



HOCHSCHULE OSNABRÜCK
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**Körnermaisanbau im Wasserschutzgebiet durch Unterstützung von
Hacktechnik**

Teil 2

im Studiengang Bachelor Landwirtschaft
an der Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur

Vorgelegt von:	Christian Debbeler	967116
	Laurens Fangmann	951769
	Hendrik Flessner	951786

Abgabedatum: 12.01.2022

Betreuende Dozentin/betreuender Dozent:	Prof. Dr. G. Recke
	Dr. T. Jorissen

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
1 Einleitung.....	1
2 Stand des Wissens.....	3
2.1 Gute fachliche Praxis	3
2.2 Anforderungen an die Technik	5
2.3 Boniturergebnisse aus vorangegangenen Untersuchungen	6
2.4 Kosten aus vorangegangenen Untersuchungen	8
2.6 Förderungen	11
3 Material und Methoden.....	12
3.1 Versuchsbetrieb Langsenkamp.....	12
3.2 Modellbetriebe	13
3.3 Kosten-Leistungsrechnung	15
3.4 Sensitivitätsanalyse.....	16
3.5 Break-Even-Analyse	17
3.6 Treibhausgasbilanz	17
4 Ergebnisse.....	19
4.1 Erträge Feldversuch.....	19
4.2 Ergebnisse Modellbetriebe.....	20
4.3 Sensitivitätsanalyse.....	22
4.4 Break-Even-Analyse	24
4.5 Treibhausgasbilanz	30
5 Diskussion	32
5.1 Einfluss der Unkrautregulierung auf den Ertrag	32
5.2 Unkrautbekämpfungskosten	34

5.3 Schwelle der Eigenmechanisierung	36
5.5 Erhöhte Treibhausgasemissionen der mechanischen Varianten	37
6 Fazit.....	39
7 Literaturverzeichnis	41
Anhang	46
Anhang 1: KLR Betrieb Uckermark	46
Anhang 2: KLR Betrieb Cloppenburg Land.....	47
Anhang 3: KLR Versuchsbetrieb Langsenkamp	48
Anhang 4: Terminplan.....	49
Anhang 4: Protokolle.....	50
Eidesstattliche Erklärung:	62

Abkürzungsverzeichnis

AB	Arbeitsbreite
CCM	Corn Cob Mix
CHF	Schweizer Franken
DWD	Deutscher Wetterdienst
KLR	Kosten-Leistungs-Rechnung
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
NA	Nachauflauf
OOWV	Oldenburg-Ostfriesischer Wasserverband
PSM	Pflanzenschutzmittel
V1	Versuchsvariante 1
V2	Versuchsvariante 2
V3	Versuchsvariante 3

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Unkrautbonitur der einzelnen Varianten	7
Abbildung 2: Summe Arbeitserledigungskosten und Direktkosten	9
Abbildung 3: Versuchsfläche mit Parzellenzuordnung.....	12
Abbildung 4: Claas Telematics Ertragskartierung.....	20
Abbildung 5: Sensitivitätsanalyse Betrieb Uckermark, Cloppenburger Land	22
Abbildung 6: Sensitivitätsanalyse Marktpreis Cloppenburger Land	23
Abbildung 7: Break-Even-Analyse Striegel Uckermark.....	24
Abbildung 8: Break-Even-Analyse Hacke Uckermark.....	25
Abbildung 9: Break-Even-Analyse Hacke + Bandspritze Uckermark.....	26
Abbildung 10: Break-Even-Analyse Pflanzenschutzspritze Uckermark	26
Abbildung 11: Break-Even-Analyse Striegel Cloppenburger Land	27
Abbildung 12: Break-Even-Analyse Hacke Cloppenburger Land	28
Abbildung 13: Break-Even-Analyse Hacke + Bandspritze Cloppenburger Land	28
Abbildung 14: Break-Even-Analyse Pflanzenschutzspritze Cloppenburger Land.....	29
Abbildung 15: Silomaisertrag bei mechanischer Unkrautregulierung (SPYCHER et al. 2020)	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse der erfolgreich behandelten Unkräuter	8
Tabelle 2: Arbeitserledigungskosten nach Betriebsgröße (KLOEFER 2019)	10
Tabelle 3: Angenommene Maschinenausstattung der Betriebe	14
Tabelle 4: Angenommene Werte bei der KLR	15
Tabelle 5: Kalkulierte Anschaffungspreise der einzelnen Geräte	16
Tabelle 6: CCM-Ertrag und Feuchtigkeit des Feldversuchs.....	19
Tabelle 7: Ergebnisse der KLR.....	21
Tabelle 8: Emissionen der einzelnen Arbeitsschritte	30
Tabelle 9: Emissionen der einzelnen Verfahren	31
Tabelle 10: Anzahl verfügbarer Feldarbeitstage (verändert nach KLOEPFER 2019, ACHILLES et al. 1999)	34
Tabelle 11: Kosten Unkrautbekämpfungsmaßnahmen (verändert nach SPYCHER et al. 2020).....	35

1 Einleitung

Pflanzenschutz ist eine Voraussetzung für nachhaltige und leistungsfähige Pflanzen- und Lebensmittelerzeugung (BMEL o. J.). Ein wichtiger Aspekt ist die Unkrautregulierung, da die Kulturpflanze mit dem Unkraut um Licht, Wasser und Nährstoffe konkurriert (DEUTSCHER BAUERNVERBAND 2019). Da Mais in seiner Jugendentwicklung sehr empfindlich auf Unkrautkonkurrenz reagiert, nimmt deren Regulierung eine wesentliche Rolle ein. Im Jahr 2022 wurden rund 2,5 Mio. Hektar Mais in Deutschland angebaut, was etwa 20 % der Gesamtackerfläche in Deutschland entspricht (BUNDESINFORMATIONSZENTRUM LANDWIRTSCHAFT 2022, DMK 2022). Somit nimmt der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Maisanbau einen großen Anteil am Gesamteinsatz von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau ein.

Bei der Unkrautbekämpfung im konventionellen Anbauverfahren werden Herbizide verwendet. Der Einsatz von Herbiziden muss aber unter Berücksichtigung des Gewässerschutzes erfolgen, damit Grund- und Oberflächenwasser nicht belastet werden. Deshalb ist der Eintrag von Schadstoffen durch Pflanzenschutzmittel und deren Metaboliten zu vermeiden (BARAUFKE et al. 2019). Herbizid-Wirkstoffe aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe, sowie der Wirkstoff S-Metolachlor haben ein hohes Potenzial zur Auswaschung in das Grundwasser, besitzen aber gleichzeitig den höchsten Einsatzumfang im Maisanbau (BVL o.J., GEIGES et al. 2008). Zusätzlich wird von Teilen der Bevölkerung die konventionelle Landwirtschaft hinsichtlich des Umweltschutzes hinterfragt (BMEL 2021). Auch die EU- Kommission diskutiert den Einsatz und das Risiko von chemischem Pflanzenschutzmittel und sieht vor, den Pflanzenschutzmitteleinsatz bis 2030 in der EU zu halbieren (LEHMANN 2022). Somit liegt es nahe, in Zukunft auf alternative Unkrautbekämpfungsmaßnahmen zurückzugreifen (MAUL 2001).

Alternativen zum Herbizideinsatz können eine reduzierte Anwendung durch eine Bandspritzung zusammen mit mechanischer Unkrautbekämpfung oder rein mechanische Maßnahmen sein. Während bei einer rein mechanischen Unkrautbekämpfung auf den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln verzichtet wird, können schon allein durch die Kombination aus Hacke und Bandspritzung 50 bis 65 % Pflanzenschutzmittel eingespart werden (AMAZONE o.J., HÖNER 2021). Damit diese Verfahren eine Alternative zum chemischen Pflanzenschutz darstellen, ist die Wirtschaftlichkeit der Verfahren von großer Bedeutung. Neben der Wirtschaftlichkeit ist aber auch der Erfolg der Unkrautregulierung maßgeblich.

Somit ergibt sich die Fragestellung, welche Alternativen einen vergleichbaren Erfolg zu der konventionellen chemischen Unkrautbekämpfung erweisen und welche Alternativen im Maisanbau ohne Ertrags- und Gewinneinbußen integrierbar sind. Zusätzlich fragt sich, welche Umweltauswirkungen die alternativen Maßnahmen gegenüber der konventionellen Maßnahme ausüben.

Um Aussagen hinsichtlich des Erfolgs der Unkrautregulierung und der Wirtschaftlichkeit der unterschiedlichen Verfahren treffen zu können, wurde im Rahmen dieses Projekts ein Praxisversuch angelegt. Für die Beurteilung des Erfolgs der Unkrautregulierung wurden Bonituren durchgeführt. Auf der Versuchsfläche wurden drei Parzellen mit Körnermais angelegt. Diese wurden hinsichtlich des Pflanzenschutzes unterschiedlich behandelt. Eine Parzelle wurde rein mechanisch, eine zweite mechanisch, kombiniert mit einer chemischen Bandspritzung und die dritte konventionell rein chemisch behandelt.

Im Folgenden werden alle drei Verfahren hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der Erträge und des Erfolgs der Unkrautregulierungsmaßnahmen aus dem vorherigen Projektbericht miteinander verglichen. Durch eine Kosten-Leistungsrechnung (KLR) wird die Wirtschaftlichkeit anhand von zwei Modellbetrieben unterschiedlicher Standorte und Bewirtschaftungsgrößen dargestellt. Zusätzlich werden Veränderungen in der Wirtschaftlichkeit durch finanzielle Förderungsmöglichkeiten dargelegt. Um Aussagen über eine mögliche Eigenmechanisierung oder der Auslagerung der Unkrautbekämpfung treffen zu können, wurde eine Break-Even-Analyse durchgeführt. Da die Praxisversuche zeigten, dass zwar durch die mechanische Unkrautbekämpfung chemische Pflanzenschutzmittel eingespart werden können, der Dieserverbrauch aufgrund der häufigeren Überfahrten jedoch höher ist, erfolgt zudem eine Treibhausgasbilanzierung der verschiedenen Varianten.

2 Stand des Wissens

2.1 Gute fachliche Praxis

Grundsätzlich gilt es Pflanzenschutzmaßnahmen nach guter fachlicher Praxis durchzuführen (§ 3 Abs. 1 PflSchG 2021). Nach dem BMEL definiert sich die gute fachliche Praxis darin, dass sie insbesondere der Gesunderhaltung und Qualitätssicherung von Pflanzen und Pflanzenerzeugnissen unter Berücksichtigung von Grundprinzipien dient. Ein Grundprinzip wird in § 3 Abs. 1 S.2 PflSchG genannt. Die gute fachliche Praxis umfasst auch Maßnahmen zum Schutz und zur Abwehr von Gefahren, welche durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln oder Maßnahmen des Pflanzenschutzes für Mensch, Tier, Naturhaushalt und Grundwasser entstehen können (PflSchG 2021). Auch im Bundes-Bodenschutzgesetz wird die gute fachliche Praxis definiert. In § 17 Abs. 2 des Bundes-Bodenschutzgesetzes wird die gute fachliche Praxis als eine standortangepasste Bodenbewirtschaftung beschrieben. Dadurch wird eine nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit, sowie die Leistungsfähigkeit des Bodens gewährleistet (BBodSchG 2017). Nach § 5 Abs. 2 S. 6 des Bundesnaturschutzgesetz hat der Einsatz und die Dokumentation der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln und Düngemitteln nach Vorgaben des Fachrechts zu erfolgen (BNatSchG 2021). Somit ist die fachgerechte Anwendung zum richtigen Zeitpunkt ebenfalls wichtiger Bestandteil der guten fachlichen Praxis.

Mais ist in seiner Jugendentwicklung äußerst konkurrenzschwach. Die Unkrautregulierung ist deshalb entscheidend für einen hohen Ertrag. Laut BERGMANN et al. (2007) ist in der Landwirtschaft vor allem die chemische Unkrautregulierung das Standardverfahren. PICKERT (2000) empfiehlt einen möglichst frühen Herbizideinsatz im 3 – 6 Blattstadium, um Ertragsverluste zu verringern. Häufig wird eine Kombination aus Blattherbiziden und bodenwirksamen Herbiziden angewendet, um mit möglichst wenig Überfahrten die Unkräuter zu regulieren. Eine Herbizidanwendung im Voraufbau mit einem Bodenherbizid gilt nicht als Teil der guten fachlichen Praxis. Dabei werden laut JÖRING et al. (2018) sehr hohe Aufwandsmengen angewendet, ohne zu wissen, wie hoch der Unkrautdruck tatsächlich sein wird. Durch den Einsatz von Blattherbiziden nach dem Auflaufen der Unkräuter wird eine höhere Wirkungssicherheit erreicht. Die LfL (2022) empfiehlt für die meisten Herbizide oder Herbizid-Packs zur Unkraut- und Ungrasbekämpfung im Mais einen Einsatzzeitraum vom 2 - 6 Blatt Stadium. Nur vereinzelt gibt es für einzelne Herbizide Empfehlungen bis ins 8 Blatt Stadium.

Die mechanische Unkrautregulierung im Mais erfolgt durch den Einsatz von Striegel und Hacke. Laut MÜCKE (2019) ist es wichtig auf einen ebenen und gut rückverfestigten Acker zu achten und die Reihenabstände exakt einzuhalten. Der Einsatz eines Parallelfahrersystems bei der Aussaat erleichtert dies und ist auch für die späteren Hackvorgänge von Vorteil. Der Striegel ist vor allem im Voraufbau anzuwenden, wenn das Unkraut sich noch im Keimfadenstadium befindet. Diese werden beim Striegelvorgang teilweise herausgerissen oder verschüttet (HEYER 2019). Drei bis vier Tage nach der Aussaat kann mit dem Blindstriegeln begonnen werden (MÜCKE 2019). Falls nötig kann auch noch ein zweites Mal mit dem Striegel gearbeitet werden, wenn der Mais noch nicht zu weit entwickelt ist. Zwischen EC 09 und EC 12 ist der Keimling sehr empfindlich und es sollte auf eine mechanische Unkrautregulierungsmaßnahme verzichtet werden (MÜCKE 2019).

DIERAUER (2012) beschreibt, dass ab dem Zweiblattstadium im Mais der erste Hackdurchgang erfolgen kann. Hierbei ist zu beachten, dass Schutzbleche oder Scheiben am Arbeitsgerät montiert sind, um ein Verschütten der jungen Maispflanze zu verhindern (MÜCKE 2019). Laut HEYER (2019) ist neben dem Entwicklungsstadium des Maises aber vor allem auch der Entwicklungsstand der Unkräuter entscheidend. Bis zum Vierblattstadium der Unkräuter, werden diese sicher erfasst. Zur Unkrautbekämpfung in den Maisreihen kann eine Fingerhacke eingesetzt werden (DIERAUER 2012). Nach HEYER (2019) werden dabei Unkräuter bis zum Zweiblattstadium sicher erfasst. Neben passendem Arbeitsgerät ist die Witterung entscheidend. Trockene Witterung und Sonnenschein sind zu beachten. Ebenfalls zu empfehlen sind Feldarbeiten während des Nachmittages, da der Mais dann elastischer ist und nicht so schnell Schaden durch die Maßnahme erleidet (DIERAUER 2012, HEYER 2019, MÜCKE 2019).

Im kombinierten Verfahren wird eine Bandspritze zusammen mit einer Hacke eingesetzt. Das applizierte Band wirkt chemisch in der Reihe und bekämpft so die Unkräuter. Die Hacke arbeitet teilweise in der Reihe, allerdings ist die Bandspritzung dort deutlich effektiver. Wichtig ist auch hier, dass das Unkraut noch nicht zu weit entwickelt ist (JÖRING et al. 2018). Da in diesem Verfahren nicht die ganze Fläche mit dem Herbizid behandelt wird, kann im Maisanbau bei einem Reihenabstand von 75cm zwischen 50 bis 65 % des Mittels eingespart werden (AMAZONE o.J., HÖNER (2021).

Beim kombinierten Verfahren kann es Probleme geben, da laut WEGENER (2020) die optimalen Einsatzbedingungen bei der Hacke und einer Pflanzenschutzmaßnahmen sehr verschieden sind. So wird am besten an warmen, windigen und trockenen Tagen

gehackt. Der optimale Zeitpunkt für die chemische Applikation ist allerdings an bedeckten und windstillen Tagen. Einige Systeme arbeiten getrennt voneinander. Zuerst erfolgt ein Hackdurchgang und in einer getrennten Überfahrt der Einsatz der Bandspritzung.

2.2 Anforderungen an die Technik

Um die Unkrautbekämpfung erfolgreich und unter Berücksichtigung der guten fachlichen Praxis durchführen zu können, müssen die Maschinen mit gewissen Techniken ausgerüstet sein. Vorab sollten aber laut MÜCKE (2019) schon einige Dinge bei der Bodenbearbeitung und bei der Aussaat beachtet werden. Er weist darauf hin, dass die Bodenbearbeitung so erfolgen sollte, dass der Boden eben ist. Die Aussaat sollte mit einem automatischen Lenksystem durchgeführt werden, um so eine genaue parallele Führung zu gewährleisten (MÜCKE 2019). Die DLG (2019) präzisiert diese Aussage und setzt ein automatisches Lenksystem in RTK-Genauigkeit sowohl bei der Aussaat als auch bei der Unkrautregulierung voraus. Dies ist wichtig, um einen hohen Regulierungserfolg bei gleichzeitig geringen Kulturpflanzenverlust zu realisieren.

Der Striegel sollte nach MÜCKE und KREIKENBOHM (2020) eine indirekte Zinkenfederung haben. Zusätzlich sollte der Striegel unbedingt mit einer stufenlosen, hydraulischen Verstellung der Federvorspannkraft ausgestattet sein. Dies ist besonders wichtig für empfindliche Kulturen wie Mais, Kartoffeln, Zuckerrüben, Sojabohnen und diverse Gemüsearten. Durch die indirekte Federung ist der Druck immer auf allen Zinken gleich, auch wenn Bodenunebenheiten vorliegen und die Zinken sich dadurch in unterschiedlichen Stellungen befinden (MÜCKE und KREIKENBOHM 2020).

Für die Hacke bieten sich mehrere Werkzeuge an, die für die Unkrautregulierung im Maisanbau in Frage kommen. Nach MÜCKE (2019) bieten sich die Schar-, Stern- und Rollhacken an, empfiehlt jedoch die Scharhacke in Kombination mit einer Fingerhacke. Durch die Fingerhacke lässt sich das Unkraut in der Maisreihe ab dem 3-Blattstadium nach genauer Einstellung auf nahezu allen Böden gut entfernen (MÜCKE 2019). Durch das automatische Lenksystem mit RTK-Genauigkeit ist ein spurtreues Abfahren der Reihen gewährleistet und entlastet den Maschinenführer. Zusätzlich zur Steuerung der Hacke empfiehlt sich ein Verschieberahmen mit Kamerasteuerung, welche die Maisreihen erkennt und die Hacke dementsprechend lenkt (DLG 2019). Eine zusätzliche Ausstattung mit Section Control sollte auch gewählt werden. Durch die Ausstattung mit

Section Control können die Hackwerkzeuge einzeln angehoben werden und eine unnötige Überlappung in das Vorgewende oder in Keilen wird verhindert (KIEFER 2022). Eine Hacke mit Bandspritzeinrichtung sollte mit derselben Technik ausgestattet sein. KIEFER (2022) empfiehlt zusätzlich die Hacke mit Bandspritzeinrichtung so zu gestalten, dass die Spritzeinrichtung als Fronttanksystem vorliegt. So liegt eine bessere Gewichtsverteilung des Trägerfahrzeuges vor (KIEFER 2022). Das Trägerfahrzeug hat aufgrund der Pflegebereifung einen geringen Auflagepunkt. Durch den Fronttank wird jedoch eine gleichmäßige Gewichtsverlagerung erzielt, weshalb auf zusätzliche Gewichte verzichtet werden kann.

