	0.8831	0.8999947	insignificant
D vs E	0.2944	0.8999947	insignificant

Tabelle A. 10: Hypokotylllänge in cm Block 2+6 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	2.7006	0.3385527	insignificant
A vs C	6.9445	0.0010053	** p<0.01
A vs D	5.6327	0.0043063	** p<0.01
A vs E	3.2408	0.1808299	insignificant
B vs C	4.2438	0.0435146	* p<0.05
B vs D	2.9321	0.2625900	insignificant
B vs E	0.5401	0.8999947	insignificant
C vs D	1.3117	0.8757757	insignificant
C vs E	3.7037	0.0971024	insignificant
D vs E	2.3920	0.4582509	insignificant

Tabelle A. 11: Hypokotylllänge in cm Block 3+7 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	2.3615	0.4705097	insignificant
A vs C	0.2249	0.8999947	insignificant
A vs D	2.9237	0.2651295	insignificant
A vs E	1.1245	0.8999947	insignificant
B vs C	2.1366	0.5581923	insignificant
B vs D	5.2852	0.0078600	** p<0.01
B vs E	1.2370	0.8999947	insignificant
C vs D	3.1487	0.2029630	insignificant
C vs E	0.8996	0.8999947	insignificant
D vs E	4.0483	0.0587195	insignificant

Tabelle A. 12: Hypokotylllänge in cm Block 4+8 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	5.5308	0.0051433	** p<0.01
A vs C	2.6502	0.3570540	insignificant
A vs D	0.6913	0.8999947	insignificant
A vs E	1.4979	0.8040918	insignificant
B vs C	2.8806	0.2784616	insignificant
B vs D	6.2221	0.0015208	** p<0.01
B vs E	4.0329	0.0601056	insignificant
C vs D	3.3415	0.1590474	insignificant
C vs E	1.1522	0.8999947	insignificant
D vs E	2.1893	0.5379085	insignificant

Tabelle A. 13: Bestandeshöhe in cm Block 1+5 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	5.6408	0.0042458	** p<0.01
A vs C	5.8841	0.0027695	** p<0.01
A vs D	5.2426	0.0084543	** p<0.01
A vs E	4.2251	0.0447959	* p<0.05
B vs C	0.2433	0.8999947	insignificant
B vs D	0.3982	0.8999947	insignificant
B vs E	1.4157	0.8357321	insignificant
C vs D	0.6415	0.8999947	insignificant
C vs E	1.6591	0.7420496	insignificant
D vs E	1.0176	0.8999947	insignificant

Tabelle A. 14: Bestandeshöhe in cm Block 2+6 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	2.9898	0.2455458	insignificant
A vs C	2.9364	0.2612897	insignificant
A vs D	4.0042	0.0627526	insignificant
A vs E	2.5271	0.4043017	insignificant
B vs C	0.0534	0.8999947	insignificant
B vs D	1.0144	0.8999947	insignificant
B vs E	0.4627	0.8999947	insignificant
C vs D	1.0678	0.8999947	insignificant
C vs E	0.4093	0.8999947	insignificant
D vs E	1.4771	0.8121022	insignificant

Tabelle A. 15: Bestandeshöhe in cm Block 3+7 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	3.9475	0.0683128	insignificant
A vs C	3.5527	0.1200655	insignificant
A vs D	0.6280	0.8999947	insignificant
A vs E	2.5300	0.4031727	insignificant
B vs C	0.3947	0.8999947	insignificant
B vs D	3.3195	0.1636923	insignificant
B vs E	1.4175	0.8350522	insignificant
C vs D	2.9247	0.2648345	insignificant
C vs E	1.0228	0.8999947	insignificant
D vs E	1.9020	0.6485279	insignificant

Tabelle A. 16: Bestandeshöhe in cm Block 4+8 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	5.3160	0.0074538	** p<0.01
A vs C	4.2568	0.0426514	* p<0.05
A vs D	3.1976	0.1909621	insignificant
A vs E	1.7786	0.6960050	insignificant
B vs C	1.0592	0.8999947	insignificant
B vs D	2.1184	0.5651978	insignificant
B vs E	3.5373	0.1226391	insignificant
C vs D	1.0592	0.8999947	insignificant
C vs E	2.4781	0.4237171	insignificant
D vs E	1.4189	0.8345056	insignificant

Tabelle A. 17: Wurzelbonitierung in Punkten Block 1+5 Tukey HSD Asuwertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	2.7474	0.3220434	insignificant
A vs C	3.9563	0.0674226	insignificant
A vs D	4.3959	0.0342883	* p<0.05
A vs E	2.5276	0.4040965	insignificant
B vs C	1.2089	0.8999947	insignificant
B vs D	1.6485	0.7461352	insignificant
B vs E	0.2198	0.8999947	insignificant
C vs D	0.4396	0.8999947	insignificant
C vs E	1.4287	0.8307565	insignificant
D vs E	1.8682	0.6615088	insignificant

