



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Fachgebiet Landtechnik

Frau Prof. Dr. Sandra Rose

Herr M. sc. Rudolf Hammerschmidt

Bachelorarbeit

Ultraflache Bodenbearbeitung - die Alternative zum Glyphosat?

urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2020-0628-8

von

Florian David

Schönfeld

16.02.2021

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Problemstellung	1
2.	Stand des Wissens	2
2.1	Geschichte der ultraflachen Bodenbearbeitungsgeräte.....	2
2.2	Die Funktion der Ultraflachen Bodenbearbeitung	3
2.3	Der Wirkstoff Glyphosat	4
2.3.1	Zulassungsstand des Glyphosats	6
2.3.2	Die Glyphosatminderungsstrategie.....	7
2.3.3	Die Glyphosat-Alternativen	7
2.4	Entwicklung der Vorfürhrgeräte.....	9
2.4.1	Die Väderstad Carrier CrossCutter-Disc	9
2.4.2	Der Köckerling Allrounder-flatline	9
2.4.3	Der Lemken Koralin.....	9
3.	Material und Methoden.....	10
3.1	Väderstad Carrier CrossCutter-Disc	10
3.1.1	Aufbau und Wirkung des Carriers.....	10
3.1.2	Die Vorführung des Carrier CCD	11
3.2	Flachgrubber Köckerling Allrounder-flatline	12
3.2.1	Der Aufbau des Köckerling Flachgrubbers.....	12
3.2.2	Die Vorführung des Allrounder-flatline.....	13
3.3	Hybridgrubber Lemken Koralin	14
3.3.1	Aufbau des Hybridgrubbers	14
3.3.2	Die Vorführung des Lemken Grubbers.....	15
3.4	Der Versuchsbetrieb.....	17
3.5	Die Versuchsstandorte.....	18
4.	Die Ergebnisse	20
5.	Die Diskussion	25
5.1	Vergleich der konventionellen zur ultraflachen Bodenbearbeitung.....	25
5.2	Der Pflugeinsatz als Glyphosatersatz.....	27
5.3	Die Landwirtschaft ohne Glyphosat	29
6.	Fazit der Diskussion.....	32
7.	Zusammenfassung.....	33
	Literaturverzeichnis	II
	Abbildungsverzeichnis	III
	Tabellenverzeichnis.....	III
	Abkürzungsverzeichnis.....	IV
	Eidesstattliche Erklärung.....	V

1. Einleitung und Problemstellung

Der fortschreitende Klimawandel macht es immer schwieriger für die Landwirte richtig zu handeln. Es kommt zu immer länger anhaltenden Trockenperioden, die die Böden ausdörren. Da die Bodenwasserreserven aufgrund der letzten niederschlagsarmen Jahre noch nicht wieder aufgefüllt sind, ist das Wachstum der Kulturen und daraus resultierend die Erträge eingeschränkt. Ein neues Ziel der Landwirtschaft ist es möglichst viel Bodenwasser im Boden zu erhalten. Das kann man vor allem durch die Bodenbearbeitung erreichen, die bereits nach der Ernte mit dem Stoppeln beginnt. Die Aufgaben liegen darin Ausfallgetreide und Unkrautsamen auflaufen zu lassen. Dabei soll die Kapillarität gebrochen und Ernterückstände zerkleinert sowie eingearbeitet werden.

Der Grundsatz der Stoppelbearbeitung heißt: „So flach wie möglich und so tief wie nötig zu arbeiten.“ Dies wird mit Scheibeneggen, Flachgrubbern oder Striegeln umgesetzt, die in vielen Variationen und von verschiedenen Herstellern angeboten werden. Neben der Stoppelbearbeitung muss in anderen Bereichen die Bodenbewirtschaftung revolutioniert werden. Der Anbau von Zwischenfrüchten ist stark im Trend. Hier liegt die Herausforderung darin die hohen Mengen an organischer Masse in den Boden einzuarbeiten, meist muss der Bewuchs erst mit vorherigen Arbeitsgängen zerkleinert werden. In den letzten Jahren herrschten meist sehr milde Winter vor, die die Zwischenfruchtbestände nicht gänzlich abfrieren ließen. Hierbei kommt es meist zum Einsatz von Totalherbiziden, die diese Bestände dann abtöten. Die Applikation des Herbizids findet meist vor und nach der Grundbodenbearbeitung statt, dadurch können aufgelaufene Unkräuter und Ausfallgetreide behandelt werden, die mit der Stoppelbearbeitung nicht erfolgreich bekämpft wurden.

Die Landwirtschaft steht somit in Zukunft neben dem Klimawandel vor mehreren Problemen. Der Wirkstoff Glyphosat, welcher wesentlicher Bestandteil der Totalherbizide ist, wird im Jahr 2022 die Zulassung verlieren. Es wird dann nicht mehr oder nur stark eingeschränkt verfügbar sein. Momentan gibt es keinen chemischen Ersatz mit einer ähnlichen Wirkung. Eine mögliche Alternative wäre der Einsatz des Pfluges, welcher mehr Nachteile als Vorteile mit sich bringt. Der Einsatz von Totalherbiziden ist in der Regel meist günstiger als andere Maßnahmen zur Unkrautregulierung. Mit dem Wirkstoffverzicht muss die Bodenbearbeitung verbessert werden, um genauso effektiv und günstig zu sein wie Glyphosat. Seit geraumer Zeit gibt es neue Bodenbearbeitungsgeräte, die die ultraflache Bodenbearbeitung umsetzen sollen. Diese sollen den Boden bis zu einer Tiefe von 3 cm bearbeiten und die eigentliche Struktur des Bodens kaum beeinflussen. Zu den Geräten zählen ultraflach arbeitende Grubber und Scheibeneggen. Diese Art der Bodenbearbeitung ist eine Anpassung an den Klimawandel sowie den gegebenen Umständen. Aus der Problematik ergibt sich folgende Fragestellung: Kann die ultraflache Bodenbearbeitung den Wirkstoff Glyphosat ersetzen?