2.3 Boniturergebnisse aus vorangegangenen Untersuchungen

In vorangegangenen Untersuchungen (Projektteil 1) wurde an fünf verschiedenen Terminen eine Unkrautbonitur durchgeführt. Diese Termine lagen direkt vor der Unkrautregulierungsmaßnahme und wenige Tage nach der Maßnahme. Durch die Wahl dieser Unkrautboniturtermine konnte die Dringlichkeit und der Erfolg der Regulierungsmaßnahme erfasst werden. In Abbildung 1 sind die Boniturergebnisse der drei Varianten grafisch dargestellt. Die farbigen Balken stellen hierbei die Anzahl der Unkräuter pro m² an den einzelnen Unkrautboniturterminen in den jeweiligen Varianten dar. Die einzelnen Versuchsvarianten sind mit V1 bis V3 beschrieben. Dabei wurde die rein mechanische Variante mit V1, die mechanische Variante in Kombination mit einer Bandspritzung mit V2 und die rein chemische Variante mit V3 gekennzeichnet. Zusätzlich wurden die einzelnen Maßnahmen zur Unkrautregulierung mittels der Piktogramme in das Diagramm eingepflegt. Dadurch ist der Erfolg der zuvor erfolgten Maßnahme schnell ersichtlich und der Gesamterfolg der einzelnen Varianten im gesamten Versuchsverlauf erkennbar.

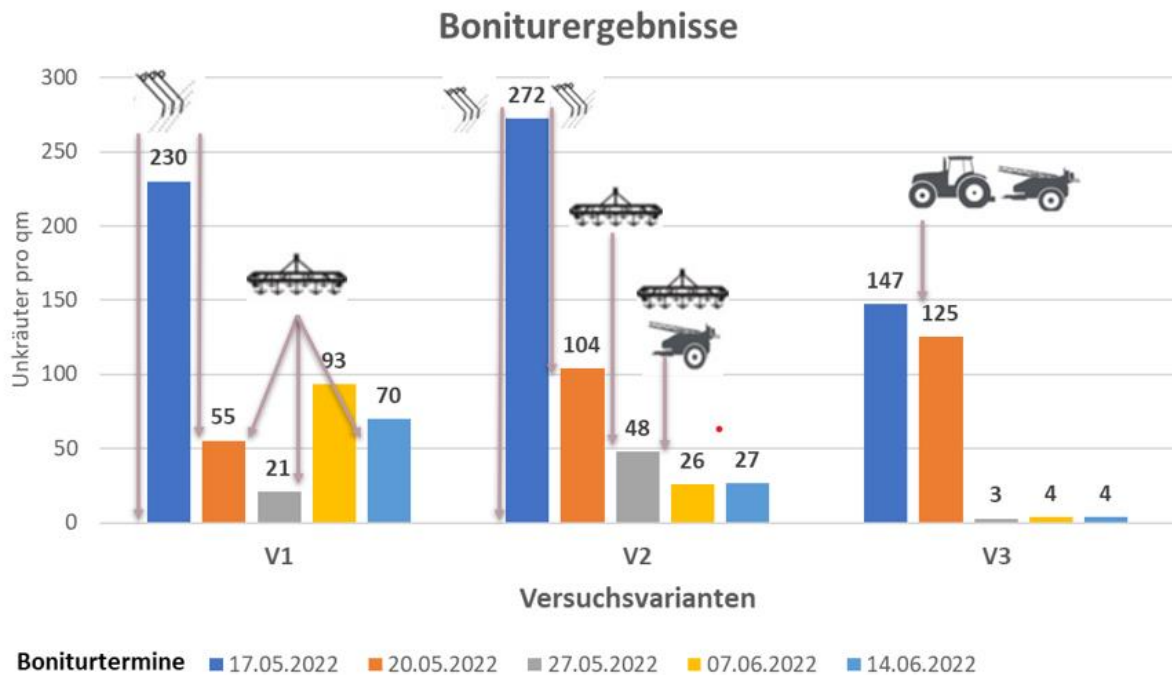


Abbildung 1: Unkrautbonitur der einzelnen Varianten

Durch das Blindstriegeln im Voraufbau ist ein deutlicher Anstieg der aufgelaufenen Unkräuter zu erkennen. In V3 wurde zu diesem Zeitpunkt noch keine Maßnahme durchgeführt. Somit konnte durch die Maßnahme des Blindstriegelns eine Steigerung der aufgelaufenen Unkräuter pro m^2 in V1 um 56 % und in V2 um 85 % zu V3 festgestellt werden. Auch MÜCKE (2019) beschreibt diesen Effekt und hält ihn als wünschenswert, um durch anschließende Maßnahmen die aufgelaufenen Unkräuter gezielt bekämpfen zu können. In V3 lässt sich der Rückgang von 98 % der Unkräuter pro m^2 nach der chemischen Komplet Applikation festhalten. Dieser Rückgang konnte während des gesamten Versuchszeitraums gehalten werden. Auch die LfL (2022) bekräftigt die konventionelle chemische Komplettapplikation bis heute als die effektivste Unkrautbekämpfungsmaßnahme. In den Versuchsvarianten V1 und V2 ließ sich auch ein Rückgang der Unkräuter pro m^2 festhalten. Lediglich in V1 war ein Anstieg des Unkrautbesatz nach der zweiten Hackmaßnahme zu beobachten. Diese Unkrautbesatzentwicklung war vorrangig in der Maisreihe zu erkennen. Dies ließ sich auf die Witterung und die mangelnde Intensität der mechanischen Unkrautbekämpfung in der Reihe zurückführen, da durch zu hohe Intensität der Hackwerkzeuge die Maispflanze beschädigt wird. In V2 war dieser Anstieg nicht zu beobachten, da das Herbizidband in der Reihe zur Wirkung kam. Aus Tabelle 1 lassen sich die Ergebnisse der erfolgreich

behandelten Unkräuter in absoluten Zahlen und in relativer Betrachtung entnehmen. Es lässt sich erkennen, dass die Unkrautbekämpfung mit 97 % der rein chemischen Variante V3 am erfolgreichsten war und sich der geringste Erfolg in der rein mechanischen Variante V1 bewies.

Tabelle 1: Ergebnisse der erfolgreich behandelten Unkräuter

	Erfolgreich behandelte Unkräuter absolut	Erfolgreich behandelte Unkräuter relativ in %
V1:	160	70
V2:	246	90
V3:	143	97

2.4 Kosten aus vorangegangenen Untersuchungen

In vorangegangenen Untersuchungen des Projekts wurde bereits auf Grundlage von Bewirtschaftungs- und KTBL-Daten ein Kostenvergleich aufgestellt. Hierbei wurde angenommen, dass alle eingesetzten Geräte ausgelastet sind. Der Vergleich fand ausschließlich im Rahmen der Kosten für Unkrautregulierungsmaßnahmen statt, ohne Berücksichtigung von zuvor geleisteten Arbeiten wie Bodenbearbeitung, Düngung und Aussaat. Die Ernte konnte zu dem Zeitpunkt ebenfalls noch nicht berücksichtigt werden. Es wurden Arbeitserledigungskosten inklusive Direktkosten für das eingesetzte Pflanzenschutzmittel verglichen.

Die Arbeitserledigungskosten bestehen aus fixen Kosten und variablen Kosten. Die fixen Kosten beinhalten Abschreibung, Zinskosten für das in der Maschine gebundene Kapital und sonstige Kosten (Unterbringung, Versicherung und Gebühren) (KTBL 2022). Die variablen Kosten stellen sich aus Betriebsstoff- und Reparaturkosten zusammen. Schmierstoffe sind in den Reparaturkosten enthalten und die Betriebsstoffkosten sind die Dieselskosten (KTBL 2022). Für die Dieselskosten wurde der Monatsdurchschnittspreis im Mai 2022 in Höhe von 2,00 €/l angenommen (STATISTA 2022). Der Arbeitszeitbedarf entspricht dem Gesamtarbeitszeitbedarf des jeweiligen Arbeitsverfahrens. Hierbei wurde ein Stundenlohn für die Arbeitskraft von 21,00 €/h angenommen.

Somit ergeben sich Arbeitserledigungskosten für das Striegeln mit 7,5 m Arbeitsbreite in Höhe von 15,05 €/ha. Eine vierreihige Hacke, so wie sie auch bei der Versuchsdurchführung in Teil 1 verwendet wurde, hat Arbeitserledigungskosten in Höhe von 59,94 €/ha. Die Hacke zusätzlich mit einer Bandspritzeinrichtung ausgestattet hat die höchsten Arbeitserledigungskosten, sie betragen 79,55 €/ha. Die Pflanzenschutzspritze im Anbau mit 24 m breitem Gestänge und 1500 l Fassungsvermögen hat mit 10,48 €/ha die geringsten Arbeitserledigungskosten.

Direktkosten sind lediglich in V2 und V3 durch die Pflanzenschutzmittel angefallen. Es wurde eine Mittelkombination aus 2,0 l/ha Laudis und 2,0 l/ha Spektrum Gold in V3 eingesetzt. Die Direktkosten für V3 betragen insgesamt 74,20 €/ha. In V2 konnte aufgrund der Bandspritzung 65 % Pflanzenschutzmittel eingespart werden und somit wurde nur eine Aufwandmenge von 0,7 l/ha Laudis und 0,7 l/ha Spektrum Gold eingesetzt. Die Direktkosten für V2 betragen somit 25,97 €/ha.

In Abbildung 2 sind die Direkt- und Arbeitserledigungskosten dargestellt. Die rein mechanische Variante V1 stellt hier die kostenintensivste Variante mit 209,92 €/ha dar. V1 beinhaltet zweimaliges Striegeln und dreimaliges Hacken. Ähnliche Kosten fielen in V2 mit 195,56 €/ha an und beinhalten zweimaliges Striegeln und zweimaliges Hacken inklusive Bandspritzung bei dem zweiten Hackdurchgang. Die Kostengünstigste Variante stellt V3 mit 84,68 €/ha dar. In dieser Variante erfolgte nur eine Durchfahrt mit der Pflanzenschutzspritze.

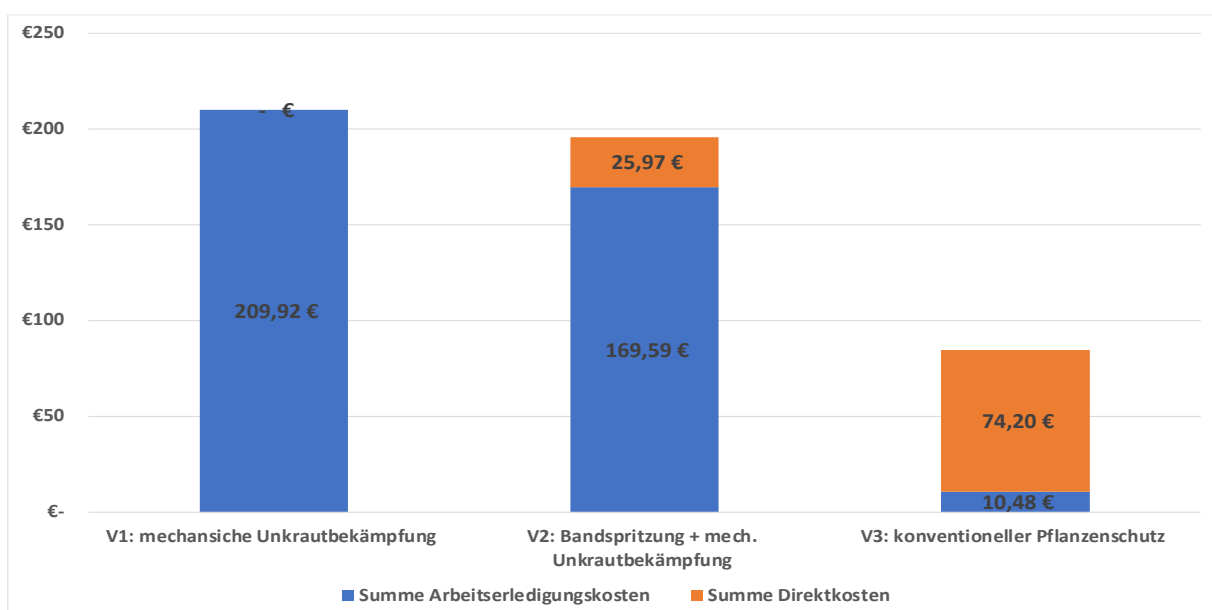


Abbildung 2: Summe Arbeitserledigungskosten und Direktkosten

KLOEPFER (2019) führte ebenfalls Untersuchung durch, die auf KTBL-Daten beruhen (Tabelle 2). In allen Betriebsgrößen ist die Pflanzenschutzspritze die kostengünstigste Maßnahme und die Hacke die kostenintensivste Regulierungsmaßnahme. Eine Ausnahme bildet der Striegel in dem großen Betrieb (Tabelle 2). Hier ist der Striegel der Pflanzenschutzspritze überlegen, da bei der Spritze Zeit für das Befüllen anfällt (KLOEPFER 2019). Allgemein sind die Kosten so zu beurteilen, dass bei zunehmender Betriebsgröße die Arbeitserledigungskosten in €/ha sinken, obwohl die Anschaffungskosten durch größere Maschinen steigen. Dies ist auf die geringen Arbeitskraftstunden pro Hektar zurückzuführen, da die Flächenleistung durch die größeren Arbeitsbreiten steigt (KLOEPFER 2019).

Tabelle 2: Arbeitserledigungskosten nach Betriebsgröße (KLOEFER 2019)

	Striegel	Hacke	Pflanzenschutzspritze
2 ha Flächengröße 15 ha Maisanbau	12,00 €/ha 3 m AB	16,00 €/ha 3 m AB	5,00 €/ha 18 m AB
5 ha Flächengröße 100 ha Maisanbau	5,50 €/ha 6 m AB	7,50 €/ha 6 m AB	2,50 €/ha 24 m AB
20 ha Flächengröße 300 ha Maisanbau	1,50 €/ha 18 m AB	4,50 €/ha 9 m AB	2,00 €/ha 36 m AB

In der Schweiz wurden ebenfalls ökonomische Untersuchungen bezüglich der Unkrautregulierung im Maisanbau durchgeführt. Die Preise sind in CHF angegeben und der Umrechnungsfaktor in Euro beträgt momentan 1,01 (Stand Januar 2023). Somit entspricht der CHF in etwa dem Euro. Hier wurden für einmal Striegeln Arbeitserledigungskosten in Höhe von CHF 52,49 pro ha ermittelt und für das Hacken CHF 105,56 pro ha (SPYCHER et al. 2020). Genaue Maschineninformationen liegen nicht vor. Die Arbeitserledigungskosten der Pflanzenschutzspritze betragen CHF 57,02 pro ha (SPYCHER et al. 2020). Die erkennbaren höheren Preise in der Schweiz sind auf den hohen Lebenshaltungskosten-Index von 154 zurückzuführen (LAENDERDATEN.INFO 2022). Somit sind die Lebenshaltungskosten 54 % höher als in Deutschland.

2.6 Förderungen

Besonders in Wasserschutzgebieten gibt es Förderprogramme, welche den Einsatz von Herbiziden reduzieren und die mechanische Unkrautbekämpfung fördern sollen. Beim Oldenburg-Ostfriesischen Wasserverband (OOWV), welcher auch Wasserschutzgebiete im Cloppenburg Land betreibt, stammen die Förderungen aus dem niedersächsischen Kooperationsmodell Trinkwasserschutz. Hier besteht die Möglichkeit als Landwirt bei einer einmaligen Anwendung eines blattwirksamen Kontaktherbizids und anschließend rein mechanischer Unkrautbekämpfung eine Ausgleichszahlung von 60 €/ha zu erhalten. Wichtig für die Ausgleichszahlung ist, dass kein Bodenherbizid zum Einsatz kommt. Die Metaboliten einzelner Wirkstoffe aus Bodenherbiziden haben ein hohes Auswaschungspotenzial. Geplant ist zudem die Ausgleichszahlung zu erhöhen und umzustrukturieren, um die Attraktivität zu erhöhen (OOWV 2022). In einigen Wasserschutzgebieten des OOWV gibt es zudem ein neues Projekt, bei dem die Arbeitserledigung für die mechanische Unkrautbekämpfung durch externe Dienstleister übernommen wird. Durch die Übernahme der Kosten vom Wasserverband fallen für den Landwirt keine Arbeitserledigungskosten an (OOWV 2022).

Da die zuvor genannten Förderungen stark regionsabhängig sind, gibt es von der Politik zusätzlich deutschlandweit geltende Programme. Hierzu zählt das Investitionsprogramm Landwirtschaft der landwirtschaftlichen Rentenbank. Landwirtschaftliche Betriebe und Lohnunternehmer haben hier die Möglichkeit der Förderung bei der Neuanschaffung eines landwirtschaftlichen Gerätes. Bedingung ist dabei, dass das Gerät zur exakten Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln oder zur mechanischen Unkrautbekämpfung dient. Geräte und Maschinen, welche zur Förderung geeignet sind, werden dabei auf einer sogenannten Positivliste geführt. Dabei können Landwirte 40 % der Investitionssumme an Förderung beitrage und Lohnunternehmer zehn Prozent der Investitionssumme (RENTENBANK 2022).

Außerdem werden in der neuen GAP 2023 zusätzliche Anreize für den Verzicht auf Pflanzenschutzmitteln gegeben. So ist in der 6. Maßnahme der Eco-Schemes geregelt, dass eine Prämie in Höhe von 130 €/ha ausgezahlt wird, wenn freiwillig ein Jahr lang auf chemische Pflanzenschutzmittel verzichtet wird (LWK NIEDERSACHSEN 2022).

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsbetrieb Langsenkamp

Der Versuch fand im Rahmen des Experimentierfeld Agro-Nordwest in Zusammenarbeit mit dem Hof Langsenkamp und der Hochschule Osnabrück statt. Der Versuchsbetrieb Langsenkamp liegt in Belm nahe der Stadt Osnabrück. Die Betriebsschwerpunkte liegen in der Schweinemast, Pensionspferdehaltung und dem Ackerbau. Der Betrieb bewirtschaftet insgesamt etwa 60 ha, von denen 25 ha für den Körnermaisbau genutzt werden. Die Versuchsfläche ist 6,2 ha groß und befindet sich unweit des Betriebes. Die vorliegende Bodenart ist ein lehmiger Sand (IS). Die Vorfrucht war Wintergerste mit nachfolgender abfrierender Zwischenfrucht. Auf der Versuchsfläche wurden drei gleichgroße Parzellen angelegt (Abbildung 3). Jede Parzelle ist 328 m lang, 12 m breit und etwa 0,39 ha groß. Diese Parzellengröße ist abgestimmt mit den Arbeitsbreiten der darauffolgenden Arbeitsgänge. Folglich befinden sich in jeder Parzelle 16 Maisreihen bei einem Reihenabstand von 0,75 m. Zur Vermeidung von äußeren Effekten wurden Randbereiche und Vorgewende ausgeschlossen.