Tabelle A. 18: Wurzelbonitierung in Punkten Block 2+6 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	1.7076	0.7233491	insignificant
A vs C	2.2469	0.5157259	insignificant
A vs D	3.3254	0.1624351	insignificant
A vs E	0.7190	0.8999947	insignificant
B vs C	0.5393	0.8999947	insignificant
B vs D	1.6178	0.7579525	insignificant
B vs E	0.9886	0.8999947	insignificant
C vs D	1.0785	0.8999947	insignificant
C vs E	1.5279	0.7925571	insignificant
D vs E	2.6064	0.3735569	insignificant

Tabelle A. 19: Wurzelbonitierung in Punkten Block 3+7 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	4.3153	0.0389276	* p<0.05
A vs C	4.9691	0.0134394	* p<0.05
A vs D	7.3229	0.0010053	** p<0.01
A vs E	4.5768	0.0256593	* p<0.05
B vs C	0.6538	0.8999947	insignificant
B vs D	3.0076	0.2404471	insignificant
B vs E	0.2615	0.8999947	insignificant
C vs D	2.3538	0.4735993	insignificant
C vs E	0.3923	0.8999947	insignificant
D vs E	2.7461	0.3224911	insignificant

Tabelle A. 20: Wurzelbonitierung in Punkten Block 4+8 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	5.5053	0.0053742	** p<0.01
A vs C	5.5053	0.0053742	** p<0.01
A vs D	5.5053	0.0053742	** p<0.01
A vs E	5.5053	0.0053742	** p<0.01
B vs C	0.0000	0.8999947	insignificant
B vs D	0.0000	0.8999947	insignificant
B vs E	0.0000	0.8999947	insignificant
C vs D	0.0000	0.8999947	insignificant
C vs E	0.0000	0.8999947	insignificant
D vs E	0.0000	0.8999947	insignificant

Tabelle A. 21: Unkrautbonitierung Pfl./m² Block 1+5 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	1.0426	0.8999947	insignificant
A vs C	1.0426	0.8999947	insignificant
A vs D	1.0426	0.8999947	insignificant
A vs E	2.0851	0.5779999	insignificant
B vs C	0.0000	0.8999947	insignificant
B vs D	0.0000	0.8999947	insignificant
B vs E	1.0426	0.8999947	insignificant
C vs D	0.0000	0.8999947	insignificant
C vs E	1.0426	0.8999947	insignificant
D vs E	1.0426	0.8999947	insignificant

Tabelle A. 22: Unkrautbonitierung in Pfl./m² Block 2+6 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	1.0102	0.8999947	insignificant
A vs C	0.0000	0.8999947	insignificant
A vs D	0.5051	0.8999947	insignificant
A vs E	1.5152	0.7974259	insignificant
B vs C	1.0102	0.8999947	insignificant
B vs D	0.5051	0.8999947	insignificant
B vs E	0.5051	0.8999947	insignificant
C vs D	0.5051	0.8999947	insignificant
C vs E	1.5152	0.7974259	insignificant
D vs E	1.0102	0.8999947	insignificant

Tabelle A. 23: Unkrautbonitierung in Pfl./m² Block 3+7 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	1.7150	0.7205179	insignificant
A vs C	0.0000	0.8999947	insignificant
A vs D	2.5725	0.3865825	insignificant
A vs E	0.8575	0.8999947	insignificant
B vs C	1.7150	0.7205179	insignificant
B vs D	0.8575	0.8999947	insignificant
B vs E	0.8575	0.8999947	insignificant
C vs D	2.5725	0.3865825	insignificant
C vs E	0.8575	0.8999947	insignificant
D vs E	1.7150	0.7205179	insignificant

Tabelle A. 24: Unkrautbonitierung in Pfl./m² Block 4+8 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	0.0000	0.8999947	insignificant
A vs C	2.1822	0.5406396	insignificant
A vs D	4.3644	0.0360383	* p<0.05
A vs E	1.0911	0.8999947	insignificant
B vs C	2.1822	0.5406396	insignificant
B vs D	4.3644	0.0360383	* p<0.05
B vs E	1.0911	0.8999947	insignificant
C vs D	2.1822	0.5406396	insignificant
C vs E	1.0911	0.8999947	insignificant
D vs E	3.2733	0.1737423	insignificant

Tabelle A. 25: Ungrasbonitierung Pfl./m² Block 1+5 Tukey HDS Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	2.0203	0.6029622	insignificant
A vs C	0.5051	0.8999947	insignificant
A vs D	1.0102	0.8999947	insignificant
A vs E	0.5051	0.8999947	insignificant
B vs C	1.5152	0.7974259	insignificant
B vs D	3.0305	0.2341883	insignificant
B vs E	1.5152	0.7974259	insignificant
C vs D	1.5152	0.7974259	insignificant
C vs E	0.0000	0.8999947	insignificant
D vs E	1.5152	0.7974259	insignificant