2. Stand des Wissens

2.1 Geschichte der ultraflachen Bodenbearbeitungsgeräte

Bereits im Jahr 1999 machte die Firma Väderstad Versuche zur minimalen Bodenbearbeitung. Mit der Scheibenegge Carrier wurde ein 5 cm tiefes Scheinsaatbett erzeugt. Jedoch war damals kein ganzflächiger Schnitt des Bodens mit der Standardhohlscheibe möglich. Aus der minimalen Bodenbearbeitung entwickelte sich die ultraflache Bodenbearbeitung. Diese wurde aber erst wieder ab dem Jahr 2014 aufgefasst. (Väderstad GmbH, 2020)

Der Hersteller Kerner stellte den Stratos vor. Dies ist ein Ultraflachgrubber, der als reine Zinkenmaschine vor allem für die Stoppelbearbeitung, aber auch für die Saatbettbereitung konzipiert wurde. Eine hohe Durchgangshöhe erlaubt die Verarbeitung von viel organischer Masse. Dies wiederum macht auch eine Einarbeitung von Zwischenfrüchten möglich. (Kerner Maschinenbau GmbH, 2019)

Im Jahr 2017 wurde die neue CrossCutter-Disc von Väderstad vorgestellt. Diese ermöglichte es nun Scheibeneggen, bei einer Arbeitstiefe von 2-3 cm, ganzflächig schneidend arbeiten zu lassen. Erhältlich bei allen Carrier Modellen zeichnet sich diese durch eine hohe Schlagkraft und hohe Effizienz aus. Die CrossCutter-Disc entsprang aus dem im Jahr 2014 präsentierten CrossCutter-Knife, einer Messerwalze, die in Kombination mit der Hohlscheibe für die Zerkleinerung größerer Ernterückstände gebaut wurde. (Väderstad GmbH, 2020)

Zur Agritechnica 2019 stellten direkt zwei Hersteller Geräte zur ultraflachen Bodenbearbeitung vor, die Firma Köckerling den Allrounder-Flatline und die Firma Lemken den Koralin. Der Allrounder-Flatline ist ein reiner Zinkengrubber, der optional mit einer Messerwalze oder einen Crossboard vor allem für die Stoppelbearbeitung und der Saatbettbereitung entwickelt wurde. (Tastowe, 2019)

Der Koralin der Firma Lemken wurde als Hybridgrubber vorgestellt. Hybrid bedeutet in dem Falle die Kombination aus einen dreibalkigen Grubber und einer doppelten Scheibenreihe vor dem Zinkenfeld. Dieser wurde hauptsächlich für die ultraflache Bodenbearbeitung konzipiert. Das Einsatzspektrum zieht sich von der Stoppelbearbeitung bis zur Einarbeitung von Zwischenfrüchten und der Saatbettbereitung. (Lemken GmbH & Co. KG, 2019)

Aktuell stellt Köckerling Flügelschare für den Trio, Quadro und Vector vor, welche auch das Grubbern ermöglichen, sehr flach und ganzflächig schneidend bei einer Arbeitstiefe von 5 cm. Ähnliche Entwicklungen machte auch Lemken mit den DeltaCut-Scharen für die Karat Grubber und auch Horsch mit den TerraCut Flügelscharen, die auch für die ultraflache, ganzflächig schneidende Bodenbearbeitung ab 5 cm vorgesehen sind.

2.2 Die Funktion der ultraflachen Bodenbearbeitung

Die Entwicklung der ultraflachen Bodenbearbeitung resultierte aus vielen Faktoren, die sich in der letzten Zeit weiter verstärkten. Die Probleme mit herbizidresistenten Beikräutern und Ausfallraps erhöhen sich. Dazu verlieren immer mehr herbizide Wirkstoffe ihre Zulassung, wie wahrscheinlich auch in Zukunft Glyphosat. Der Anbau von Zwischenfrüchten hat in den letzten Jahren stark zugenommen. In Kombination mit milden Wintern wird es schwieriger die große Menge an organischer Masse im Frühjahr vor der Bestellung einer Sommerung einzuarbeiten. Im Maisanbau macht der Zünsler weiterhin Probleme. Das Stoppelmulchen ist ein weiterer Arbeitsgang vor der Einarbeitung der Maisstoppel und zudem kostenintensiv. Ein zentraler Faktor ist des Weiteren der Klimawandel, da der Boden möglichst wenig bewegt werden soll, um Wasser einsparen zu können. Immer mehr Betriebe stellen auf den ökologischen Landbau um, wo diese Probleme noch verstärkter auftreten. Diesen stellen sich die Landtechnikhersteller mit den vorgestellten Bodenbearbeitungsgeräten. Die Funktion dieser liegt darin, ein Scheinsaattbett nach der Ernte der Hauptfrucht zu erzeugen. Scheinsaattbett bedeutet eine sehr flache Bodenlockerung von 2-3 cm. (Väderstad GmbH, 2020) Dabei soll viel Feinerde erzeugt, grobe Ernterückstände zerkleinert und eingearbeitet werden. Das ergibt eine gute Grundlage für die Keimung von Unkräutern und Ausfallgetreide. Die Bearbeitung sollte so schnell wie möglich nach der Ernte erfolgen, so kann die Restfeuchte des Bodens für die Keimung genutzt werden. Nächtllicher Tau und Schattengare fügt zudem Feuchtigkeit hinzu. Dies reicht meist aus, um Raps und feinsämige Unkräuter keimen zu lassen. Getreide dagegen benötigt mehr Wasser zum Keimen, da die Körner erst quellen müssen. Hier gilt es auf Niederschläge zu warten, wenn die Bodenfeuchte nicht genügt und die zweite Stoppelbearbeitung dementsprechend zu verschieben. Die ultraflache Bearbeitung des Bodens setzt die Grundsätze der eigentlichen Stoppelbearbeitung um. Die Kapillarität wird gebrochen, die Verdunstung des restlichen Bodenwassers im Sommer verhindert und die Feuchtigkeit für die Folgefrucht im Boden gehalten. Die Zerkleinerung und Einmischung der Ernterückstände sollen die Rotte begünstigen. Es gilt wie bei der Stoppelbearbeitung so tief wie nötig zu arbeiten, aber so flach wie möglich. Eine zu tiefe Arbeit verschüttet Ausfallsamen und diese bilden in folgenden Kulturen eine verstärkte Konkurrenz. Ziel ist es das Samenpotenzial auf einen Schlag so klein wie möglich zu halten, so kann man Pflanzenschutzmaßnahmen einsparen und mindert die Konkurrenz in der Kultur.