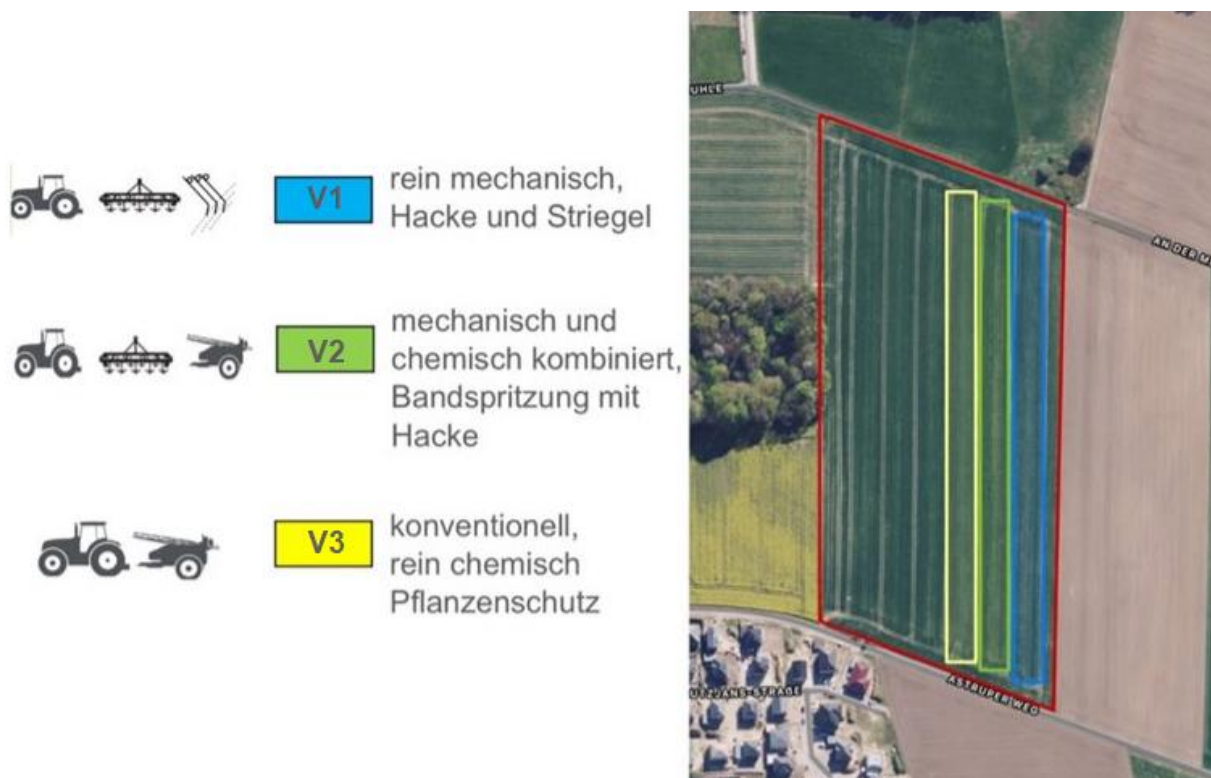


Abbildung 3: Versuchsfläche mit Parzellenzuordnung

In der ersten Variante (V1) wurde eine rein mechanische Unkrautbekämpfung mit zwei Striegeldurchgängen und dreimaligen Hacken durchgeführt. In der zweiten Variante (V2) fand eine kombinierte Unkrautbekämpfung aus mechanischen und chemischen Verfahren statt. Es wurde zweimal gestriegelt und zweimal zwischen den Reihen gehackt. Zusätzlich wurde beim zweiten Hackdurchgang eine Herbizidapplikation in der Reihe mittels Bandspritzung durchgeführt. Die dritte Variante (V3) wurde betriebsüblich, rein chemisch mit einer ganzflächigen Herbizidapplikation behandelt.

3.2 Modellbetriebe

Die ökonomische Betrachtung der verschiedenen Versuchsvarianten erfolgt neben dem Versuchsbetrieb Langsenkamp anhand von zwei Modellbetrieben. Hierzu werden zwei unterschiedliche Beispielbetriebe mit regionstypischen Betriebsgrößen betrachtet. Der erste Betrieb, „Modellbetrieb Uckermark“ ist ein Ackerbaubetrieb in der Uckermark und bewirtschaftet 1200 ha Ackerland. Die Uckermark als Region mit traditionell intensivem Ackerbau bietet mit fruchtbaren Parabraunerden und etwa 566 mm Jahresniederschlag gute Anbaubedingungen für den Körnermais. Mais ist mit 23 % Anteil an der Ackerfläche zudem eine der bedeutendsten Früchte in Brandenburg.

Der zweite Betrieb, „Modellbetrieb Cloppenburg Land“ ist ein Gemischtbetrieb aus Ackerbau und Viehzucht im Landkreis Cloppenburg und bewirtschaftet insgesamt 200 ha Ackerland. In dieser Region mit hoher Viehdichte, dem Podsol als vorwiegende Bodenart und etwa 807 mm Jahresniederschlag nimmt Mais mit mehr als 50 % Anteil an der Ackerfläche einen wichtigen Bestandteil in der Fruchtfolge ein.

Der Versuchsbetrieb Langsenkamp liegt im Osnabrücker Land und bewirtschaftet insgesamt 60 ha, von denen 25 ha für den Anbau von Körnermais genutzt werden. Regionstypisch sind Parabraunerden und ein durchschnittlicher Jahresniederschlag von 817 mm (DESTATIS 2020, DWD 2022, MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND KLIMASCHUTZ 2022).

Die Standorte der Modellbetriebe sind aufgrund der unterschiedlichen regionstypischen Betriebsgrößen und Flächeneinheiten interessant zu vergleichen. Während der Modellbetrieb Cloppenburg Land mit einer durchschnittlichen Flächengröße von 5 ha kalkuliert wird, ist diese beim Modellbetrieb Uckermark mit durchschnittlich 20 ha vier Mal so hoch. Zudem findet sich der Mais als Kulturpflanze in diesen Regionen häufig wieder. Während im Cloppenburg Land die Futternutzung Hauptanbaugrund ist, stehen in der Uckermark ackerbauliche Gründe im Vordergrund, da Mais als C₄

Pflanze gut für Regionen mit geringem Niederschlag geeignet ist (FELBERMEIR 2011).

Für die beiden Modellbetriebe wird angenommen, dass jeweils 25 % der Fruchtfolge auf den Körnermais entfallen. Demnach baut Modellbetrieb Cloppenburg 50 ha Mais und Modellbetrieb Uckermark 300 ha Mais an. Angenommen wird in den Kalkulationen, dass Hacke, Striegel und Bandspritzung auf der gesamten Maisanbaufläche eingesetzt werden. Der Einsatzumfang der Pflanzenschutzspritze hingegen verteilt sich auf die gesamte Betriebsfläche, da sie auch zur Flächenapplikation eingesetzt werden kann.

Kalkuliert wird in jedem Betrieb mit zwei Überfahrten eines Striegels und zwei Überfahrten pro Hektar mit einer Hacke. Dabei werden in der rein mechanischen Variante beide Hackdurchgänge ohne Bandspritzung gefahren. In der kombinierten Variante wird jeweils ein Hackdurchgang mit und jeweils ein Hackdurchgang ohne Bandspritzung gefahren. Die rein chemische Variante wird mit einer einmaligen Überfahrt der Pflanzenschutzspritze kalkuliert.

In Tabelle 3 ist die Maschinenausstattung in den einzelnen Versuchsvarianten für die Modellbetriebe und den Versuchsbetrieb Langsenkamp zu sehen. Diese wurde mit Auslastungsschwellen nach KTBL (2022) unter Berücksichtigung der regionstypischen Flächengrößen erstellt. Angenommen wird, dass die Modellbetriebe Uckermark und Cloppenburg eigenmechanisiert sind. Der Versuchsbetrieb Langsenkamp lässt aufgrund der geringen Betriebsgröße den gesamten Pflanzenschutz von einem Lohnunternehmer durchführen.

Tabelle 3: Angenommene Maschinenausstattung der Betriebe

Betrieb	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Uckermark	Striegel 12,2 m 2 x 8-reihige Hacke	Striegel 12,2 m 2 x 8-reihige Hacke mit Bandspritzung	5200 l angehängte Pflanzenschutzspritze mit 30 m Gestänge
Cloppenburg	Striegel 6,2 m 4-reihige Hacke	Striegel 6,2 m 4-reihige Hacke mit Bandspritzung	3000 l angebaute Pflanzenschutzspritze mit 30 m Gestänge
Langsenkamp	Striegel 6,2 m 8-reihige Hacke	Striegel 6,2 m 8-reihige Hacke mit Bandspritzung	4500 l Selbstfahrer Pflanzenschutzspritze mit 24 m Gestänge

3.3 Kosten-Leistungsrechnung

Anhand der Modellbetriebe, den Versuchsbetrieb Langsenkamp und den Erträgen aus den Feldversuchen erfolgt für jede Variante auf jedem Betrieb eine KLR. Bei einer KLR handelt es sich um eine innerbetriebliche Rechnung. Sie stellt somit einen Bereich des internen Rechnungswesens dar. Es wird ein Überblick über die einzelnen Kostenstellen und die dazugehörigen Kostenträger gegeben. Folglich dient die KLR zur Kontrolle der betrieblichen Leistungen und der Wirtschaftlichkeit, sowie zur Ermittlung des Betriebsergebnisses. Ziel ist es durch die Ergebnisse eine Entscheidungsgrundlage für das Unternehmen zu schaffen, damit im Unternehmen Geld verdient werden kann (WÖLTJE 2016).

Tabelle 4: Angenommene Werte bei der KLR

Parameter	Angenommener Wert
Restwert	20 % vom Anschaffungswert (KTBL 2022)
Reparaturkosten pro Jahr	2,5 % vom Anschaffungswert (KTBL 2022)
Zinssatz	3 %
f-Wert	0,5
Dieselpreis in €/l	1,90 (STATISTA 2022)
Lohnansatz in €/h	21 (KTBL 2022)
Marktpreis für CCM in €/dt	16,71 (WOCHENBLATT 2022)

In Tabelle 4 sind die angenommenen Werte der Berechnungsparameter für die KLR dargestellt. Für die Berechnungen wurde angenommen, dass Hacke und Striegel nur für den Betriebszweig Körnermaisbau eingesetzt werden, da sie teils reihenspezifisch arbeiten oder ein Einsatz in anderen Kulturen nicht notwendig ist. Da die Pflanzenschutzspritze ein viel breiteres Einsatzspektrum hat, wurde hier angenommen, dass diese auf der gesamten Betriebsfläche zum Einsatz kommt. Die Neuinvestition eines Traktors wurde nicht berücksichtigt. Allerdings wurden die Kosten eines Standardschleppers pro Betriebsstunde nach KTBL (2022) berücksichtigt.

Es wird angenommen, dass die beiden Modellbetriebe Uckermark und Cloppenburg eigenmechanisiert sind und der Versuchsbetrieb Langsenkamp aufgrund der geringen Betriebsgröße die Unkrautregulierungsmaßnahmen von einem Lohnunternehmer durchführen lässt. Beim Betrieb Langsenkamp wurde hierzu mit Maschinenring Werten kalkuliert (BHD MR WESTFALEN 2022, MR LANDSHUT-ROTTENBURG E.V. 2022).

Die Anschaffungspreise (Tabelle 5) der jeweiligen Geräte entsprechen Marktaktuellen Listenpreisen ohne Rabatten nach SCHRÖDER LANDMASCHINEN (2022). Arbeitsbreite, Leistung und Größe der Geräte wurde nach KTBL (2022) so gewählt, dass diese nahe der Auslastungsschwelle liegen und so zu den Modellbetrieben passen. Die Nutzungsdauer der Geräte entspricht der AfA-Tabelle des BUNDESFINANZMINISTERIUMS (2022).

Tabelle 5: Kalkulierte Anschaffungspreise der einzelnen Geräte

	Variante 1		Variante 2		Variante 3
Verwendete Geräte Betrieb Uckermark	Striegel 12,2 m	2 x Hacke 8-reihig	Striegel 12,2 m	2 x Hacke 8-reihig mit Band-spritzung	Pflanzenschutz-spritze 5200 l
Anschaffungspreise (Netto) Uckermark	37.600 €	122.686 €	37.600 €	172.618 €	130.500 €
Verwendete Geräte Betrieb Cloppenburg	Striegel 6,2 m	1 x Hacke 4-reihig	Striegel 6,2 m	1 x Hacke 4-reihig mit Band-spritzung	Pflanzenschutz-spritze 3000 l
Anschaffungspreise (Netto) Cloppenburg	20.400 €	41.271 €	20.400 €	66.852 €	95.700 €

3.4 Sensitivitätsanalyse

Um die Auswirkung verschiedener, veränderbarer Parameter auf den Gewinn zu untersuchen, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dabei wird untersucht, mit welchem Ausmaß sich die Ausgangsgröße, in unserem Versuch der Gewinn, bei Veränderung einzelner Eingangsgrößen, Dieselpreis oder ähnliches, verändert (KAUSCHE 2018). Die sich veränderbaren Eingangsgrößen werden auch sensitive Parameter genannt. In diesem Projekt sind die sensitiven Parameter die Dieselskosten, Lohnkosten und der Marktpreis. Dabei wurden die Parameter jeweils um 20 % nach oben und um 20 % nach unten verändert. Im Ergebnisteil werden die Veränderungen des Gewinns mit dem gegenwärtigen Zustand verglichen, wodurch der Einfluss des einzelnen Parameters deutlich wird.

3.5 Break-Even-Analyse

Nicht immer ist eine Eigenmechanisierung sinnvoll. Wenn die Maschinen nicht ausreichend ausgelastet werden, kann es kostengünstiger sein die Arbeit auszulagern und diese von einem Lohnunternehmer erledigen zu lassen. Um zu ermitteln, ab welcher Auslastung der Maschinen sich eine Eigenmechanisierung lohnt, wurde eine Break-Even-Analyse durchgeführt. Entscheidend ist hierbei der sogenannte Break-Even Point. Das ist der Punkt, an dem die Kosten pro Hektar für die Erledigung durch einen Lohnunternehmer genauso hoch sind wie die Kosten pro Hektar bei einer Eigenmechanisierung. Neben der rechnerischen Darstellung der Zusammenhänge ermöglicht die Break-Even-Analyse ebenfalls eine graphische Darstellung, um die Zusammenhänge zu verdeutlichen (MIßLER-BEHR 2001). In diesem Bericht wurden die Kosten für die Eigenmechanisierung aus der KLR genommen. Es wurde für jedes Gerät auf den beiden Modellbetrieben eine Break-Even-Analyse durchgeführt. Verglichen wurden die Kosten mit Lohnunternehmerkosten anhand von Maschinenringdaten nach BHD MR WESTFALEN (2022) und MR LANDSHUT-ROTTENBURG E.V. (2022).

3.6 Treibhausgasbilanz

Treibhausgase stehen im engen Zusammenhang mit der Klimaerwärmung. In einer Treibhausgasbilanz können alle klimawirksamen Emissionen eines Produkts oder eines Produktionsablaufs innerhalb eines Bilanzrahmens erfasst werden. Wichtige und häufig genannte Gase sind hierbei Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Distickstoffmonooxid (N_2O).

Da Methan in der Landwirtschaft vor allem in der Tierhaltung entsteht, spielt dieses Gas in den Berechnungen eine untergeordnete Rolle (UMWELTBUNDESAMT o.J.). Laut BUTTERBACH-BAHL et al. (2010) spielen Lachgas (N_2O) Emissionen im Ackerbau zwar eine größere Rolle, jedoch sind diese von vielen Faktoren abhängig und dadurch schwer zu erfassen. Zudem treten Lachgasemissionen hauptsächlich im Bereich der Düngung auf. Da in diesem Projekt Verfahren zur Unkrautbekämpfung verglichen werden, sind in dieser Kalkulation ausschließlich die CO_2 Emissionen aus der Verwendung von Maschinen, Diesel und PSM von Bedeutung. Dieselverbrauch und die Aufwandmenge der Pflanzenschutzmittel sind dabei aus vorangegangenen Untersuchungen entnommen.

Zur Berechnung werden Emissionsfaktoren benötigt, diese wurden KTBL (2022) entnommen. Beim Herstellen und Verbrennen vom Diesel wird ein Faktor von

3,01 kg CO_{2äq}/l verbrauchten Diesel angesetzt. Für die Maschinen werden die Emissionen abhängig vom Dieserverbrauch des Arbeitsgangs berechnet. Der Faktor ist 0,89 kg CO_{2äq}/l Diesel. Beim Pflanzenschutzmittel werden die Emissionen der Produktion berücksichtigt. Der Faktor beträgt 11,09 kg CO_{2äq}/kg Wirkstoff.

4 Ergebnisse

4.1 Erträge Feldversuch

In Tabelle 6 sind die vom Mähdrescher gemessenen Erträge dargestellt. Die Ergebnisse zeigen den durchschnittlichen Ertrag pro Parzelle hochgerechnet auf einen Hektar. Der Mais wurde in Form von einem Corn Cob Mix (CCM) mit einem Mähdrescher geerntet und wird zur Fütterung von Tieren eingesetzt. Gleichzeitig hat der Mähdrescher während der Ernte die durchschnittliche Feuchtigkeit des Ernteguts ermittelt und aufgezeichnet. Während im Ertrag deutliche Unterschiede zu erkennen sind, fallen die Unterschiede bei der Feuchtigkeit geringer aus.

Versuchsvariante 1 hat mit 93,0 dt/ha den geringsten Ertrag von allen Parzellen. Die betriebsübliche Variante 3 hat mit 118,8 dt/ha den höchsten Ertrag und liegt damit um 22 % höher als der Ertrag in V1.

Tabelle 6: CCM-Ertrag und Feuchtigkeit des Feldversuchs

	V1 Hacke + Striegel	V2 Hacke + Bandspritzung	V3 konv. Flächenapplikation
Feuchtigkeit in %	32,2	30,9	31,9
Ertrag in dt / ha	93,0	111,4	118,8

Die Ertragskartierung (Abbildung 4) zeigt die Verteilung des Ertrags in der gesamten Versuchsparzelle. Die Auswertung ist in relativen Zahlen angegeben, ausgehend von dem Ertrag der jeweiligen Versuchsparzelle (Tabelle 6). Auffällig ist, dass östlich und somit unten am Hang in allen drei Versuchsparzellen der geringste Ertrag aufgezeichnet wurde. Westlich, oben am Hang war der Ertrag in allen Versuchsparzellen am höchsten. Dies ist auf die Bodenart zurückzuführen (LANGSENKAMP 2022). Der Boden ist westlich am Hang aufwärts deutlich schwerer und fruchtbarer und wird hangabwärts immer sandiger. Durch den schwereren und fruchtbareren Boden oben am Hang kann deutlich mehr Wasser gehalten werden. Dies geht einher mit der Ertragskarte.