Tabelle A. 26: Ungrasbonitierung Pfl./m² Block 2+6 Tukey HDS Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	2.9898	0.2455458	insignificant
A vs C	2.9364	0.2612897	insignificant
A vs D	4.0042	0.0627526	insignificant
A vs E	2.5271	0.4043017	insignificant
B vs C	0.0534	0.8999947	insignificant
B vs D	1.0144	0.8999947	insignificant
B vs E	0.4627	0.8999947	insignificant
C vs D	1.0678	0.8999947	insignificant
C vs E	0.4093	0.8999947	insignificant
D vs E	1.4771	0.8121022	insignificant

Tabelle A. 27: Ungrasbonitierung in Pfl./m² Block 3+7 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	1.4510	0.8221747	insignificant
A vs C	1.8137	0.6825130	insignificant
A vs D	1.8137	0.6825130	insignificant
A vs E	1.0882	0.8999947	insignificant
B vs C	3.2646	0.1754167	insignificant
B vs D	3.2646	0.1754167	insignificant
B vs E	0.3627	0.8999947	insignificant
C vs D	0.0000	0.8999947	insignificant
C vs E	2.9019	0.2718277	insignificant
D vs E	2.9019	0.2718277	insignificant

Tabelle A. 28: Ungrasbonitierung in Pfl./m² Block 4+8 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	1.5911	0.7682107	insignificant
A vs C	0.3978	0.8999947	insignificant
A vs D	1.1933	0.8999947	insignificant
A vs E	1.1933	0.8999947	insignificant
B vs C	1.9889	0.6150585	insignificant
B vs D	2.7845	0.3095931	insignificant
B vs E	0.3978	0.8999947	insignificant
C vs D	0.7956	0.8999947	insignificant
C vs E	1.5911	0.7682107	insignificant
D vs E	2.3867	0.4603905	insignificant

Tabelle A. 29: Dieserverbrauch in l/ha Block 1+5 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	4.5370	0.0273628	* p<0.05
A vs C	12.0096	0.0010053	** p<0.01
A vs D	8.0064	0.0010053	** p<0.01
A vs E	5.6045	0.0045222	** p<0.01
B vs C	7.4726	0.0010053	** p<0.01
B vs D	3.4694	0.1340687	insignificant
B vs E	1.0675	0.8999947	insignificant
C vs D	4.0032	0.0628534	insignificant
C vs E	6.4051	0.0010962	** p<0.01
D vs E	2.4019	0.4542588	insignificant

Tabelle A. 30: Dieserverbrauch in l/ha Block 2+6 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	5.8704	0.0028381	** p<0.01
A vs C	11.7409	0.0010053	** p<0.01
A vs D	9.2504	0.0010053	** p<0.01
A vs E	5.5147	0.0052892	** p<0.01
B vs C	5.8704	0.0028381	** p<0.01
B vs D	3.3799	0.1511928	insignificant
B vs E	0.3558	0.8999947	insignificant
C vs D	2.4905	0.4187916	insignificant
C vs E	6.2262	0.0015102	** p<0.01
D vs E	3.7357	0.0927439	insignificant

Tabelle A. 31: Dieserverbrauch in l/ha Block 3+7 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	4.1087	0.0535615	insignificant
A vs C	7.7039	0.0010053	** p<0.01
A vs D	3.4239	0.1425592	insignificant
A vs E	4.7935	0.0180066	* p<0.05
B vs C	3.5951	0.1132076	insignificant
B vs D	0.6848	0.8999947	insignificant
B vs E	0.6848	0.8999947	insignificant
C vs D	4.2799	0.0411414	* p<0.05
C vs E	2.9103	0.2692254	insignificant
D vs E	1.3696	0.8535084	insignificant

Tabelle A. 32: Dieserverbrauch in l/ha Block 4+8 Tukey HSD Auswertung

treatments pair	Tukey HSD Q statistic	Tukey HSD p-value	Tukey HSD inference
A vs B	4.6603	0.0224084	* p<0.05
A vs C	9.3205	0.0010053	** p<0.01
A vs D	12.1167	0.0010053	** p<0.01
A vs E	2.1748	0.5434815	insignificant
B vs C	4.6603	0.0224084	* p<0.05
B vs D	7.4564	0.0010053	** p<0.01
B vs E	2.4855	0.4207854	insignificant
C vs D	2.7962	0.3057078	insignificant
C vs E	7.1458	0.0010053	** p<0.01
D vs E	9.9419	0.0010053	** p<0.01

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ich bin (nicht) damit einverstanden, dass meine Masterarbeit in der Hochschulbibliothek eingestellt wird.

Unterschrift

Felix Rothbarth, Neubrandenburg den 10. Februar 2025