2.3 Der Wirkstoff Glyphosat

Die chemische Verbindung Glyphosat gehört zur Gruppe der Phosphonate und ist in Totalherbiziden vorhanden. In den 1970ern entwickelt von Monsanto, wurde es unter dem Namen „RoundUp“ vermarktet. In Deutschland ist der Wirkstoff seit 1974 zugelassen. Um von der Pflanze aufgenommen zu werden, muss der Formulierung Netzmittel beigetragen werden. Dies war seit der Veröffentlichung Tallowamin, es galt aber als toxischer als das Glyphosat selbst. Seitdem wurden die Formulierungen umgestellt. Das Herbizid wird meist auf der Stoppel appliziert, um auflaufende Unkräuter und Ausfallgetreide zu bekämpfen, aber auch im Vor- oder Nachauflauf zur Unkraut- und Aufwuchsregulierung angewendet. Die Pflanze nimmt den Wirkstoff über die grünen Bestandteile (Blatt, nicht verholzte Sprossachsen) auf. Das Netzmittel löst die Kutikula auf, sonst würde das Glyphosat von der fetthaltigen Schutzschicht abperlen. Aufgenommen wird das Mittel systematisch und über das Phloem in der Pflanze verteilt. Es lagert sich in meristematischen Geweben ab und unterdrückt die EPSP-Synthase. Die Bildung von essenziellen Aminosäuren wird blockiert. Es kommt zum Wachstumsstillstand, die Proteinbildung kollabiert und die Pflanze stirbt schon nach wenigen Stunden ab. Die Wirkung ist erst nach 5-10 Tagen in Form von Chlorosen und Nekrosen erkennbar. Glyphosat ist nicht selektiv, blattaktiv und wird als systematisches Breitbandherbizid charakterisiert. Es ist gegen eine hohe Anzahl Zielpflanzen wirksam, allerdings nicht alle. Gegen Brennnessel, Schachtelhalm und verschiedene Leguminosen ist es nicht wirksam und gegen Problemunkräuter wie Binsen, Seggen, Winden sowie Knötericharten nicht ausreichend wirksam. Das Mittel verflüchtigt sich kaum auf der Boden- oder Pflanzenoberfläche. Im Boden wird es mit einer Halbwertszeit von rund 21 Tagen mikrobiell abgebaut. Das resultierende Abbauprodukt AMPA kann aufgrund einer längeren Halbwertszeit im Boden angereichert werden. (LfL Pflanzenschutz, 2020)

„Glyphosat ist billig und effizient und wurde schnell zu einem Welterfolg.“ (Ladwig, 2020)

Im Jahr 2000 lief das Patent aus. Auch andere Chemiekonzerne greifen seitdem auf Glyphosat zurück und es gibt seitdem den Wirkstoff in verschiedensten Formulierungen. Im Jahr 2017 wurde der weltweite Verbrauch auf etwa 1,3 Millionen Tonnen geschätzt. Davon werden rund 90% in der Landwirtschaft verbraucht. Dazu zählen Anwendungen in gentechnisch veränderten Kulturen bzw. „RoundUp-Ready“ Sorten zu 50 – 60%. Seit dem Jahr 2000 nach der Entwicklung von gentechnisch veränderten Sorten, darunter Sojabohnen, Raps, Mais und Baumwolle, auch von Monsanto, stieg der Verbrauch rapide an. In Deutschland sind GVO-Sorten verboten und werden nicht vermarktet. In Europa werden nur etwa 4% der Gesamtmenge im Jahr verbraucht, davon 3,7% landwirtschaftlich. Die Anwendung in Europa findet vorrangig in den Südeuropäischen Ländern wie Spanien, Italien und Frankreich in den Obst- und Gemüseanbau statt. In Deutschland wurden im Jahr 2018 etwa 3.500 t Glyphosat abgesetzt (Abb. 1).

Meist wird es hier in der Stoppel eingesetzt, vor allem nach der Ernte von Wintertraps. Bei Mais und Zuckerrüben auch gelegentlich in der Vorsaabehandlung. (LfL Pflanzenschutz, 2020)