Ertragskarte CCM

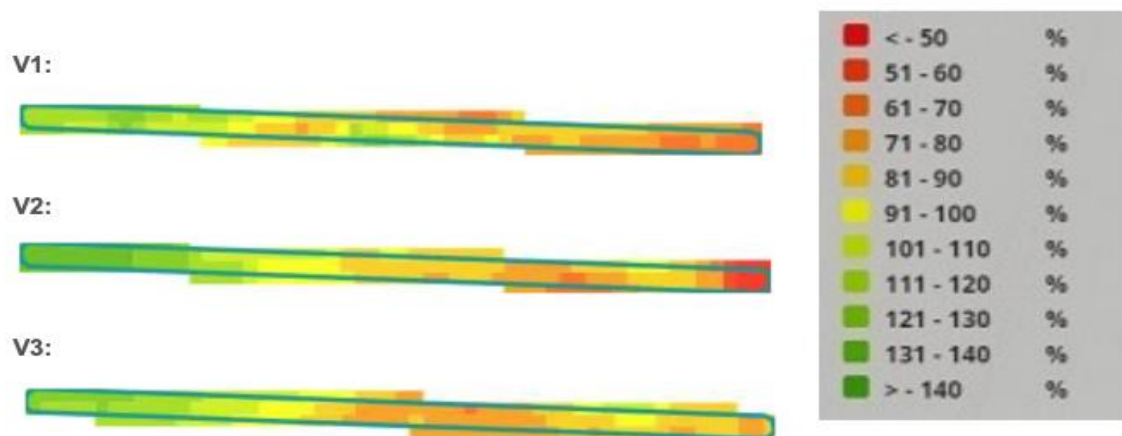


Abbildung 4: Claas Telematics Ertragskartierung

4.2 Ergebnisse Modellbetriebe

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse der KLR mit Unterteilung der einzelnen Betriebe und Varianten dargestellt. Auffällig ist hierbei, dass die Gesamtkosten der Unkrautbekämpfung bei der rein chemische Variante V3 auf allen Betrieben am niedrigsten sind. Es sind aber auch Unterschiede zwischen den Betrieben zu erkennen. So hat der Modellbetrieb Uckermark in jeder Variante die niedrigsten Kosten gegenüber den anderen Betrieben. Modellbetrieb Cloppenburg hat hingegen in den Versuchsvarianten V1 und V2 die höchsten Gesamtkosten pro Hektar für die Unkrautbekämpfung unter allen Betrieben.

Werden nun die Mehrkosten für die Unkrautbekämpfung für die Varianten V1 und V2 gegenüber der chemischen Variante V3 betrachtet, fallen Unterschiede zwischen den Betrieben auf. Während bei dem Modellbetrieb Uckermark die Mehrkosten mit 37 €/ha und 81 €/ha relativ gering ausfallen, sind beim Modellbetrieb Cloppenburg größere Unterschiede zu erkennen. Hier liegen die Mehrkosten für die Variante V1 bei 161 €/ha und für die Variante V2 bei 243 €/ha. Der Versuchsbetrieb Langsenkamp, welcher den Pflanzenschutz ausgelagert hat, liegt bei den Mehrkosten für die Varianten 1 und 2 zwischen den beiden Modellbetrieben Uckermark und Cloppenburg.

Tabelle 7: Ergebnisse der KLR

		Gesamtkosten Unkrautbekämpfung in €/ha	Mehrkosten gegenüber V3 in €/ha	Marktleistung – Kosten für Unkrautbekämpfung in €/ha	Unterschied Gewinn gegenüber V3 in €/ha
Uckermark	V1	122	37	1432	- 469
	V2	167	81	1695	-205
	V3	85	-	1900	-
Cloppenburg	V1	262	161	1292	-592
	V2	344	243	1518	-366
	V3	101	-	1884	-
Langsenkamp	V1	180	76	1374	-507
	V2	241	137	1620	-261
	V3	104	-	1881	-

Da sich die drei Versuchsvarianten auf allen Betrieben nur hinsichtlich des Ertrags bzw. der Marktleistung und den Kosten für die Unkrautbekämpfung unterscheiden, können auch Aussagen zu den Unterschieden im Gewinn getroffen werden. Diese Unterschiede sind in Tabelle 8 dargestellt. Auch hier wird die chemische Pflanzenschutzmaßnahme als Referenzwert genommen. Da hier sowohl die Unterschiede im Ertrag als auch die Kosten der Unkrautbekämpfung berücksichtigt werden, zeigt sich ein anderes Ergebnis als bei der Betrachtung der Gesamtkosten.

Während bei den Gesamtkosten der Unkrautbekämpfung die kombinierte Variante V2 die höchsten Kosten hatte, zeigt sich beim Gewinn die rein mechanische Variante V1 klar als schlechteste. Die Versuchsvariante V1 hat auf dem Modellbetrieb Uckermark einen um 469 € niedrigeren Gewinn als die Variante V3. Auf dem Modellbetrieb Cloppenburg ist der Gewinn in der Variante V1 sogar um 592 € schlechter als in der Variante V3. Hauptgrund für die deutlichen Unterschiede ist der entgangene Gewinn durch Minderertrag der mechanischen Variante.

In der kombinierten Variante V2 sind die Abweichungen im Ertrag gegenüber der chemischen Variante deutlich geringer (Tabelle 7). Dadurch ist der entgangene Gewinn durch Minderertrag in dieser Variante niedriger. Obwohl V2 die höchsten Kosten in der Unkrautbekämpfung hat, fallen die Unterschiede im Gewinn nicht so extrem aus wie in V1. So ist auf dem Modellbetrieb Uckermark der Gewinn in der kombinierten Variante V2 um 205 € niedriger als in V3. Auf dem Modellbetrieb Cloppenburg liegt der

Gewinn in V2 aufgrund von höheren Kosten in der Unkrautbekämpfung um 366 € niedriger als in V3. Der Versuchsbetrieb Langsenkamp liegt bei den Gewinnunterschieden der Varianten im Vergleich zu V3 etwa zwischen den Modellbetrieben Uckermark und Cloppenburg.

4.3 Sensitivitätsanalyse

In den Berechnungen wurde untersucht wie groß die Einflüsse der Parameter Dieselpreis, Lohnansatz und Marktpreis auf den Gewinn sind. Wie in 3.4 Sensitivitätsanalyse beschrieben, wurden dazu die Parameter um 20 % nach oben und um 20 % nach unten verändert. Da sich die Ergebnisse spiegeln wurde in der Grafik das $\Delta 20\%$ verwendet. Die Gewinnveränderung ist bei Veränderung um +20 % und um -20 % die gleiche, nur einmal positiv und einmal negativ.

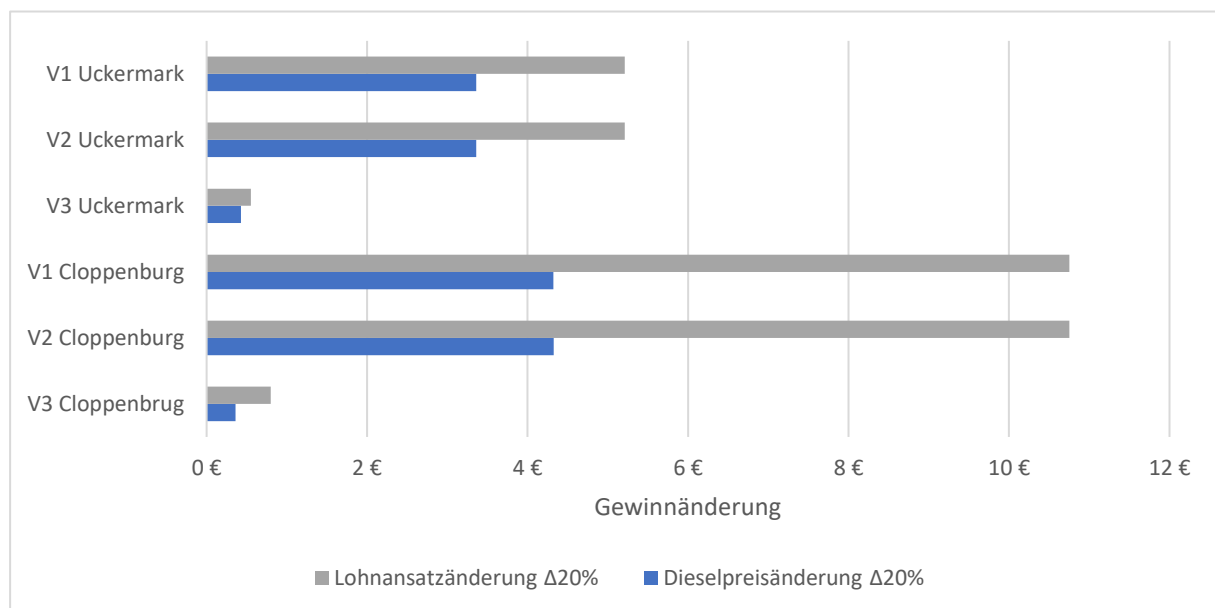


Abbildung 5: Sensitivitätsanalyse Betrieb Uckermark, Cloppenburger Land

In Abbildung 5 ist die Gewinnveränderung in den Betrieben Uckermark und Cloppenburger Land, bei Veränderung des Dieselpreises bzw. des Lohnansatzes zu sehen. In V1 und V2 sind die gleichen Gewinnveränderungen zu entnehmen, da der Dieserverbrauch und die benötigten Arbeitsstunden pro Hektar in beiden Varianten gleich sind. Die Gewinnveränderung in V3 ist bei beiden Parametern geringer als in den anderen beiden Varianten. Das liegt an der großen Schlagkraft der Pflanzenschutzspritze und

den damit verbundenen geringen Dieserverbrauch pro Hektar, sowie den geringen Arbeitszeitbedarf. Insgesamt sind die Gewinnveränderungen beim Parameter Lohnansatz in V1 und V2 bei 5 €/ha im Betrieb Uckermark. Beim Parameter Dieselpreis liegt die Veränderung bei 3 €/ha. In V3 liegen die Gewinnveränderungen durch Veränderung der jeweiligen Parameter bei unter 1 €/ha.

Für den Betrieb im Cloppenburg Land sind die Zusammenhänge vergleichbar mit denen für den Betrieb in der Uckermark (Abbildung 5). Einzig die Gewinnveränderungen fallen größer aus. So ist bei einer Veränderung des Lohnansatzes um 20% in V1 und V2 eine Gewinnänderung von 11 €/ha möglich, während in V3 die Änderung bei unter 1 €/ha liegt. Ändert sich der Dieselpreis um 20 %, führt das in V1 und V2 zu einer Gewinnänderung um 4 €/ha. In V3 führt dies zu einer Gewinnänderung, welche kleiner als 0,50 €/ha ist. Auch hier haben die Schlagkraft der Maschinen in V3 und die damit verbundenen geringeren Diesel und Lohnkosten einen großen Einfluss.

Somit ist zu erkennen, dass der Dieselpreis und auch der Lohnansatz keinen starken Einfluss auf die Gewinnänderung haben.

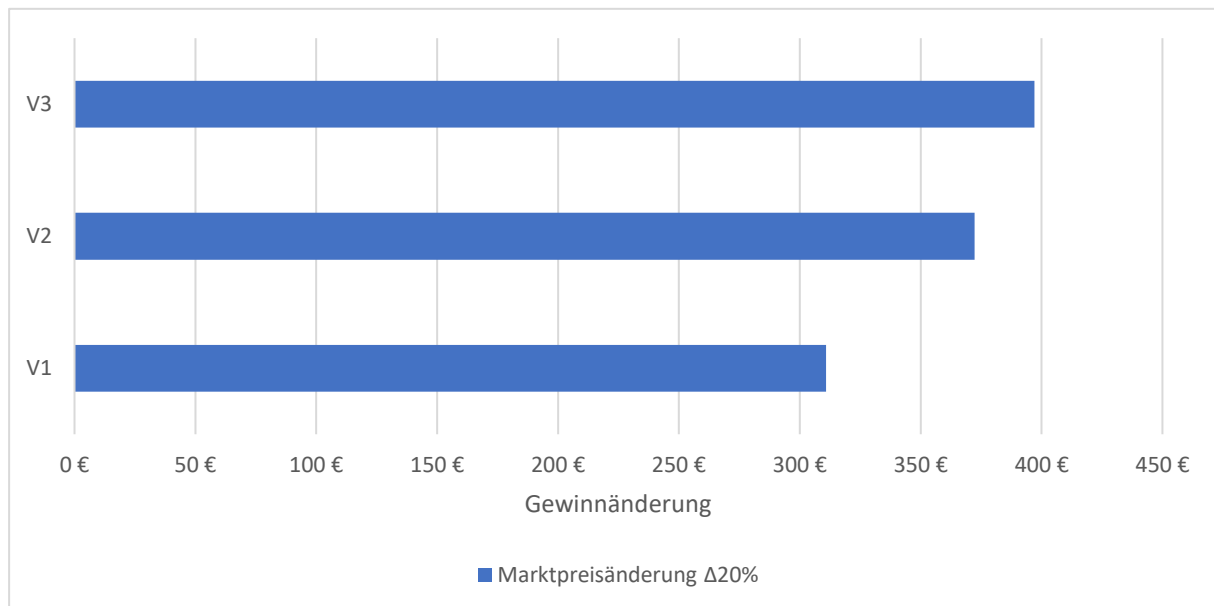


Abbildung 6: Sensitivitätsanalyse Marktpreis Cloppenburg Land

In Abbildung 6 ist die Sensitivitätsanalyse des Parameters Marktpreis für den Betrieb im Cloppenburg Land dargestellt. Ändert sich der Marktpreis um 20 %, so ändert

sich der Gewinn in V3 am stärksten. Er verändert sich um 397 €/ha. V1 hat die geringste Veränderung, mit etwa 310 €/ha. Die geringere Veränderung ist auf den niedrigeren Ertrag in V1 im Vergleich zu V3 zurückzuführen. Damit ist erkennbar, dass der Einfluss des Marktpreises und auch des Ertrags auf die Gewinnänderung deutlich stärker ist als der Einfluss der Parameter Dieselpreis und Lohnansatz.

4.4 Break-Even-Analyse

Die unterschiedlichen Ergebnisse der KLR zwischen den Modellbetrieben und dem Versuchsbetrieb Langsenkamp legen nahe zu untersuchen, wann eine Eigenmechanisierung wirtschaftlich ist.

In den folgenden Abbildungen wird dargestellt, bei welcher Maschinenauslastung die Kosten pro Hektar gleich denen eines Lohnunternehmers sind. Ab jeden weiteren Hektar Auslastung der Maschine ist die Eigenmechanisierung günstiger als die ausgelagerte Arbeit durch einen Lohnunternehmer.

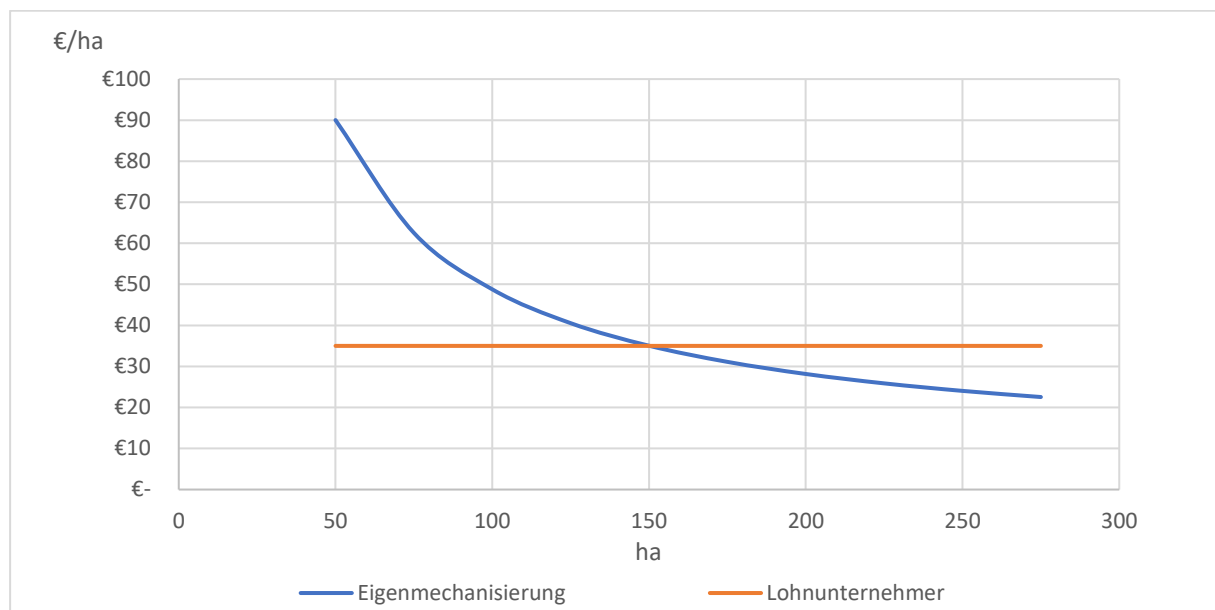


Abbildung 7: Break-Even-Analyse Striegel Uckermark

Die Lohnunternehmerkosten für die Überfahrt mit einem Striegel liegen in Abbildung 7 bei 35 €/ha. Ab einer Auslastung der Maschine von 154 ha/Jahr liegen die Kosten der Eigenmechanisierung ebenfalls bei 35 €/ha. Der Break-Even-Point liegt bei 154 ha Auslastung. Bei einer kalkulierten Auslastung von 600 ha wird dieser Punkt deutlich überschritten. Dadurch liegen die Kosten für die Eigenmechanisierung mit 14 €/ha

deutlich unter dem Lohnunternehmerpreis, sodass eine Eigenmechanisierung sinnvoll ist.