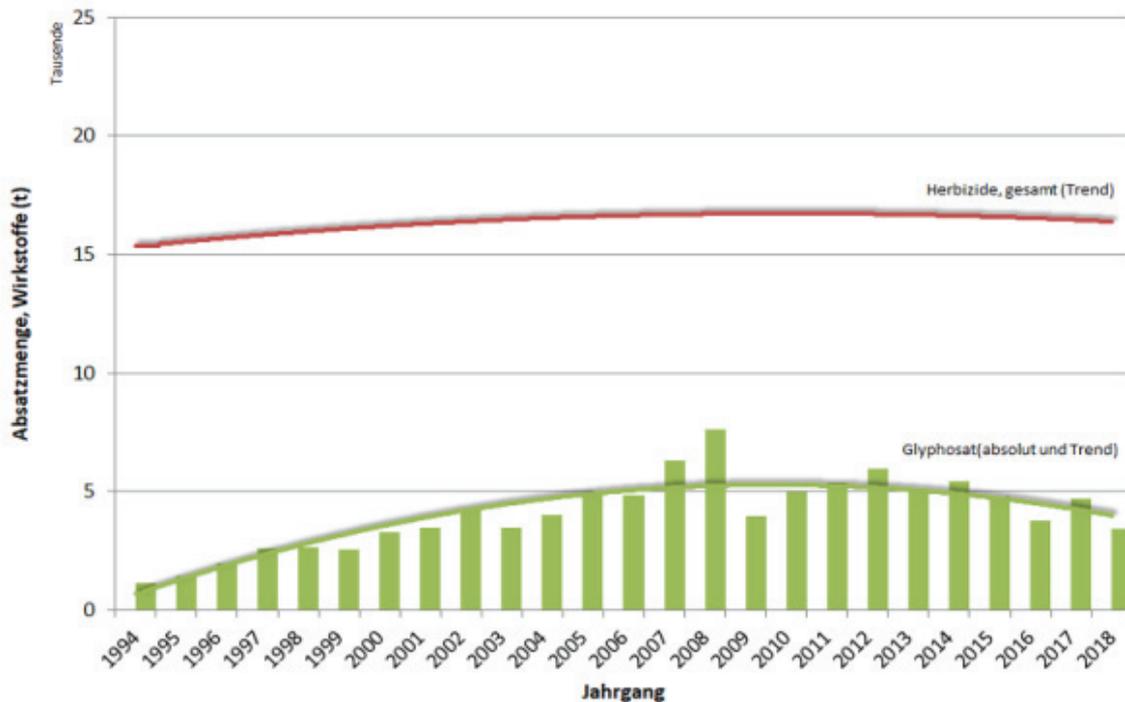


Abbildung 1: Entwicklung des Glyphosat-Absatzes in Deutschland (Quelle: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelrecht, 2020)

Die Abbildung 1 zeigt die Absatzmenge des Wirkstoffs. Der Trend zeigt eine Steigung bis zum Jahr 2008, in diesem Jahr wurden 7,5 t abgesetzt. Danach sinkt der Verkauf von Glyphosat langsam in Verbindung mit ersten Einschränkungen im Gebrauch und den ersten Skandalen um das Mittel im Jahr 2018 auf etwa 4 t ab. Der allgemeine Trend für den Absatz von Herbiziden bleibt weiter stabil über 15 t.

Ökonomisch gesehen ist Glyphosat von großem Vorteil. Vor allem in GVO-Beständen sinken die Produktionskosten und die Erträge steigen. Der wirtschaftliche Nutzen wird auf 1,3 Milliarden Dollar pro Jahr geschätzt. In Deutschland unterstützt der Wirkstoff die konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren, die effektivere Unkraut- und Ausfallgetreidebekämpfung. Es wirkt sich auf die verfahrenstechnischen Einsparungen aus, darunter Arbeitszeit- und Maschinenkosten. Geschätzt wird, dass der Nutzen für deutsche Landwirte bei etwa 145 Millionen € liegt. In Deutschland wird vorrangig die konservierende Bodenbearbeitung umgesetzt, hauptsächlich die Mulchsaat, weniger die Direktsaat. Im Direktsaatbereich ist das Glyphosat systemrelevant, denn Altunkräuter und Ausfallkulturen können in diesem System nicht ausreichend bekämpft werden. In der Mulchsaat ersetzt der Wirkstoff mehr oder weniger den Pflug. Es werden Kosten für alternative Maßnahmen zur Unkrautregulierung oder die Umstellung auf die wendende Bodenbearbeitung durch Glyphosat eingespart. (LfL Pflanzenschutz, 2020)

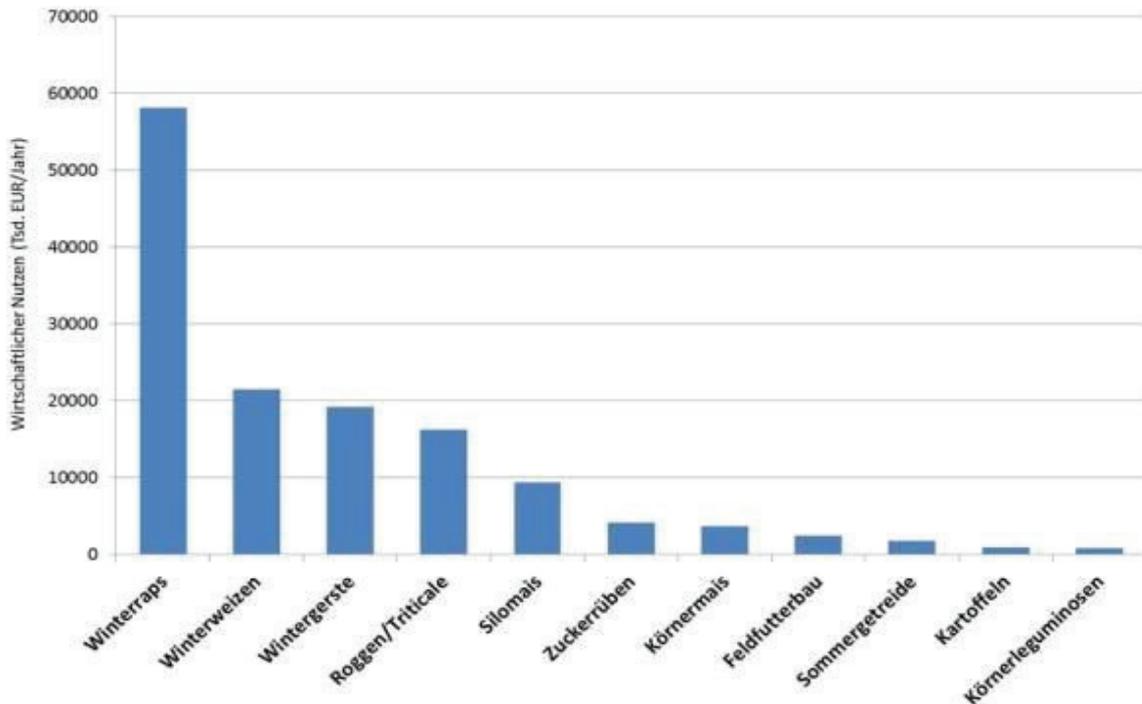


Abbildung 2: Wirtschaftlicher Nutzen der Anwendung von Glyphosat in verschiedenen Ackerbaukulturen in Deutschland (Quelle: Steinmann, Dickeduisburg & Theuvsen, 2012)

In Abbildung 2 ist der wirtschaftliche Nutzen von Glyphosat in Deutschland zu sehen. Dieser ist am stärksten bei Winterraps zu erkennen. Das liegt an der Bekämpfung von Ausfallraps in der Stoppel, Vor- und Nachauflauf Behandlungen. Gefolgt von Wintergetreide, Mais und Rüben vorrangig zur Unkrautregulation. Es gibt zu Glyphosat derzeit noch keine vergleichbare chemische Alternative, denn bis vor kurzem gab es auch keinen Bedarf dazu. Die Zulassung des Glyphosats läuft 2022 aus und wird wahrscheinlich nicht oder nur stark eingeschränkt verfügbar sein. Bereits seitdem der Wirkstoff aber in die Diskussion geriet, werden verstärkt Nachforschungen zur Schädlichkeit des Mittels und möglichen Alternativen betrieben.

2.3.1 Zulassungsstand des Glyphosats

Glyphosat steht seit einiger Zeit in Kritik. Schon im Jahr 2011 musste das deutsche Bundesinstitut für Risikobewertung Stellung zu möglichen gesundheitsschädlichen Aspekten des Glyphosats nehmen. Im Jahr 2015 wurde der Wirkstoff von der Internationalen Agentur für Krebsforschung als wahrscheinlich krebserregend eingestuft. Seitdem mehrt sich die Kritik zu dem Mittel. Rückstände wurden in Lebensmitteln wie Bier und Milch entdeckt, aber auch in Urin und Muttermilch. (Richter, 2019) Mit dem Aufkauf von Monsanto an Bayer, geriet auch der Konzern in Verruf. Viele Klagen wurden ausgesprochen, die negativen Schlagzeilen hörten nicht auf.

Es wurden Studien durchgeführt von vielen Institutionen, darunter auch das BfR. Diese kamen zu dem Ergebnis das Glyphosat, bei richtiger Anwendung, nicht für die Gesundheit und Umwelt schädlich sei. (Bundesinformationszentrum Landwirtschaft, 2020)

Im Jahr 2017 wurde der Wirkstoff bis zum Jahr 2022 weiter zugelassen. Ziel ist es, den Pflanzenschutzmittelaufwand bis 2023 zu reduzieren und stark einzuschränken. Ab 2023 soll auf Glyphosat und ähnliche Präparate verzichtet werden. Dies geht aus dem Aktionsprogramm Insektenschutz hervor, das 2019 beschlossen wurde. (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2019)

Glyphosat soll das Insektensterben beeinflussen, die Regenwurmpopulation in den Böden reduzieren und Mykorrhiza Pilze abtöten, die wichtig für die Aufnahme von Mikronährstoffen sind. Im Jahr 2017 wurden erste Resistenzen des Wirkstoffs bei Weidelgras erkannt, bei weiteren Versuchen auch bei Ackerfuchsschwanz. (Informationsdienst Gentechnik, 2020)

Abschließend gilt zu sagen, dass Glyphosat ab 2023 voraussichtlich nicht mehr für die deutschen Landwirte verfügbar sein wird. Es gilt nun Alternativen zu finden, um die Unkrautbekämpfung weiter effizient, aber auch umwelt- und klimaschonend durchführen zu können.

2.3.2 Die Glyphosatminderungsstrategie

Da ein sofortiges Verbot des herbiziden Wirkstoffs nicht möglich ist, denn das Mittel ist in der EU noch zulässig, entwickelte Deutschland die Glyphosat-Minderungsstrategie. Mit dieser sollen in der Landwirtschaft alle glyphosathaltigen Pflanzenschutzmittel stark eingeschränkt und ab dem Jahr 2023 auf diese verzichtet werden. Eine Anwendung von Pflanzenschutzmitteln die Glyphosat enthalten soll nur noch im Notfall zugelassen werden. Der Vorschlag wurde 2018 vom Bundeslandwirtschaftsministerium beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit eingereicht. Allerdings sind sich diese bis heute nicht einig. Zuletzt weil das „Aktionsprogramm Insektenschutz“ beschlossen wurde, erschwert es den Ministerien die Strategie umzusetzen. (FragDenStaat, 2020)

2.3.3 Die Glyphosat-Alternativen

Chemisch gibt es keine direkte Alternative zum Glyphosat, die in geringer Aufwandmenge so effizient wirken kann. Nur mehrere Pflanzenschutzmittel in Kombination wirken ähnlich, sind dann aber meist schädlicher oder die Anwendung übersteigt den Kosten–Nutzen–Effekt. Eine mögliche Neuentwicklung der Universität Tübingen, könnte als chemische Glyphosatalternative in Frage kommen. Aus dem Cyanobakterium *Synechococcus elongatus* konnte das Desoxyzucker 7dSh gewonnen werden. Es wirkt ähnlich wie Glyphosat und wird weiter beforscht. (Brilisauer & Harter, 2020)