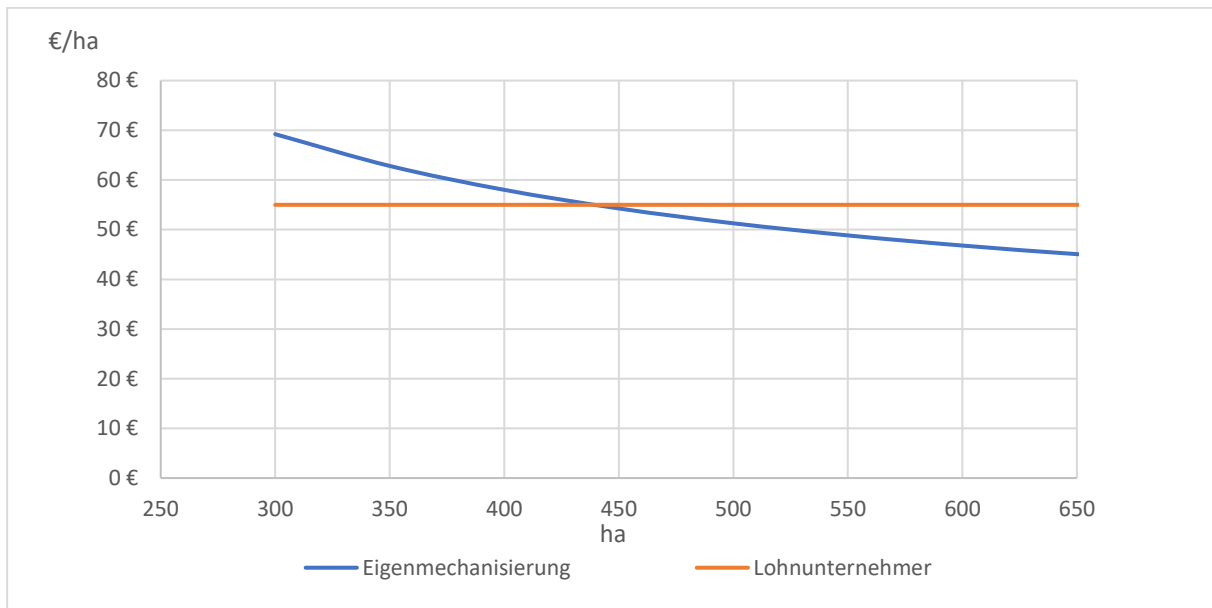


Abbildung 8: Break-Even-Analyse Hacke Uckermark

In Abbildung 8 ist die graphische Darstellung der Break-Even-Analyse für die Hacke im Betrieb Uckermark dargestellt. Dort ist zu erkennen, dass die beiden Kurven sich bei 450 ha schneiden. Ab einer Auslastung von 450 ha im Jahr ist die Eigenmechanisierung der Erledigung durch einen Lohnunternehmer also vorzuziehen. Die Lohnunternehmerkosten belaufen sich auf 55 €/ha. Bei einer kalkulierten Auslastung der zwei Hacken im Modellbetrieb Uckermark von insgesamt 600 ha/Jahr liegt der Betrieb bei 47 €/ha für eine Überfahrt. Damit sind die Kosten pro Hektar niedriger als die des Lohnunternehmers, sodass eine Anschaffung der Hacken sinnvoll wäre.

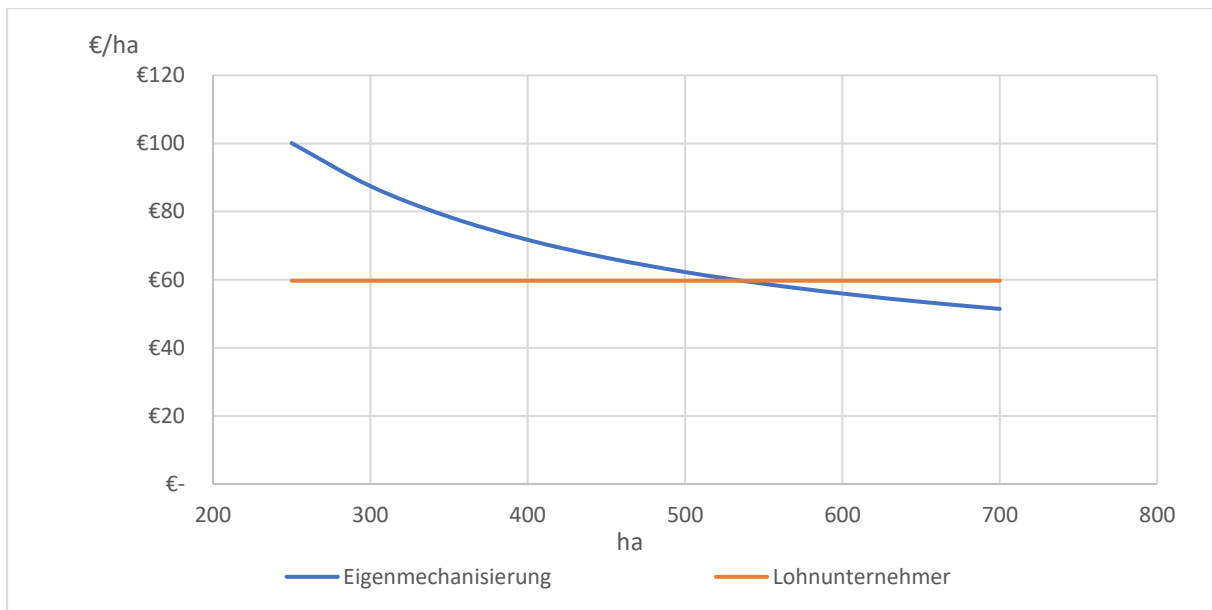


Abbildung 9: Break-Even-Analyse Hacke + Bandspritze Uckermark

Die Kosten für die Überfahrt der Hacke mit Bandspritzung von einem Lohnunternehmer belaufen sich auf 60 €/ha. Der Break-Even-Point zwischen den Lohnunternehmerkosten und den Kosten für die Eigenmechanisierung liegt bei 544 ha/Jahr (Abbildung 9). Die kalkulierte Auslastung im Betrieb liegt bei 600 ha/Jahr. Diese überschreitet den Punkt, somit liegen die Kosten der Eigenmechanisierung mit 56 €/ha unter den Lohnunternehmerkosten.

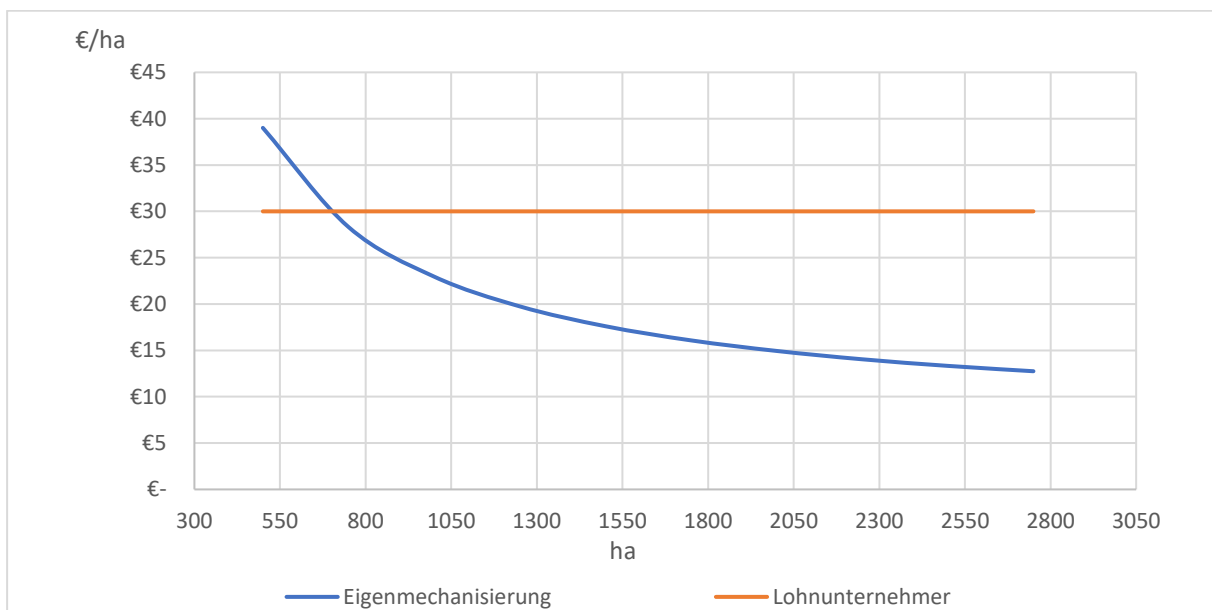


Abbildung 10: Break-Even-Analyse Pflanzenschutzspritze Uckermark

Die Break-Even-Analyse der Pflanzenschutzspritze im Betrieb Uckermark ist in Abbildung 10 zu sehen. Der Break-Even-Point liegt hier bei 693 ha/Jahr. Die Auslastung im Betrieb liegt bei 3900 ha/Jahr, da der Einsatz auf die gesamte Ackerfläche kalkuliert wurde. Dementsprechend liegen die kalkulierten Kosten mit 11 €/ha deutlich unter den Lohnunternehmerkosten von 30 €/ha.

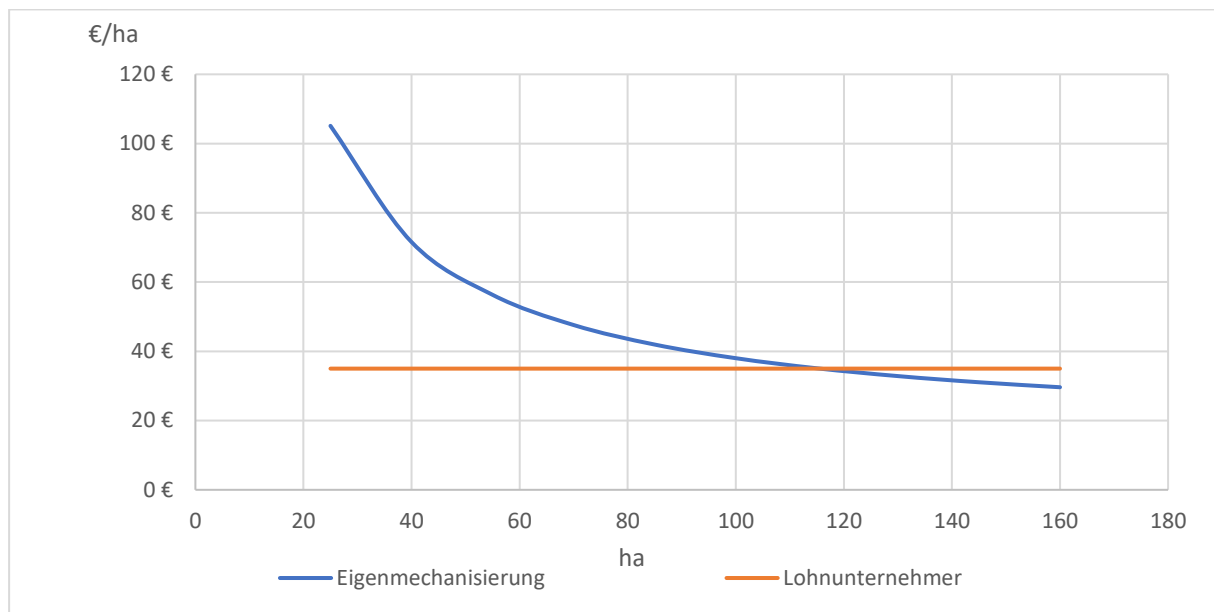


Abbildung 11: Break-Even-Analyse Striegel Cloppenburg Land

Die kalkulierte Auslastung im Betrieb Cloppenburg Land für den Striegel liegt bei 100 ha/Jahr. Die Lohnunternehmerkosten liegen bei 35 €/ha. Der Break-Even-Point liegt bei einer Auslastung von 117 ha/Jahr (Abbildung 11). Da die jährliche Auslastung der Eigenmechanisierung niedriger ist, sind die kalkulierten Kosten einer Überfahrt mit 38 €/ha teuer als die Lohnunternehmerkosten. Deswegen ist es ökonomisch sinnvoller diesen Arbeitsgang auszulagern.

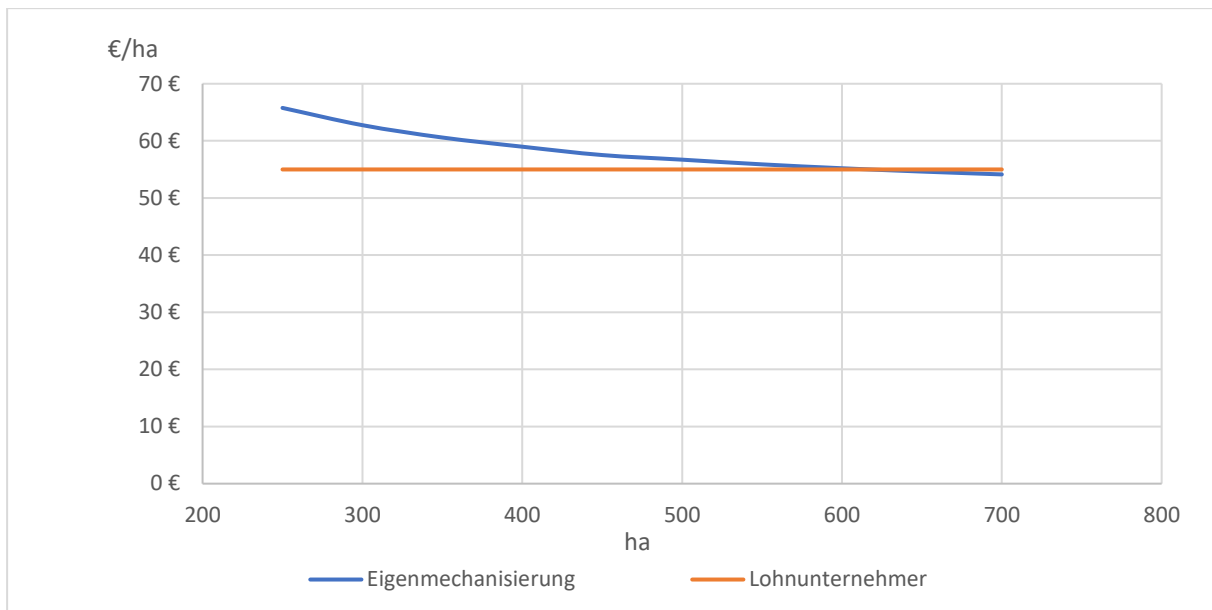


Abbildung 12: Break-Even-Analyse Hacke Cloppenburg Land

Die Break-Even-Analyse für die Hacke im Betrieb Cloppenburg Land ist in Abbildung 12 dargestellt. Die Lohnunternehmerkosten liegen bei 55 €/ha. Bei einer kalkulierten Auslastung von 100 ha/Jahr kostet eine Überfahrt 93 €/ha. Ab einer jährlichen Auslastung von 604 ha liegen die Kosten der Eigenmechanisierung ebenfalls bei 55 €/ha. Daraus folgend ist eine Eigenmechanisierung nicht sinnvoll.

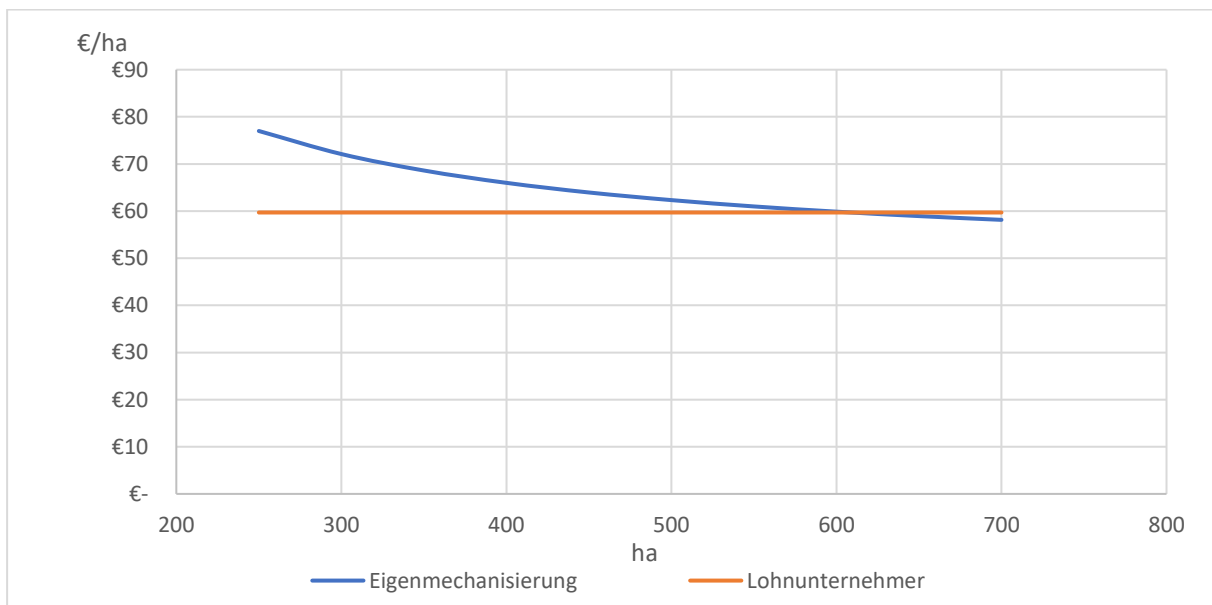


Abbildung 13: Break-Even-Analyse Hacke + Bandspritze Cloppenburg Land

Bei der Hacke mit Bandspritzung liegen die Lohnunternehmerkosten bei 60 €/ha. Der Break-Even-Point ist ab einer jährlichen Auslastung von 602 ha erreicht (Abbildung 13)

Die kalkulierte Auslastung im Betrieb liegt bei 100 ha/Jahr. Diese liegen unterhalb der Auslastungsschwelle des Break-Even-Points. Somit sind die Kosten von 121 €/ha für eine Überfahrt teurer als die Lohnunternehmerkosten. Daraus lässt sich schließen, dass eine Eigenmechanisierung der Hacke + Bandspritze wirtschaftlich nicht interessant ist.

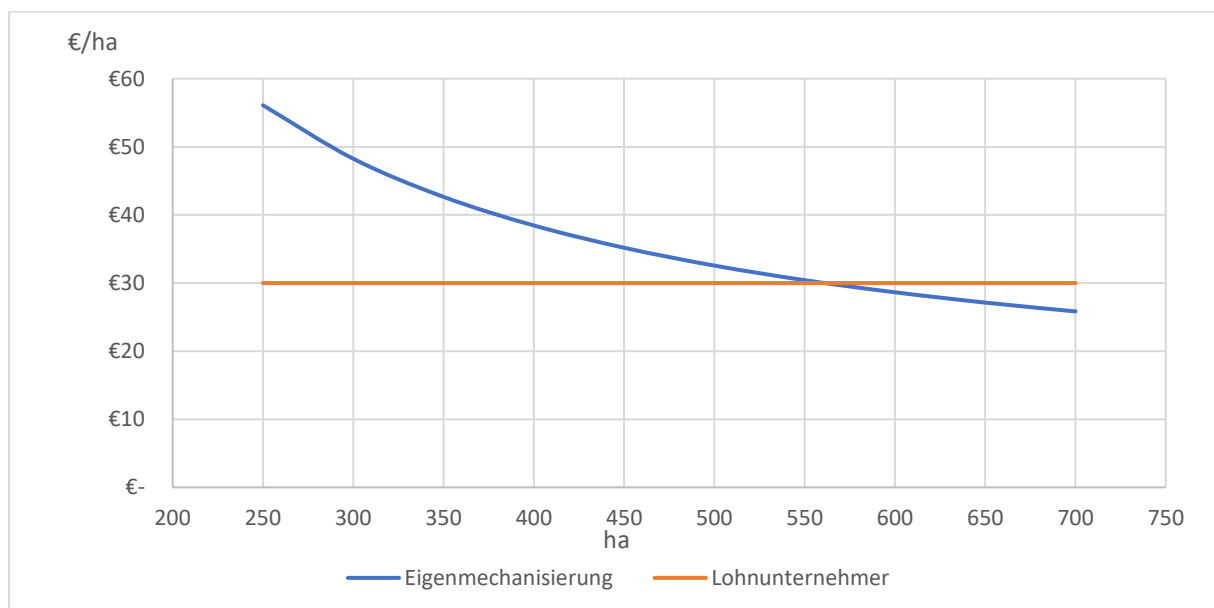


Abbildung 14: Break-Even-Analyse Pflanzenschutzspritze Cloppenburg Land

Die Lohnunternehmerkosten für eine Überfahrt mit der Pflanzenschutzspritze im Betrieb Cloppenburg Land betragen 30,00 €/ha. Der Break-Even-Point für diesen Arbeitsgang liegt bei einer jährlichen Auslastung von 566 ha (Abbildung 14). Die Pflanzenschutzspritze im Betrieb wurde mit einer Auslastung von 650 ha/Jahr kalkuliert. Somit ist diese über dem Break-Even-Point und die Kosten für eine Überfahrt bei Eigenmechanisierung liegen bei 27 €/ha. Daraus lässt sich schließen, dass eine Eigenmechanisierung in diesem Bereich sinnvoll ist.