Da es im Moment keine anderen chemischen Alternativen gibt, die Glyphosat ersetzen, nutzt man mechanische und thermische Verfahren, um Unkräuter und Ausfallgetreide zu bekämpfen. Die mechanische Unkrautregulierung kann durch Pflügen, eine intensivere Stoppelbearbeitung und Grundbodenbearbeitung oder Mulchen umgesetzt werden. (Kehlenbeck, et al., 2015) Der Pflug wendet den Boden, verschüttet so alle Samen und bereits ausgekeimte Unkräuter. Hierbei steigt die Gefahr das verschüttete Unkrautsamen und Ausfallgetreide in die Dormanz übergehen. Raps besitzt eine sekundäre Keimruhe von bis zu 10 Jahren (D´Hertefeldt, B Jørgensen, & B Petterson, 2008), Ackerfuchsschwanz auch bis zu 10 Jahre (Henne, Pekrun, & Pflaum, 2010). Im Nachhinein steigt der Unkrautdruck über die Jahre, da die Samen im Boden verweilen und in Folgejahren in den Kulturen auskeimen. Zudem ist der Einsatz des Pfluges nicht förderlich für die Umwelt und das Klima. Durch Pflügen wird im Boden gebundener Kohlenstoff, in Form von Humus, in die Luft als Kohlenstoffdioxid freigesetzt. Die Fruchtbarkeit des Bodens wird reduziert. Daraus resultiert eine steigende Gefahr von Erosionen. Wasser und Nährstoffe werden schlechter in der oberen Bodenkrume gehalten. (Kehlenbeck, et al., 2015) Durch freigesetztes CO₂ wird der Klimawandel weiter verstärkt. Das Pflügen des Bodens ist kosten- und arbeitsintensiver, denn es wird mehr Treibstoff verbraucht. Es wird dem Boden bei der Bearbeitung zu viel Wasser entzogen, was bei aktuellen Umständen im Klimawandel starke Ertragseinbußen nach sich ziehen kann. Die Wirkung durch den Pflug und allgemein der Bodenbearbeitung ist aber kurzfristig mit der des Glyphosats zu vergleichen, denn die Ackerfläche ist auch vegetationsfrei. Die thermische Unkrautregulierung ist ebenfalls kostenintensiv und die Flächenleistung gering. Durch das Abflammen wird viel Energie verbraucht, da die Technik nicht fortschrittlich ist, kommt sie in Deutschland kaum zur Anwendung. (Follak, Kastenhuber, Redl, & Steinkellner, 2019) Der Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten ermöglicht, vor und während des Anbaus einer Kultur, den Unkrautdruck durch Bodenbedeckung zu reduzieren. Es verbessert viele andere Aspekte, wie zum Beispiel die Bodenfruchtbarkeit und wirkt gegen das Insektensterben. Zusätzliche Saatkosten senken den Deckungsbeitrag. Aktuell ist der Einsatz von ultraflach arbeitenden Bodenbearbeitungsgeräten interessant. Bei einer Überfahrt erzeugen diese oberflächlich Feinerde. Im Scheinsaatbett können Unkraut und Ausfallgetreide noch besser auskeimen und können im zweiten Durchgang ganzflächig bekämpft werden. (Väderstad GmbH, 2020) Diese Geräte arbeiten in einer Arbeitstiefe von 2-3 cm, so wird nur sehr wenig Erde bewegt und der Boden trocknet nicht so stark aus. Bei einem ganzflächigen Schnitt werden die Kapillaren gebrochen, Stroh- sowie Erntereste eingemischt und die Rotte eingeleitet. Die Flächenleistung ist aufgrund von hohen Arbeitsbreiten und hohen Arbeitsgeschwindigkeiten enorm. Zudem wird wenig Zugkraft benötigt.

2.4 Entwicklung der Vorführgeräte

2.4.1 *Die Väderstad Carrier CrossCutter-Disc*

Die Entwicklung der Carrier Kurzscheibenegge geht zurück bis in das Jahr 1999. Sie war die erste Scheibenegge dieser Form und ein Meilenstein der Landtechnik. Die Firma Väderstad wollte ein Multifunktionsgerät schaffen, das für die Primärbodenbearbeitung bei hohen Arbeitsgeschwindigkeiten und Saatbettbereitung sowie geringen Kosten arbeitet. Das Gerät ist für die Aufgaben Stoppelbearbeitung, Einarbeitung, Aussaat von Feinsämereien und Schädlingsvorbeugung konzipiert. Seit der Vorstellung gab es kein vergleichbares Gerät, das mit unterschiedlichen Vorsätzen so vielseitig ist. Die CrossCutter-Disc wurde im Jahr 2018 vorgestellt. Diese entwickelte sich aus dem CrossCutter-Knife und ist hervorragend geeignet für die Raps- und Maisstoppelbearbeitung sowie Zwischenfruchtzerkleinerung. Aufgrund der Form zerkleinert diese großen Mengen organischer Masse und arbeitet dabei auch ganzflächig schneidend. (Väderstad GmbH, 2020)

2.4.2 *Der Köckerling Allrounder-flatline*

Im Jahr 2019 wurde der Allrounder-flatline auf der Agritechnica vorgestellt. In Arbeitsbreiten von 6 m und 7,5 m ist dieser für die ultraflache Stoppelbearbeitung, der Saatbettbereitung und das Umbrechen von Zwischenfrüchten gebaut worden. Somit soll dieser gut mit schwierigem organischem Material zurechtkommen. Bei hervorragender Bodenadaptation, auch in kupiertem Gelände. Schon im Jahr 2019 konnten die Grubber bestellt werden. (Köckerling GmbH & Co. KG, 2020) Im Gegensatz zum Carrier und Koralin arbeitet der Allrounder nur mit einer hohen Zinkenanzahl ohne Schneidwerkzeuge.

2.4.3 *Der Lemken Koralin*

Im Hause Lemken begannen die Überlegungen für ein Gerät, speziell für die Stoppelbearbeitung, bereits im Jahr 2017. Anfang 2018 kam es zur Entscheidung und zum Beginn der Entwicklung des Koralin. Grund zur Entwicklung war die kritische Diskussion der Zulassung des Glyphosats und anderer Herbizide. Somit müssen mechanische Lösungen geschaffen werden. Schon im Sommer wurden erste Baugruppen überprüft sowie der erste Prototyp konstruiert. Diese wurden auf 1500 ha untersucht. Im Sommer 2019 wurde das Vorserienmodell fertiggestellt und auf unzähligen Betrieben in Deutschland und Frankreich ausprobiert. Zur Agritechnica 2019 wurde die Nullserie vorgestellt, die im Jahr 2020 erstmalig ausgeliefert werden sollten. Das Einsatzspektrum des Koralin bezieht sich vor allem auf die Stoppelbearbeitung und Saatbettbereitung mit Hauptaugenmerk auf die Unkrautbekämpfung. Das Gerät hebt sich von der Konkurrenz durch die Kombination aus Scheiben und Zinkenfeld ab. (Lemken GmbH & Co. KG, 2019)

3. Material und Methoden

3.1 Väderstad Carrier CrossCutter-Disc

3.1.1 Aufbau und Wirkung des Carriers



Abbildung 3: Carrier 650 CCD bei der Stoppelbearbeitung (Foto: Väderstad, 2020)