4.5 Treibhausgasbilanz

Zur Berechnung wurden die Werte für den Dieserverbrauch und die Aufwandmengen für Pflanzenschutzmittel aus vorangegangenen Untersuchungen, sowie die entsprechenden Emissionsfaktoren aus Kapitel 3 Material und Methoden herangezogen. In Tabelle 8 sind die anfallenden Mengen an CO_{2äq} pro Hektar der einzelnen Maßnahmen angegeben. Am meisten Emissionen fallen bei der Hacke mit Bandspritze an. Bei einer Überfahrt mit dem Striegel werden die wenigsten Treibhausgase emittiert. Beim Striegeln, Hacken und Hacken mit Bandspritze ist der Dieserverbrauch der größte Faktor für die Emissionen. Einzig bei der Herstellung des Pflanzenschutzmittels für die chemische Komplettapplikation entstehen deutlich mehr Emissionen als durch das Herstellen und Verbrennen des Diesels

Tabelle 8: Emissionen der einzelnen Arbeitsschritte

	Striegeln	Hacken	Hacke + Bandspritze	Chem. Komplettapplikation
Dieserverbrauch (l/ha)	2,92	5,56	5,56	0,93
Emissionen Diesel (kg CO_{2äq}/ha)	8,80	16,75	16,75	2,80
Emissionen Maschine (kg CO_{2äq}/ha)	2,58	4,92	4,92	0,82
Pflanzenschutzmittel (kg Wirkstoff/ha)	0	0	0,371	1,06
Emissionen Pflanzenschutzmittel (kg CO_{2äq}/ha)	0	0	4,62	11,75
Summe	11,38	21,67	26,29	15,37

Anhand der Daten für Dieserverbrauch und Pflanzenschutzmittelaufwand aus dem vorherigen Projektbericht wurden für die verschiedenen Varianten des Versuches Treibhausgasbilanzen erstellt. Die Emissionen schwanken unter den drei Varianten erheblich. In V3 werden 15,37 kg CO_{2äq}/ha und in V1 werden 87,77 kg CO_{2äq}/ha verursacht. V2 liegt dazwischen, aber deutlich näher an V1, mit 70,81 kg CO_{2äq}/ha (Tabelle 9). Die deutlich höheren Emissionen in V1 und in V2 werden durch die häufigeren Überfahrten verursacht. Auch sind die Maschinen der mechanischen Unkrautregulierung nicht so

schlagkräftig wie die Pflanzenschutzspritze mit einer Arbeitsbreite von 30 Metern. Dementsprechend wird auch mehr Diesel pro Hektar verbraucht und die Emissionen steigen. Der Unterschied zwischen V1 und V2 ist auf darauf zurückzuführen, dass in V1 drei Überfahrten mit der Hacke erfolgten. In V2 wurde einmal gehackt und ein weiteres Mal eine kombinierte Maßnahme aus Hacke und Bandspritze durchgeführt. Dadurch entstehen in V2 zusätzlich Emissionen durch die Anwendung der Pflanzenschutzmittel.

Werden die Emissionen der einzelnen Arbeitsgänge betrachtet, fällt auf, dass zweimal Striegeln etwa genauso viele kg CO_{2äq}/ha verursacht wie eine Überfahrt mit der Hacke. Das liegt an der größeren Flächenleistung des Striegels, bedingt durch die größere Arbeitsbreite.

Tabelle 9: Emissionen der einzelnen Verfahren

	V1	V2	V3
	Emissionen (kg CO _{2äq} /ha)		
Striegeln	22,76	22,76	0,00
Hacken	65,01	21,67	0,00
Hacken mit Bandspritzung	0,00	26,29	0,00
Chem. Komplettapplikation	0,00	0,00	15,37
Summe Emissionen	87,77	70,81	15,37

5 Diskussion

5.1 Einfluss der Unkrautregulierung auf den Ertrag

Mais ist in seiner Jugendentwicklung äußerst konkurrenzschwach gegenüber Unkrautern, weshalb der Erfolg der Unkrautregulierung maßgeblich für den Ertrag ist (MÜCKE 2019). Dies zeigt auch der Feldversuch, da der erhöhte Unkrautbestand in V1 gegenüber V2 und V3 zu einem erkennbaren geringeren Ertrag führte. Der Ertrag in V1 lag 25,8 dt/ha unter dem Ertrag von V3. Auch in V2 ist der Unkrautbesatz erhöht gegenüber V3. Hier zeigt sich ein Ertragsunterschied von 7,4 dt/ha (Abbildung 1 und Tabelle 6).

Die Versuche von SPYCHER et al. (2020) in Abbildung 15 zeigen allerdings ein anderes Bild. Zwar wurde hier der Silomaisertrag dargestellt und eine wendende Bodenbearbeitung durchgeführt, jedoch sind die Erträge bei mechanischer Unkrautbekämpfung in Form von Hacke und Striegel und Herbizideinsatz hier fast gleich. Denkbar ist, dass der Erfolg der mechanischen Unkrautbekämpfung höher war und somit die Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe durch Verunkrautung geringer war. Der Erfolg der mechanischen Unkrautbekämpfung ist stark von der Witterung abhängig (MÜCKE 2019; WEGENER 2020). Der Versuch von SPYCHER et al. (2020) zeigt, dass sich dieselben Erträge realisieren lassen, wie bei der konventionellen chemischen Unkrautregulierung. Im Jahr 2022 ergab sich im Witterungsverlauf eine starke Sommertrockenheit, die die Konkurrenz von Unkraut und Kulturpflanze um Wasser und Nährstoffe noch bedeutsamer machte. Durch den zu späten Einsatzzeitpunkt der zweiten Hackmaßnahme in V1 und dem Niederschlag stieg der Unkrautbestand wieder stark an. Der Unkrautbesatz war vorwiegend in der Reihe zu finden. In V2 konnte der mangelnde Erfolg der Hacke durch das Herbizidband kompensiert werden.

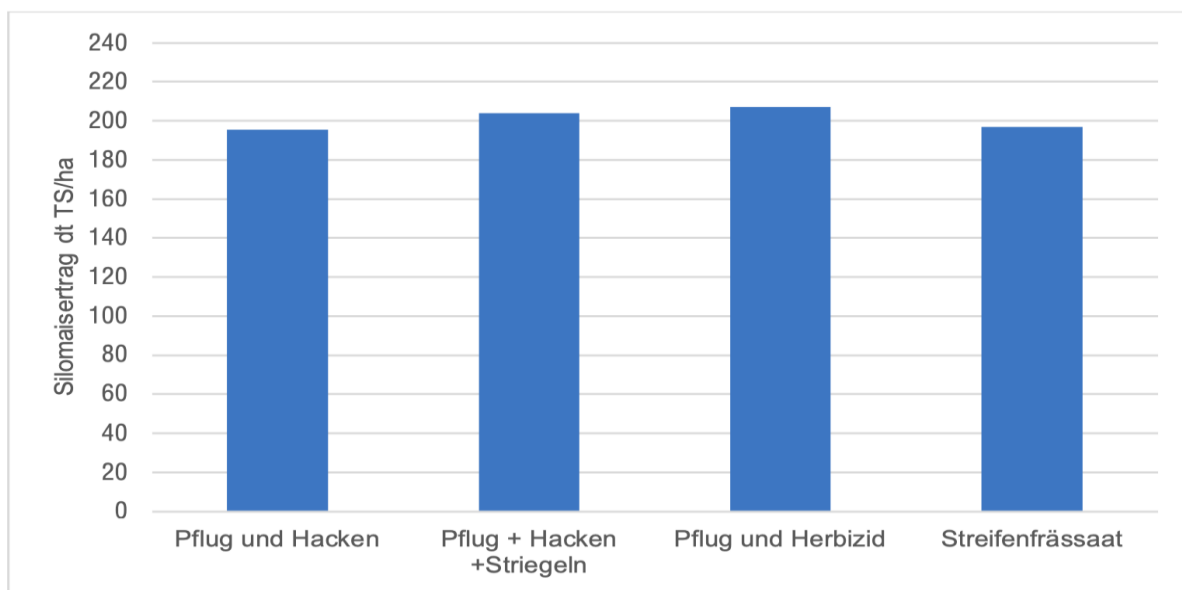


Abbildung 15: Silomaiserttrag bei mechanischer Unkrautregulierung (SPYCHER et al. 2020)

Eine große Herausforderung stellen aber auch die kurzen Bearbeitungsfenster in der mechanischen Unkrautbekämpfung dar. Diese entstehen vor allem durch die Anforderungen an die oben genannte Witterung. Hinzu kommt, dass die Flächenleistung von Striegel und Hacke deutlich niedriger ist als die einer Pflanzenschutzspritze. Deshalb ist gerade bei mechanischen Geräten darauf zu achten, dass Arbeitsbreite und Flächenleistung so gewählt werden, dass die Anbaufläche in wenigen Tagen zu bearbeiten ist (KLOEPFER 2019).

Tabelle 10 zeigt die verfügbaren Feldarbeitstage pro Halbmonat in den jeweiligen Klimagebieten der Versuchs- bzw. Modellbetriebe. Diese sind eine wichtige Kenngröße, um die Bearbeitungsfenster für die Pflanzenschutzmaßnahmen abschätzen zu können. Außerdem wurden diese Zahlen auch zusammen mit der Auslastung bei der Maschinenausstattung der Modellbetriebe berücksichtigt. So ergeben sich für den Modellbetrieb Cloppenburg Land auf einem leichten Boden für die zweite Mai Hälfte zwölf Feldarbeitstage. Wird nun zusätzlich angenommen, dass mit der vierreihigen Hacke täglich acht Stunden gehackt wird und die Flächenleistung bei 1,1 ha/h liegt, könnten maximal 105 ha innerhalb der zweiten Mai Hälfte bearbeitet werden. Da die 50 ha Anbaufläche insgesamt zweimal gehackt werden ist die Gesamtfläche bei 100 ha. Demnach ist die Größe der Hacke passend. Zusätzlich stehen auch noch die Feldarbeits-

tage des Monats Juni für die Hacke zur Verfügung, um weitere Unkrautregulierungsmaßnahmen durchführen zu können. Auch auf dem Modellbetrieb in der Uckermark ist es möglich mit den beiden Hacken, die eine Flächenleistung von 4,72 ha/h aufweisen, die gesamte Maisanbaufläche innerhalb der verfügbaren Feldarbeitstage zu bearbeiten.

Tabelle 10: Anzahl verfügbarer Feldarbeitstage (verändert nach KLOEPFER 2019, ACHILLES et al. 1999)

Klimagebiet	5 Langsenkamp		6 Cloppenburg Land		7 Uckermark	
Bodenart	leicht	mittel	leicht	mittel	leicht	mittel
Halbmonat	Anzahl verfügbarer Feldarbeitstage					
Mai 1	10	6	11	7	13	12
Mai 2	11	7	12	8	14	13
Juni 1	11	7	11	8	13	12
Juni 2	11	6	11	8	13	12

5.2 Unkrautbekämpfungskosten

Neben dem Erfolg der Unkrautregulierung ist die Wirtschaftlichkeit der unterschiedlichen Maßnahmen eine entscheidende Größe für die Wahl der Unkrautregulierungsmaßnahme. Aus dem Versuch ging hervor, dass in beiden Modellbetrieben und dem Versuchsbetrieb Langsenkamp die konventionelle, chemische Komplettapplikation mit der Pflanzenschutzspritze die wirtschaftlichste Variante darstellt. Die kostenintensivste Maßnahme stellt die Bandspritzung dar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Anschaffungskosten einer Hacke mit Bandspritzeinrichtung rund 25.000 € teurer sind als eine Hacke ohne dieser Zusatzausstattung. Die kalkulierten Größen in der KLR stehen im Verhältnis mit der Literatur in Tabelle 11. SPYCHER et al. (2020) hatten im Vergleich die höchsten Kosten, die jedoch auch in CHF/ha angegeben sind. Der prozentuale Anstieg ausgehend von der chemischen Nachauflaufbehandlung ist jedoch mit den Ergebnissen des Modellbetriebes Cloppenburg ähnlich. Abweichungen zeigt der Modellbetrieb Uckermark, der einen deutlich geringeren relativen Anstieg der Kosten der mechanischen Unkrautregulierung ausgehend von der chemischen Komplettapplika-

tion hat. Dies ist auf die hohe Auslastung der Maschinen zurückzuführen, die der Betrieb Cloppenburg nicht aufweist. KLOEPFER (2019) hat jedoch die höchsten Kosten bei der Herbizidvariante. Es zeigt sich, dass die Intensität der Kostenunterschiede hinsichtlich der Unkrautregulierungsmaßnahme stark betriebsabhängig ist und immer eine Einzelbetriebswertung durchgeführt werden muss. Faktoren wie der Anschaffungspreis, Auslastung und Nutzungsdauer haben Einfluss auf die Kosten für die jeweilige Unkrautregulierungsmaßnahme. Auch die Flächenleistung übt sich stark auf diese Kosten aus.

Der Einfluss auf die Gewinnänderung hat die Sensitivitätsanalyse ergeben (siehe 4.3 Sensitivitätsanalyse). So haben Lohnansatz und Dieselpreis weniger Einfluss auf die Gewinnänderung. Ertrag und Marktpreis haben hingegen einen starken Einfluss auf die Gewinnänderung. Hierdurch wird noch mal die Bedeutsamkeit der erfolgreichen Unkrautregulierung, die sich erkenntlich auf den Ertrag ausübt, deutlich.

Tabelle 11: Kosten Unkrautbekämpfungsmaßnahmen (verändert nach SPYCHER et al. 2020)

CHF/ha (Quelle) bzw. €/ha	Herbizid NA in €/ha	2 x Hacken in €/ha	1 x Striegeln 2 x Hacken in €/ha
KLOEPFER 2019 verändert mit 74,20 €/ha PSM- Kosten	79,20	48 (-31) -40%	68 (-11) -14 %
SPYCHER et al. 2020 verändert mit 74,20 €/ha PSM-Kosten	131,22	211 (+80) +62 %	263 (+132) +101 %
Kosten Unkrautbekämpfung Betrieb Uckermark	85,23	93 (+8) +10 %	108 (+22) +27 %
Kosten Unkrautbekämpfung Betrieb Cloppenburg	101,33	155 (+54) +54 %	193 (+92) +91 %

Die Erträge bei rein mechanischer Unkrautregulierungsmaßnahme können laut SPYCHER et al. (2020) auf dem Niveau der konventionellen chemischen Unkrautregulierungsmaßnahme liegen. Nimmt man gleiche Erträge an und sind die Kosten bis zum Pflanzenschutz, also für Aussaat Düngung und Bodenbearbeitung auch identisch, dann würden nur die Kosten für die Unkrautregulierungsmaßnahmen einen Unter-

schied im Gewinn ausmachen. Wenn der Betrieb Uckermark am 6. Eco-Scheme teilnimmt und damit komplett auf chemischen Pflanzenschutz verzichtet, würde dem Betrieb eine Förderung von 130 €/ha zustehen (LWK NIEDERSACHSEN 2022). V2 würde in diesem Fall wegfallen. Aber die Mehrkosten für die Unkrautregulierung in V1 gegenüber V3 betragen 37 €/ha. Somit wäre V1 in diesem Fall um 93 €/ha besser als V3. Dann wäre im Betrieb Uckermark V1 wirtschaftlich betrachtet die deutlich bessere Alternative zu V3.

Im Cloppenburg Land gibt es Wasserschutzgebiete, dort ist der OOWV zuständig. Hier bestünde die Möglichkeit eine Förderung von 60 €/ha zu beantragen und damit dann auf ein Bodenherbizid im Maisanbau zu verzichten (OOWV 2022). Bei gleichen Erträgen und ansonsten gleichen Kosten bis zur Unkrautregulierung wäre V1 dann noch 101 €/ha teurer als V3. In V2 würde dann ein Blattherbizid eingesetzt werden. Diese Variante wäre in diesem Fall 183 €/ha teurer als V3. Da es über Förderungen von Seiten der Wasserverbände in der Uckermark keine Informationen gibt, wurde eine solche Förderung nicht berücksichtigt. Da aber auch der Betrieb im Cloppenburg Land an dem 6. Eco-Scheme teilnehmen kann, wäre eine summierte Förderung von 190 €/ha möglich. Dann würde ebenfalls V2 als Variante wegfallen, da nun komplett auf chemischen Pflanzenschutz verzichtet werden muss. V1 wäre in diesem Fall aber 29 €/ha günstiger in der Unkrautregulierungsmaßnahme und somit auch 29 €/ha höher im Gewinn als V3. Dies liegt an der Annahme von gleichen Erträgen in allen Varianten, sowie gleichen Kosten bis zur Unkrautregulierung. Dementsprechend wäre in diesem Fall V1 wirtschaftlich betrachtet V3 vorzuziehen.

5.3 Schwelle der Eigenmechanisierung

Anhand Kapitel 4.4 Break-Even-Analyse wird deutlich, dass eine ausreichende Auslastung der Maschinen nicht immer gegeben ist. Gerade in kleineren Betriebsstrukturen mit weniger Nutzungsumfang der Maschine pro Jahr, ist es schwierig die Kosten der Maschine pro Hektar gering beziehungsweise unter den Lohnunternehmerpreisen zu halten. Dies zeigt auch der Betrieb Cloppenburg Land. Trotz der 50 ha Maisanbaufläche und der kleinen vierreihigen Hacke, schafft es der Betrieb in der Auslastung nicht unter die Schwelle des Lohnunternehmerpreises. Auch der Striegel bleibt für den Betrieb Cloppenburg in der Kalkulation unwirtschaftlich. Für den Betrieb Uckermark hingegen, ist die Eigenmechanisierung von Hacke und Striegel ökonomisch sinnvoll,

obwohl die Maschinen in den Anschaffungskosten aufgrund ihrer größeren Arbeitsbreite höher sind. Neben den Anschaffungskosten ist die Flächenleistung ein entscheidender Faktor für den Break-Even-Point. Die durchschnittliche Flächenleistung ergibt sich unter anderem aus der Arbeitsbreite des Geräts und der Flächenstruktur, welche in der Region des Betriebs Uckermark deutlich höher sind. Dadurch können die Kosten pro Hektar reduziert werden, die in der Region Cloppenburg aufgrund der kleineren Flächenstruktur nicht realisierbar sind. Zusätzlich wurden für beide Betriebsstrukturen dieselben Lohnunternehmerkosten kalkuliert, wodurch der Wert des Break-Even-Points ausschließlich von den Kosten der Eigenmechanisierung abhängig ist. Durch einen niedrigeren Lohnunternehmerpreis beim Betrieb Uckermark würde sich der Break-Even-Point zum Nachteil der Eigenmechanisierung verschieben. Die Rentabilität der Eigenmechanisierung sinkt und kann nur beibehalten werden, wenn die Maschinenauslastung steigt.