Der Carrier ist ein Trägergerät, welches verschiedene Vorsätze tragen kann (Abb. 3). Darunter sind Kurzscheibeneggenfelder mit unterschiedlichen Scheiben, Striegel für die Stoppelbearbeitung, Nivelliervorsätze für die Saatbettbereitung und die Walze, welche auch Solo für die Rückverfestigung genutzt werden kann. Für die Stoppelbearbeitung stehen unterschiedliche Scheiben zur Auswahl. Bei der ultraflachen Bodenbearbeitung steht die CrossCutter-Disc (Abb. 4) zur Verfügung, die bei einer Arbeitstiefe von 2–10 cm den Boden ganzflächig bearbeitet. Standardmäßig werden TrueCut-Scheiben mit einem Durchmesser von 450 oder 470 mm verwendet. Je nach Scheibe ist eine Bodenbearbeitung von 5–16 cm Tiefe möglich. Optional sind vor dem Scheibensegment ein Strohstriegel oder ein CrossCutter-Knife bestellbar. Mit dem Strohstriegel können Erntereste noch besser verteilt werden. Die Messerwalze CrossCutter-Knife ist für die Zerkleinerung von Rapsstoppeln und Zwischenfrüchten sowie der Maiszünslerbekämpfung konzipiert. Auch ist der Aufbau eines pneumatischen Saatkastens optional möglich. Dieser Saatkasten mit dem Namen BioDrill kann Feinsämereien wie Zwischenfrüchte, schon im ersten Stoppelgang aussäen. Der Aufbau der Carrier ist simpel. Unter dem Rahmen sind die Walzen befestigt und vorne die Hydraulik mit den Trägerankern für die jeweiligen Vorwerkzeuge. Die Klapptechnik ist auch einzigartig. Der Schwerpunkt ist zudem niedrig gehalten, um den Transport zu erleichtern. Das Gerät unterteilt sich in 3 Teile und ermöglicht so eine sehr gute Boden Anpassung und das auch auf kupiertem Gelände. Jede einzelne Scheibe des Scheibensegments wird von einem Arm getragen. Diese sind gummigedämpft und verbessern das Einzugsverhalten sowie die Bodenkonturanpassung. Aufgrund des hohen Eigengewichts werden die Scheiben in den Boden gedrückt, was bei trockeneren Bedingungen für ein gutes Arbeitsergebnis sorgt.

Mit Arbeitsgeschwindigkeiten von 15 bis 20 km/h hat der Carrier eine sehr hohe Schlagkraft und ist in Arbeitsbreiten von 4,2 bis 12,2 m erhältlich. Das Gerät wird permanent auf dem Feld über die Walzen gefahren. Nur im eingeklappten Zustand, zum Straßentransport, wird das Gerät auf Rädern getragen. (Väderstad GmbH, 2020)

3.1.2 Die Vorführung des Carrier CCD

Die Vorführung erfolgte bereits im Juli 2019. Es war das erste Gerät, das auf dem Betrieb vorgeführt wurde. Denn zu diesem Zeitpunkt sollte die alte Carrier Scheibenegge des Betriebs ersetzt werden. Die Väderstad Scheibenegge wurde von Titan Machinery mit einen Case Optum 300 CVX zur Verfügung gestellt und von einem Väderstad Vorführfahrer bedient. Die Scheibenegge hatte eine Arbeitsbreite von 6,5 m und war mit den CrossCutter-Discs (Abb. 4) für die ultraflache Rapsstoppelbearbeitung ausgerüstet. Insgesamt sind an der Carrier 650 52 Scheibenarme mit einem Strichabstand von 25 cm verbaut. Durch das Anwinkeln der Scheibenträger um 14° hat jede einzelne CrossCutter-Disc eine effektive Arbeitsbreite von 13 cm. Das Scheibenfeld ist auf 2 Balken aufgeteilt und so kann der 2. Balken mit leichtem, einstellbarem Versatz zum 1. Balken die gesamte Arbeitsfläche abdecken. Die schwere SteelRunner Walze hat durch das aggressive Profil einen besseren Eigenantrieb und verbessert so den Durchgang. Sie zerkleinert gröbere Kluten und verfestigt den Boden leicht zurück.



Abbildung 4: Sicht auf die CrossCutter-Disc der Carrier (Foto: Florian David)

Die Einstellung der Arbeitstiefe erfolgt über Distanzscheiben an den Hubhydraulikzylindern der Scheibensegmente. Getestet wurde das Gerät auf der Rapsstoppel im ersten Stoppelumbruch auf einer Tiefe von 2-3 cm. Bei dieser Arbeitsbreite wird mindestens eine Leistung von 190 PS benötigt. Der Case Optum hatte 300 PS und war eigentlich zu groß für das Gerät. Die Arbeitsgeschwindigkeiten lagen zwischen 18–20 km/h, dadurch war die Schlagkraft enorm. In der vorgeführten Ausstattung kostet das Gerät rund 45.000 €. (Väderstad GmbH, 2020)