Neben dem quantitativen Schwellenwert, der sich aus der Break-Even-Analyse ergibt, existiert auch immer ein qualitativer Schwellenwert bei dem Betriebsleiter. Dieser liegt jedoch im Ermessen des Betriebsleiters. Wird der Break-Even-Point nicht erreicht, aber der Betriebsleiter entscheidet sich doch für eine Eigenmechanisierung, führt dies zu einer Gewinnminderung aber auch gleichzeitigen Risikoreduktion. Die Risikoreduktion entsteht durch vollkommene Entscheidungsmacht seitens des Betriebsleiters. Somit kann dieser die engen Zeitfenster seiner Meinung nach zur mechanischen Unkrautregulierung optimal nutzen, da er unabhängig handeln kann.

5.5 Erhöhte Treibhausgasemissionen der mechanischen Varianten

Die Ergebnisse der Treibhausgasbilanzierung zeigen, dass durch mechanische Unkrautbekämpfung deutlich mehr CO₂ Emissionen entstehen als bei einer einmaligen chemischen Komplettapplikation (Tabelle 9). Die höheren Emissionen in den Varianten V1 und V2 kommen dabei vor allem durch die erhöhte Zahl an Überfahrten zustande. Bei mechanischer Unkrautbekämpfung sind mehrere Überfahrten allerdings für eine Erfolgreiche Unkrautbekämpfung notwendig. Folglich sind hauptsächlich die Emissionen der Diesel Herstellung und Verbrennung für die höheren CO₂ Emissionen verantwortlich.

Diese Ergebnisse legen nahe auf Basis der CO₂ Emissionen den chemischen Pflanzenschutz zu favorisieren. Jedoch steht diese Erkenntnis im Gegensatz zum Herbizid

Einsatz im Wasserschutzgebiet. Bei gewissen Wirkstoffen besteht die Gefahr der Auswaschung von deren Metaboliten (BVL o.j.). Aufgrund dessen steht der Herbizideinsatz in der Kritik.

6 Fazit

Rein wirtschaftlich betrachtet ist die chemische Variante V3 das günstigste Verfahren zur Unkrautbekämpfung bei gleichzeitig höchstem Ertrag und somit höchstem Markterlös. Durch Einsatz von Hacke oder Striegel entstehen höhere Kosten zur Unkrautbekämpfung, welche hauptsächlich durch die erhöhte Anzahl an Überfahrten entstehen. Dabei hat die kombinierte Variante V2 die höchsten Kosten für die Unkrautbekämpfung.

Werden nun allerdings die Erträge aus den Feldversuchen für die Varianten mit in Betracht gezogen, fällt auf, dass mit zunehmendem Verzicht auf chemische Pflanzenschutzmittel die Erträge sinken. Dabei hat die kombinierte Variante V2 allerdings einen deutlich höheren Ertrag als die rein mechanische Variante V1. Unter Berücksichtigung von Erträgen und den Kosten für die Unkrautbekämpfung schneidet die chemische Variante V3 klar am besten ab. Anschließend folgt die kombinierte Variante V2. Die mechanische Variante V1 hat aufgrund des Minderertrags einen niedrigeren Erlös als die betriebsübliche Variante V3. In einer Sensitivitätsanalyse wurde festgestellt, dass der Marktpreis einen hohen Einfluss auf den Gewinn in allen Varianten hat. Dem entsprechend beeinflussen auch die geringeren Erträge in den Varianten V1 und V2 den Gewinn.

Diese Ergebnisse zeigen, dass ein ökonomischer Anreiz zum Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz nur durch Ausgleichszahlungen und Förderungen zu realisieren ist. Hierzu werden unterschiedliche Förderprogramme angeboten, die teilweise regionsabhängig sind oder an Auflagen gebunden sind. Nach den Kalkulationen in diesem Projektbericht sind die Förderungen und Ausgleichszahlungen allerdings nicht immer ausreichend, um den entgangenen Gewinn gegenüber der betriebsüblichen Variante V3 auszugleichen.

Auch unter den einzelnen Modellbetrieben zeigen sich Unterschiede. So ist der Modellbetrieb Uckermark bezüglich der Unkrautbekämpfungskosten pro Hektar in allen drei Varianten günstiger als der Modellbetrieb Cloppenburg Land. Der Versuchsbetrieb Langsenkamp mit der Auslagerung des Pflanzenschutzes liegt in allen Varianten zwischen den beiden Modellbetrieben. Diese Erkenntnis zeigt wie wichtig eine hohe Auslastung und Flächenleistung der Geräte bei einer Eigenmechanisierung sind. Jedoch können die kurzen Bearbeitungsfenster und die höhere Flexibilität dennoch für

eine Eigenmechanisierung sprechen. Dies bestätigt auch der Betriebsleiter des Versuchsbetriebs, welcher vor allem den hohen Arbeitsaufwand bei gleichzeitig engen Bearbeitungsfenstern als Herausforderung der mechanischen Unkrautbekämpfung sieht (LANGSENKAMP 2022).

Werden die drei Versuchsvarianten angesichts des Grundwasserschutzes betrachtet, so ist die mechanische Unkrautbekämpfung den Varianten V2 und V3 vorzuziehen. Da bei der mechanischen Unkrautbekämpfung keine Herbizide ausgebracht werden, entstehen keine Metaboliten, welche ins Grundwasser ausgewaschen werden können. Ein Kompromiss zwischen Ökonomie und Grundwasserschutz kann die kombinierte Variante V2 sein, da der Herbizideinsatz hier deutlich reduziert ist. Werden allerdings die gesamten Umweltwirkungen der Varianten betrachtet, fallen auch die Treibhausgasemissionen ins Auge. Diese stehen jedoch im starken Kontrast zu den Ergebnissen des Grundwasserschutzes. Da die CO₂ Emissionen in der mechanischen Variante V1 um ein Vielfaches höher sind als bei der chemischen Variante V3, müssen beim Umweltschutz Präferenzen gefunden oder Kompromisse eingegangen werden.

7 Literaturverzeichnis

- ACHILLES, W.; DE BAEY-ERNSTEN, H.; FRISCH, J.; FRITZSCHE, S.; FRÖBA, N.; FUNK, M.; GRIMM, E.; HARTMANN, W.; KLOEPFER, F.; SAUER, N.; SCHWAB, M.; SIEGEL, F.; WEIERSHÄUSER, L.; WITZE, E. (1999): Verfügbare Feldarbeitstage. In: KTBL (Hrsg.) „Betriebsplanung 1999/2000“. Reinheim: Druckerei Lokay, 253-257).
- AMAZONE (o.J.): Pflanzenschutz der Zukunft wird sich ändern müssen. <https://amazonzone.net/de/planen-wirtschaften/wirtschaften/intelligenter-pflanzenbau/artikel/pflanzenschutz-der-zukunft-wird-sich-aendern-muessen-42954> (Zugriff am 08.06.2022).
- BARUFKE, K.-P.; BERTHOLD, G.; BÖRKE, P.; BURUCKER, G.; HILLIGES, F.; JANKOWSKI, A.; NEUMANN, P.; STRAUS, G.; WOLTER, R.; WOLTERS, W. (2019): Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit, Gotha: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser.
- BBODSCHG (2017): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes- Bodenschutzgesetz – BbodSchG) vom 01. März 1991 BGBl. I S. 502, zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 27. September 2017. BGBl. I S. 3465, 3505.
- BERGMANN, E., MEINLSCHMIDT, E., SCHRÖDER, G., BÄR, H., PITTORF, I. (2007): Der gezielte Einsatz von reduzierten Aufwandmengen herbizider Tankmischungen in Mais – ein Beitrag zur Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes in der landwirtschaftlichen Praxis. Gesunde Pflanzen 59, 127-139.
- BHD MR WESTFALEN (2022): Erfahrungssätze für Maschinenring – Arbeiten unter Landwirten. <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/beratung/pdf/erfahrungssaetze-wl.pdf> (Zugriff am 04. Dez. 2022).
- BMEL (o.J.): Pflanzenschutz. https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/pflanzenschutz/pflanzenschutz_node.html (Zugriff am 08. Dez. 2022).
- BNATSCHG (2021): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG) vom 29. Juli 2009. BGBl. I S. 2542, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021. BGBl. I S. 3908.

BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (o. J.): Anwendungsbeschränkungen für bestimmte Pflanzenschutzmittel zum Schutz von Grundwasservorkommen, die zur Trinkwassergewinnung herangezogen werden. https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/ExterneLinks/04_Pflanzenschutzmittel/Rechtsgrundlagen/01_eu/psm_Anwendungsbeschaenkung_node.html (Zugriff am 02.05.2022).

BUNDESFINANZMINISTERIUM (2022): AfA-Tabelle für den Wirtschaftszweig „Landwirtschaft und Tierzucht“. https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuertemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/AfA-Tabelle_Landwirtschaft-und-Tierzucht.html (Zugriff am 2. Dez. 2022).

BUNDESINFORMATIONSZENTRUM LANDWIRTSCHAFT (2022): Was wächst auf Deutschlands Feldern?. <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-arbeiten-foerster-und-pflanzenbauer/was-waechst-auf-deutschlands-feldern> (Zugriff am 05. Nov. 2022).

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2021): Ackerbaustrategien 2035. Berlin: BMEL.

BUTTERBACH-BAHL, K., Leible, S., Kälber, L., Kappler, G., Kiese, R. (2010): Treibhausgasbilanz nachwachsender Rohstoffe. KIT Scientific Publishing, 8-28.

DESTATIS (2022): Durchschnittlicher Preis für einen Liter Diesel in Deutschland in den Monaten Januar 2020 bis November 2022. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1691/umfrage/preis-fuer-einen-liter-diesel-monatsdurchschnittswerte/> (Zugriff am 14.12.2022).

DEUTSCHER BAUERNVERBAND E.V. (2019): Pflanzenschutz. <https://www.bauernverband.de/themendossiers/pflanzenschutz> (Zugriff am 06. Nov. 2022).

DEUTSCHER WETTERDIENST (2022): Niederschlag: vieljährige Mittelwerte 1981 – 2010. https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_8110_fest_html.html?view=nasPublication&nn=16102 (Zugriff am 11.12.2022).

DIERAUER, H. (2012): Hackgeräte: Technik und Einsatzzeitpunkt sind entscheidend. Bioaktuell 1/12, 10-11.

DLG (2019): Mechanische Unkrautregulierung – Technik für die Praxis. Frankfurt am Main: DLG Verlag.

- DMK (2022): Deutschland. <https://www.maiskomitee.de/Fakten/Statistik/Deutschland> (Zugriff am 06. Nov. 2022).
- FEIKE, T., RIEDESEL, L., LIEB, R., GABRIEL, D., SABBOURA, D., ASHIFUR, R.S., WETZEL, M., KLOCKE, B., KREGEL – HORNEY, S., SCHWARZ, J. (2020): Einfluss von Pflanzenschutz-strategie und Bodenbearbeitung auf den CO₂-Fußabdruck von Weizen. *Journal für Kulturpflanzen* 2020, S. 311-326.
- FELBERMEIR, T. (2011): Auswirkungen der Klimaänderung auf Naturalerträge. In: LfL (Hrsg.) „Klimaänderung in Bayern“. Wolnzach: Medienhaus Kastner, 7-16.
- GEIGES M.; KIEFER J.; BETTING D. (2008): Verlagerungs- und Abbauverhalten ausgewählter Sulfonylharnstoff Herbizide im Boden. Karlsruhe: Technologiezentrum Wasser.
- HEYER, J. (2019): WAS NICHT WARTEN KANN: Unkraut in Mais und Getreide bekämpfen, Kartoffeln überwachen. *Schweizer Bauer* 26, 26.
- HÖNER G. (2021): Hersteller wollen Bandspritzung in Reihenkulturen wieder populär machen. <https://www.topagrar.com/technik/news/hersteller-wollen-bandspritzung-in-reihenkulturen-wieder-populaer-machen-12568649.html> (Zugriff am 08.06.2022).
- KAUSCHE, M. (2018): Wirtschaftlichkeit schwimmender Offshore Windenergieanlagen. In Dieter Jacob (Hrsg.) „Baubetriebswirtschaftslehre und Infrastrukturmanagement“. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag.
- KIEFER S. (2022): Über die Vor- und Nachteile des kombinierten und absetzigen Verfahrens. Gespräch vom 19. Mai 2022.
- KLOEPFER, F. (2019): Mechanische Unkrautregulierung in Mais. *mais Die Fachzeitschrift für Spezialisten* 02/2019, 1-4.
- KTBL (2022): Webanwendung Berechnungsparameter für einzelbetriebliche Klimabilanzen Berechnungsparameter Klimagasbilanzierung. https://daten.ktbl.de/bek/berechnungsparameter?tx_ktblsso_checktoken%5Btoken%5D=dd4e9d49201416fdee0c18e1456dbb05 (Zugriff am 15. Nov. 2022).
- KTBL (2022): Webanwendung MaKost – Maschinenkosten und Reparaturkosten. <https://daten.ktbl.de/makost/#search?language=de-DE> (Zugriff am 15. Nov. 2022).
- LAENDERDATEN.INFO (2023): Lebenshaltungskosten und Kaufkraft in Relation zum Einkommen. <https://www.laenderdaten.info/lebenshaltungskosten.php> (Zugriff am 08. Jan. 2023).

- LANDWIRTSCHAFTLICHE RENTENBANK (2022): Über das Investitionsprogramm Landwirtschaft. <https://www.rentenbank.de/foerderangebote/bundesprogramme/landwirtschaft/> (Zugriff am 16. Nov. 2022).
- LANGSENKAMP, F. (2022): Telefonat am 05.12.2022.
- LEHMANN N. (2022): 50 Prozent weniger Pflanzenschutz sollen in der EU-Gesetz werden. <https://www.agrarheute.com/politik/50-prozent-weniger-pflanzenschutz-eu-gesetz-590108#:~:text=Verbindliche%20nationale%20Reduktionsziele%20f%C3%BCr%20den,den%20Jahren%202015%20bis%202017> (Zugriff am 02. Mai. 2022).
- LFL (2022): Unkrautmanagement Mais. <https://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/033928/index.php> (Zugriff am 06. Nov. 2022).
- LWK NIEDERSACHSEN (2022): Die neue GAP ab 2023 - eine ökonomische Optimierung der Anträge wird wichtiger! https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/38437_Die_neue_GAP_ab_2023_-_eine_ökonomische_Optimierung_der_Anträge_wird_wichtiger (Zugriff am 11. Dez. 2022).
- MAUL, H. (2001): Untersuchungen an einem Steuerprogramm für Hackgeräte im Maisanbau auf Basis eines optoelektronischen Systems. Dissertation, Technische Universität München.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND KLIMASCHUTZ (2022): Sortenratgeber 2022. Frankfurt (Oder): Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung.
- MIßLER-BEHR, M. (2001). Break-Even-Analyse. In: Fuzzybasierte Controllinginstrumente. Neue betriebswirtschaftliche Forschung, vol 273. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden.
- MR LANDSHUT-ROTTENBURG E.V. (2022): Verrechnungssätze ab 2022. https://www.maschinenring.de/fileadmin/media/Lokale_Ringe/MR_Landshut-Rottenburg/MR_VSKZ-Liste_ab_2022.pdf (Zugriff an 12. Dez. 2022).
- MÜCKE, M. (2019): Striegeln, Hacken oder Häufeln? Verfahren zur mechanischen Unkrautregulierung im Maisanbau. Maiskomitee 04 2019, 1-6.
- OOWV (2022): E-Mail vom 08. Dezember 2022. Oldenburgisch-Ostfriesische Wasserverband.
- MÜCKE, M., KREIKENBOHM, C. (2020): Aktueller Stand der Technik bei Striegeln: Der Kamm für den Acker. Profi 6/2020. 74-79.

- PFLSCHG (2021): Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen vom 06. Februar 2012. BGBl. I S. 148, zuletzt geändert durch Artikel 19 des Gesetzes vom 27. Juli 2021. BGBl. I S. 3146, 3172.
- PICKERT, J. (2000): Einfluss des Unkrautbekämpfungstermins auf Ertrag und Wirtschaftlichkeit des Silomaisanbaues. Journal of Plant Diseases and Protection Special Issue XVII, 253-258.
- SCHRÖDER LANDMASCHINEN (2022): Angebot vom 22. November 2022. Heinrich Schröder Landmaschinen KG Wildeshausen.
- SPYCHER, S., DÜBENDORFER, C., TRATSCHIN, R., SCHNEIDER, R., RAMSEIER, H. (2020): Evaluation von Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers vor PSM und deren Metaboliten. Studie vom 9. Oktober 2020, Schweiz: Bundesamt für Umwelt.
- STATISTA (2022): Durchschnittlicher Preis für einen Liter Diesel in Deutschland in den Monaten Januar 2020 bis Oktober 2022. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1691/umfrage/preis-fuer-einen-liter-diesel-monatsdurchschnittswerte/> (Zugriff am 09. Dez. 2022).
- UMWELTBUNDESAMT o.J.: Die Treibhausgase. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/die-treibhausgase> (Zugriff am 27.12.2022)
- WEGENER, J., K. (2020): Gezielter und flexibler – Trends in der Pflanzenschutztechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): „Jahrbuch Agrartechnik 2019“. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 1-7.
- WOCHENBLATT (2022): Wie viel darf CCM kosten? <https://www.wochenblatt.com/landwirtschaft/wie-viel-darf-ccm-kosten-13185961.html> (Zugriff am 08. Dez. 2022).
- WÖLTJE, J. (2016): Kosten- und Leistungsrechnung. Freiburg: Haufe.

Anhang

Anhang 1: KLR Betrieb Uckermark

		Betrieb Uckermark				
Betriebsfläche insgesamt in ha		1200				
Anbaufläche Körnermais in ha		300				
		V1		V2		V3
Verwendetes Gerät		Treffler Striegel TS 1220 M3	2x Schmotzer Hacke 8-reihig ohne Bandspritze	Treffler Striegel TS 1220 M3	2x Schmotzer Hacke 8-reihig mit Bandspritze	Amazone UX 5200 Spezial
Anschaffungspreis		37.600 €	122.686 €	37.600 €	172.618 €	130.500 €
Arbeitsbreite in m		12,2	12	12,2	12	30
Nutzungsdauer in Jahre		12	12	12	12	10
Einsatzumfang in ha/a		600	600	600	600	3900
f-Wert		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Restwert (in % vom AW)		20	20	20	20	20
Restwert in €		7.520 €	24.537 €	7.520 €	34.524 €	26.100 €
Zinssatz in %		3	3	3	3	3
Reparaturkosten pro Jahr (in % vom AW)		2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Reparaturkosten pro Jahr in €		940,00 €	3.067,15 €	940,00 €	4.315,45 €	3.262,50 €
Afa		2.506,67 €	8.179,07 €	2.506,67 €	11.507,87 €	10.440,00 €
Durchschnittliche Gesamtkosten pro Jahr in €		4.123,47 €	13.454,56 €	4.123,47 €	18.930,44 €	16.051,50 €
Durchschnittliche Gesamtkosten pro ha		6,87 €	22,42 €	6,87 €	31,55 €	4,12 €
Mittelaufwendungen Pflanzenschutz in %		0		0	35	100
Kosten Pflanzenschutzmittel (€/ha)			- €	- €	25,97	74,20
Benötigte Schlepperleistung in PS		160	160	160	160	160
Anschaffungspreis in €		145.000 €	145.000 €	145.000 €	145.000 €	145.000 €
Nutzungsdauer in Jahre		10	10	10	10	10
Afa		11.600 €	11.600 €	11.600 €	11.600 €	11.600 €
Restwert in €		29.000 €	29.000 €	29.000 €	29.000 €	29.000 €
Reparaturkosten pro Jahr (4% vom AW)		5.800 €	5.800 €	5.800 €	5.800 €	5.800 €
Zinssatz		3	3	3	3	3
Durchschnittliche Gesamtkosten Schlepper		20.010 €	20.010 €	20.010 €	20.010 €	20.010 €
Auslastung (h/a)		1000	1000	1000	1000	1000
Durchschnittliche Gesamtkosten Schlepper je h		20,01 €	20,01 €	20,01 €	20,01 €	20,01 €
Flächenleistung (ha/h)		9,88	4,72	9,88	4,72	9,75
Akh (h/ha)		0,12	0,5	0,12	0,5	0,13
Dieselvebrauch (l/ha)		1,58	2,84	1,58	2,84	1,12
Dieselpreis (€/l)		1,90 €	1,90 €	1,90 €	1,90 €	1,90 €
Dieselskosten (€/ha) (Preis pro Liter 1,90€)		3,00 €	5,40 €	3,00 €	5,40 €	2,13 €
Schlepperkosten pro Arbeitsgang (€/ha)		2,03	8,48	2,03	8,48	2,05
Lohnansatz (€/h)		21	21	21	21	21
Lohnkosten (€/ha)		2,52	10,5	2,52	10,5	2,73
Gesamtkosten der Überfahrt (€/ha)		14,42 €	46,80 €	14,42 €	81,90 €	85,23 €
Gesamtkosten Unkrautbekämpfung (€/ha)			122,44 €		166,66 €	85,23 €
Mehrkosten gegenüber betriebsüblicher V3 (€/ha)			37,21 €		81,43 €	- €
Mehrkosten gegenüber V3 in %			44%		96%	-
Ertrag (dt/ha)		93		111,4		118,8
Marktpreis (€/dt)			16,71 €		16,71 €	16,71 €
Leistung gesamt (€/ha)			1.554,03 €		1.861,49 €	1.985,15 €
Differenz zu V3 (€/ha)		-	431,12 €	-	123,65 €	- €
Gewinn (€/ha)			1.431,59 €		1.694,83 €	1.899,92 €
Gewinn gegenüber V3			-468,33 €		-205,09 €	- €
Annahmen: Durchschnittliche Flächengröße 20ha, Feld - Hof Entfernung 5 km, benötigte Hacken: 2, benötigter Striegel und Pflanzenschutzspritze: 1, V1 zwei Striegeldurchgänge + zwei Hackdurchgänge, V2 zwei Striegeldurchgänge + ein Hackdurchgang ohne PSM + ein Hackdurchgang mit PSM, V3 ein Durchgang Pflanzenschutzspritze						

Anhang 2: KLR Betrieb Cloppener Land

		Betrieb Cloppener Land				
Betriebsfläche insgesamt in ha		200				
Anbaufläche Körnermais in ha		50				
		V1		V2		V3
Verwendetes Gerät		Treffler Striegel TS 620 M3	Schmotzer Hacke 4-reihig ohne Bandspritze	Treffler Striegel TS 620 M3	Schmotzer Hacke 4-reihig mit Bandspritze	Amazone UF 2002 + FT 1001
Anschaffungspreis		20.400 €	41.271 €	20.400 €	66.852 €	95.700 €
Arbeitsbreite in m		6,2	3	6,2	3	30
Nutzungsdauer in Jahre		12	12	12	12	10
Einsatzumfang in ha/a		100	100	100	100	650
f-Wert		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Restwert (in % vom AW)		20	20	20	20	20
Restwert in €		4.080 €	8.254 €	4.080 €	13.370 €	19.140 €
Zinssatz in %		3	3	3	3	3
Reparaturkosten pro Jahr (in % vom AW)		2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Reparaturkosten pro Jahr in €		510,00 €	1.031,78 €	510,00 €	1.671,30 €	2.392,50 €
Afa		1.360,00 €	2.751,40 €	1.360,00 €	4.456,80 €	7.656,00 €
Durchschnittliche Gesamtkosten pro Jahr in €		2.237,20 €	4.526,05 €	2.237,20 €	7.331,44 €	11.771,10 €
Durchschnittliche Gesamtkosten pro ha		22,37 €	45,26 €	22,37 €	73,31 €	18,11 €
Mittelaufwendungen Pflanzenschutz in %		0		0	35	100
Kosten Pflanzenschutzmittel (€/ha)			- €	- €	25,97 €	74,20 €
Benötigte Schlepperleistung in PS		140		140		140
Anschaffungspreis in €			130.000 €		130.000 €	130.000 €
Nutzungsdauer in Jahre		10		10		10
Afa			10.400 €		10.400 €	10.400 €
Restwert in €			26.000 €		26.000 €	26.000 €
Reparaturkosten pro Jahr (4% vom AW)			5.200 €		5.200 €	5.200 €
Zinssatz		3		3		3
Durchschnittliche Gesamtkosten Schlepper			17.940 €		17.940 €	17.940 €
Auslastung (h/a)		800		800		800
Durchschnittliche Gesamtkosten Schlepper je h			22,43 €		22,43 €	22,43 €
Flächenleistung (ha/h)		4,15	1,11	4,15	1,11	7
Akh (h/ha)		0,28	1	0,28	1	0,19
Dieserverbrauch (l/ha)		2,29	3,4	2,29	3,4	0,96
Dieselpreis (€/l)		1,90 €	1,90 €	1,90 €	1,90 €	1,90 €
Dieselskosten (€/ha) (Preis pro Liter 1,90€)		4,35 €	6,46 €	4,35 €	6,46 €	1,82 €
Schlepperkosten pro Arbeitsgang (€/ha)		5,40 €	20,20 €	5,40 €	20,20 €	3,20 €
Lohnansatz (€/h)		21	21	21	21	21
Lohnkosten (€/ha)		5,88	21	5,88	21	3,99
Gesamtkosten der Überfahrt (€/ha)		38,01 €	92,92 €	38,01 €	146,95 €	101,33 €
Gesamtkosten Unkrautbekämpfung (€/ha)			261,86 €		343,94 €	101,33 €
Mehrkosten gegenüber betriebsüblicher V3 (€/ha)			160,53 €		242,61 €	
Mehrkosten gegenüber V3 in %			158%		239%	
Ertrag (dt/ha)		93		111,4		118,8
Marktpreis (€/dt)			16,71 €		16,71 €	16,71 €
Leistung gesamt (€/ha)			1.554,03 €		1.861,49 €	1.985,15 €
Differenz zu V3 (€/ha)		-	431,12 €	-	123,65 €	- €
Gewinn (€/ha)			1.292,17 €		1.517,56 €	1.883,82 €
Gewinn gegenüber V3			-591,65 €		-366,26 €	- €
Annahmen: Durchschnittliche Flächengröße 5ha, Feld - Hof Entfernung 5 km, benötigte Hacken: 1, benötigter Striegel und Pflanzenschutzspritze: 1, V1 zwei Striegeldurchgänge + zwei Hackdurchgänge, V2 zwei Striegeldurchgänge + ein Hackdurchgang ohne PSM + ein Hackdurchgang mit PSM, V3 ein Durchgang Pflanzenschutzspritze						

[illegible]

Anhang 4: Terminplan

Datum	V1: mechanische Unkrautbekämpfung	V2: Bandspritzung + mech. Unkrautbekämpfung	V3: konventioneller Pflanzenschutz
Sonntag, 3. April 2022	Einarbeitung Zwischenfrucht:Kurzscheibenegege	Einarbeitung Zwischenfrucht:Kurzscheibenegege	Einarbeitung Zwischenfrucht:Kurzscheibenegege
Mittwoch, 20. April 2022	Düngerstreuen: 40er Kali 200 kg/ha	Düngerstreuen: 40er Kali 200 kg/ha	Düngerstreuen: 40er Kali 200 kg/ha
Dienstag, 26. April 2022	40 m3 MS-Gülle + Einarbeitung Kurzscheibenegege	41 m3 MS-Gülle + Einarbeitung Kurzscheibenegege	42 m3 MS-Gülle + Einarbeitung Kurzscheibenegege
Donnerstag, 28. April 2022	Mulchsaatgrubber	Mulchsaatgrubber	Mulchsaatgrubber
Donnerstag, 28. April 2022	Kreiselegge	Kreiselegge	Kreiselegge
Freitag, 29. April 2022	Mais legen, Agrodentrico 8 Körner/m2	Mais legen, Agrodentrico 8 Körner/m3	Mais legen, Agrodentrico 8 Körner/m4
Dienstag, 3. Mai 2022	Blindstriegeln	Blindstriegeln	-
Dienstag, 17. Mai 2022	1. Bonitur	1. Bonitur	1. Bonitur
Dienstag, 17. Mai 2022	Striegeln	Striegeln	-
Mittwoch, 18. Mai 2022	-	-	chem. Komplettapplikation
Donnerstag, 19. Mai 2022	2. Bonitur	2. Bonitur	2. Bonitur
Dienstag, 24. Mai 2022	Hacken	Hacken	-
Mittwoch, 25. Mai 2022	-	Bandspritzung	-
Freitag, 27. Mai 2022	3. Bonitur	3. Bonitur	3. Bonitur
Donnerstag, 2. Juni 2022	Hacken	Hacken	-
Dienstag, 7. Juni 2022	4. Bonitur	4. Bonitur	4. Bonitur
Freitag, 10. Juni 2022	Hacken	-	-
Dienstag, 14. Juni 2022	5. Bonitur	5. Bonitur	5. Bonitur
Freitag, 16. September 2022	Ernte	Ernte	Ernte

Anhang 4: Protokolle

Protokoll 24.10.2022

Sitzung der Projektgruppe Körnermaisbau im Wasserschutzgebiet durch Unterstützung von Hacktechnik.

(Projekt landwirtschaftliche Produktionsprozesse 5. Semester BLW)

Termin: 24.10.2022

Ort: Osnabrück

Zeit: 18:00 - 20:30 Uhr

Teilnehmende: Laurens Fangmann, Hendrik Flessner, Christian Debbeler

Fehlend: /

Entschuldigt: /

Leitung: Henrik Flessner

Protokoll: Christian Debbeler

TOP 0 Formalia

Tagesordnung

1. Nachbesprechung der Präsentation
2. Erstellen der Gliederung
3. Koordination Literaturrecherche
4. Aufgabenverteilung für die kommende Woche

TOP 1

Besprechen der Präsentation

- Die Vorstellung des Projektthemas wurde von allen Gruppenmitgliedern als gut befunden

TOP 2

Erstellen der Gliederung

- Diskussion wichtiger Gliederungspunkte

TOP 3

Koordination Literaturrecherche

- Hendrik informiert sich über Fachbücher und Investitionspreise
- Laurens informiert sich über Internetquellen
- Christian informiert sich über vergleichbare Dissertationen

TOP 4

Aufgabenverteilung für die kommende Woche

- Literaturrecherche (Siehe Top 3)
- Modellbetriebe erstellen
- Beginnen mit dem Stand des Wissens
- Ertragsauswertung

Nächste Sitzung:

Dienstag, den 01.11.22

TOP 0 Formalia

TOP 1 Besprechung Literaturbeschaffung

TOP 2 Besprechung der bereits verfassten Texte

TOP 3 Überarbeiten der Gliederung. Diskutieren weiterer Unterpunkte.

Unterschrift:

C. Debbeler

Protokoll (Christian Debbeler)

H. Flessner

Sitzungsleitung (Hendrik Flessner)

Protokoll 01.11.2022

Sitzung der Projektgruppe Körnermaisbau im Wasserschutzgebiet durch Unterstützung von Hacktechnik.

(Projekt landwirtschaftliche Produktionsprozesse 5. Semester BLW)

Termin: 01.11.2022

Ort: Osnabrück

Zeit: 15:00-17:00 Uhr

Teilnehmende: Laurens Fangmann, Hendrik Flessner, Christian Debbeler

Fehlend: /

Entschuldigt: /

Leitung: Henrik Flessner

Protokoll: Christian Debbeler

Protokollant*in: Christian Debbeler

Sitzungsleitung: Laurens Fangmann

TOP 0 Formalia

Tagesordnung

1. Besprechung der Literaturbeschaffung
2. Besprechung bereits verfasster Texte
3. Überarbeitung der Gliederung
4. Ziele bis zum Zwischenbericht

TOP 1

Besprechung der Literaturbeschaffung

- Beschaffte Literatur wurde abgeglichen
- Ergebnisse Vergleichbarer Versuche wurden angeschaut

TOP 2

Besprechung bereits verfasster Texte

- Laurens Fangmann hat bereits die einzelnen Verfahren im Stand des Wissens beschreiben
- Christian Debbeler stellt seine verfasste Einleitung vor
- Verbesserungsvorschläge werden innerhalb der Gruppe diskutiert

TOP 3

Überarbeitung der Gliederung

- Weitere Gliederungspunkte, wie die Maschinenaussattung, werden ergänzt

TOP 4

Ziele bis zum Zwischenbericht

- Vorläufige Einleitung soll fertig sein
- Treibhausgasbilanzierung soll fertig sein
- Christian verfasst einen kleinen Text über die Modellbetriebe
- Hendrik beschreibt den Versuchsaufbau und die Versuchsfläche

Nächste Sitzung:

Nach Abgabe des Zwischenberichts

TOP 0 Formalia

TOP 1 Besprechung des Zwischenberichts

Unterschrift:

C. Debbeler

Protokoll (Christian Debbeler)

H. Flessner

Sitzungsleitung (Hendrik Flessner)

Protokoll 02.12.2022

Sitzung der Projektgruppe Körnermais-anbau im Wasserschutzgebiet durch Unterstützung von Hacktechnik.

(Projekt landwirtschaftliche Produktionsprozesse 5. Semester BLW)

Termin: 02.12.2022

Ort: Zoom

Zeit: 12:00-13:00 Uhr

Teilnehmende: Laurens Fangmann, Hendrik Flessner, Christian Debbeler, Guido Recke

Fehlend: /

Entschuldigt: /

Leitung: Laurens Fangmann

Protokoll: Christian Debbeler

TOP 0 Formalia

Tagesordnung

1. Besprechung des Zwischenberichts
2. Planung des weiteren Vorgehens
3. Vorgehensweise zur Berechnung

TOP 1

Besprechung des Zwischenberichts

- Der Zwischenbericht wurde fristgerecht abgegeben
- Guido Recke sprach einige Formulierungen an, die vermieden werden sollten und gab Verbesserungsvorschläge

TOP 2

Planung des weiteren Vorgehens

- Guido Recke wurde über die anstehenden Arbeitsschritte in Kenntnis gesetzt
- Gemeinsam mit allen Teilnehmern wurde sich darauf verständigt eine KLR zu erstellen

TOP 3

Vorgehensweise zur KLR

- Besprechung wichtiger Punkte
- Bezüglich Maschinenauslastung wird auf KTBL-Daten zurückgegriffen
-

TOP 4

Aufgabenverteilung für die kommende Woche

- Verbessern des Zwischenberichts
- Kosten aus KTBL-Feldarbeitsrechner erheben
- Erstellen KLR
-

Nächste Sitzung:

Freitag, 09.12.2022

Unterschrift:



Protokoll (Christian Debbeler)



Sitzungsleitung (Laurens Fangmann)

Protokoll 09.12.2022

Sitzung der Projektgruppe Körnermais-anbau im Wasserschutzgebiet durch Unterstützung von Hacktechnik.

(Projekt landwirtschaftliche Produktionsprozesse 5. Semester BLW)

Termin: 09.06.2022

Ort: Osnabrück

Zeit: 11:30-19:15 Uhr

Teilnehmende: Laurens Fangmann, Hendrik Flessner, Christian Debbeler, Tobias Jorissen

Fehlend: /

Entschuldigt: /

Leitung: Hendrik Flessner

Protokoll: Christian Debbeler

TOP 0 Formalia

Tagesordnung

1. Besprechung des aktuellen Stands
2. Planung der Projektpräsentation
3. Vorstellung der KLR

TOP 1

Besprechung des aktuellen Stands

- Der Projektbericht ist nach Ansicht aller Sitzungsteilnehmer im Zeitplan

TOP 2

Planung der Projektpräsentation

- Anstehende Projektpräsentation am 15.12.2022
- Gliederungspunkte und deren Gewichtung wurden besprochen
- Es wurde festgelegt den Fokus auf die Ergebnisse und den Material und Methoden Teil zu legen.
- Aufgabenverteilung für die einzelnen Gliederungspunkte wurde abgestimmt
- Laurens übernimmt Stand des Wissens + Versuchsaufbau
- Christian Einleitung + Material und Methoden + Fazit
- Hendrik Ergebnisse + Diskussion

TOP 3

Einteilung der Auswertungen

- Christian wertet die KLR aus
- Hendrik die Sensitivitätsanalyse

Nächste Sitzung:

Nach Bedarf

Unterschrift:



Protokoll (Christian Debbeler)



Sitzungsleitung (Hendrik Flessner)

Protokoll 04.01.2023

Sitzung der Projektgruppe Körnermaisbau im Wasserschutzgebiet durch Unterstützung von Hacktechnik.

(Projekt landwirtschaftliche Produktionsprozesse 5. Semester BLW)

Termin: 04.01.2023

Ort: Osnabrück

Zeit: 16:00-21:15 Uhr

Teilnehmende: Laurens Fangmann, Hendrik Flessner, Christian Debbeler

Fehlend: /

Entschuldigt: /

Leitung: Laurens Fangmann

Protokoll: Christian Debbeler

TOP 0 Formalia

Tagesordnung

1. Besprechung des vorläufigen Projektberichtes
2. Planung der Änderungen
3. Einteilung des Korrekturlesens

TOP 1

Besprechung des vorläufigen Projektberichts

- Der Projektbericht ist nach Ansicht aller Sitzungsteilnehmer im Zeitplan
- Kommentare von Tobias Jorissen wurden besprochen und hinsichtlich der Umsetzung diskutiert

TOP 2

Planung der Änderungen

- Es wurde beschlossen einige Änderungen in Anschluss an das Meeting direkt umzusetzen
- Das Korrekturlesen ab dem Ergebnis Teil wurde auf den Vormittag des 06.01.2023 geschoben

TOP 3

Einteilung des Korrekturlesens

- Bei der Einteilung wurde darauf geachtet, dass jeder Autor einen fremden Text korrekturliest

Nächste Sitzung:

Nach Bedarf

Unterschrift:



Protokoll (Christian Debbeler)



Sitzungsleitung (Laurens Fangmann)

Eidesstattliche Erklärung:

Ich erkläre hiermit 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 und auch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift: Christian Debbeler

Ort, Datum

Unterschrift: Hendrik Flessner

Ort, Datum

Unterschrift: Laurens Fangmann