3.2 Flachgrubber Köckerling Allrounder-flatline

3.2.1 *Der Aufbau des Köckerling Flachgrubbers*

Der Allrounder ist in drei Segmente unterteilt, die es erlauben, sich dem Boden besser anzupassen. Die Außenflügel können um 8° nach oben und unten neigen. So kann das Gerät in kupiertem Gelände die voreingestellte Zinkentiefe einhalten. Je Flügel sind zwei große Stützräder montiert, die das Gerät auf Arbeitstiefe halten, zusammen mit der für Köckerling typischen Doppel STS-Walze. Die Arbeitstiefe wird hydraulisch über die Frontstützräder verstellt. Eine Mechanik verändert die Höhe der Walzen über die Fronträder. Die Zinken sind auf 6 Balken mit einem Abstand von 70 cm verteilt. Dadurch ist der Allrounder länger als die anderen Vorführgeräte (Abb. 5). Wichtig ist dies aber, um bei einem Strichabstand von 13 cm den Materialdurchgang bei viel organischer Masse zu gewährleisten. Ein weiterer Vorteil der längeren Bauweise ist die bessere Einebnung der bearbeiteten Fläche. Der Boden verweilt länger in der Maschine, kann sich besser mit organischer Substanz vermengen und so besser verteilen. Die Rahmenhöhe beträgt 64 cm und ermöglicht so einen guten Durchgang. Die neu entwickelte Zinkenform des Allrounder-flatline wird als Elefantzinken bezeichnet. Sie sind mit Blattfedern am Rahmen befestigt. Optional können die Zinken mit einer Doppelfeder ausgestattet werden, die die Schare bei schweren Bedingungen stabilisiert und das Einzugsverhalten verbessert. Die Schare sind nicht vorgespannt und können dadurch vor- und zurückschwingen, ohne die Arbeitstiefe zu verändern. Das hat den Vorteil, dass die organische Masse sich nicht an den Zinken verwickelt und mehr Feinerde produziert wird. Gewählt werden kann zwischen Gänsefußscharen für die flache Bodenbearbeitung und Meißelscharen, für die tiefere Bodenbearbeitung. Das Gerät kann Arbeitstiefen von 2 cm bis 15 cm exakt unter jeglichen Bedingungen einhalten. Optional ist eine vorlaufende Messerwalze für die Zerkleinerung von Raps- oder Maisstopfeln und Zwischenfrüchten erhältlich. Für die Saatbereitung kann der Grubber mit einem Front-Levelboard ausgerüstet werden, der den Boden vor der Aussaat besser einebnet, Kluten zerkleinert und Feinerde erzeugt. Die Doppel STS-Walze sorgt für die leichte Rückverfestigung des Bodens. Ein an den Walzen montierter Nachstriegel verteilt Strohhaufen, bringt zusätzliche Feinerde und rüttelt Ausfallgetreide sowie Unkräuter auf die Bodenoberfläche. (Landmaschinenfabrik Köckerling GmbH & Co KG, 2019)



Abbildung 5: Seitenansicht des Köckerling Allrounder (Foto: Florian David, 2020)

3.2.2 Die Vorführung des Allrounder-flatline

Der Köckerling Allrounder-flatline wurde Anfang August 2020 getestet. Die Steinhage Landtechnik stellte dieses Gerät zur Verfügung und es war zu dem Zeitpunkt noch eine Neumaschine.



Abbildung 6: Allrounder-flatline in Arbeitsposition in der Rapsstoppel (Foto: Florian David, 2020)

Das Vorführgerät wurde mit einem John Deere 8320 R mit 320 PS (Abb. 6) ausgetestet. Um Bodenverdichtungen zu vermeiden und die Zugkraft besser auf den Boden zu übertragen, waren Doppelreifen montiert. Der Flachgrubber hatte eine Arbeitsbreite von 6 m. Auf dieser Breite waren 47 Zinken verbaut. An den Zinken waren verschleißarme Hartmetall-Scharspitzen von Köckerling verbaut. Diese waren 55 mm breit, somit gab es keine Überlappungen zwischen den Zinken. Im Vorfeld war die optionale Messerwalze verbaut. Der Durchmesser dieser beträgt 360 mm und ist mit 6 gewendelten Messern pro Walze ausgerüstet. Des Weiteren waren die Doppelfedern an den Elefantzinken verbaut, die bei den trocknen Bedingungen vom Vorteil waren. (Köckerling GmbH & Co. KG, 2020)

Das Gerät wurde einmal im Raps bei einer Tiefe von 2-3 cm und im zweiten Weizenstoppelstrich bei einer Tiefe von 14 cm getestet. Es hat einen Mindestzugkraftbedarf von 250 PS in der Arbeitsbreite. Bei der Rapsstoppel hatte der JD 8R keine Probleme.

In der Getreidestoppel bei 14 cm war dieser an den Leistungsgrenzen. Die Einstellung des Grubbers ist hydraulisch und einfach aus der Kabine zu bedienen.

Mittels einer Skala kann die Arbeitstiefe abgelesen und kontrolliert werden. Beim Ausklappen müssen die äußeren Flügel in die Waagerechte gebracht werden, was über eine Schablone erkennbar ist. Die Messerwalze wird auch hydraulisch in Arbeitsposition geschwenkt und mit leichtem Druck auf den Boden gedrückt. In der Getreidestoppel blieb dieser hochgeschwenkt. Die U-Profile der Doppel STS-Walze füllen sich mit Erde und entwickeln dadurch Eigenantrieb. Dieser Prozess verhindert Verstopfungen. Der Nachstriegel wird über ein Stickeraster in der Aggressivität verstellt. Der Preis des Allrounder-flatline liegt in dieser Ausstattung bei etwa 54.000 €. Die maximale Arbeitsgeschwindigkeit liegt bei 18 km/h, allerdings wurde das Gerät nur mit einer Geschwindigkeit von 14 km/h gefahren, um die Technik zu schonen.

3.3 Hybridgrubber Lemken Koralin

3.3.1 *Aufbau des Hybridgrubbers*

Der Koralin wird als Hybridgrubber bezeichnet, das bedeutet in diesem Fall die Kombination aus einem zweireihigen Scheiben- und einem drei balkigen Zinkenfeld (Abb. 7). Das Scheibenfeld ist bekannt von der Lemken Heliodor Scheibenegge. Die gezackten Scheiben messen einen Durchmesser von 510 mm und sind über Blattfedern gegen Steine abgesichert. Diese schneiden den Boden vertikal auf, verbessern so den Einzug der Gänsefußschare und zerkleinern organische Masse. Das Gerät arbeitet dadurch verstopfungsfreier. Die etwas tiefere Arbeit der Scheiben verhindert eine Sohlenbildung der Schare. Durch die vertikale Vorlockerung der Scheibeneinheit wird etwa 75 % Verschleiß der Schare eingespart. Die Gänsefußschare im Zinkenfeld sind 380 mm breit. Bei einem Strichabstand von 30 cm überlappen diese Schare um 40 mm und gewährleisten so einen horizontalen Schnitt auf der gesamten Arbeitsbreite. Wurzeln werden ganzflächig abgeschnitten und die Kapillarität gebrochen. Bei der Überfahrt wird aber nur die Erde oberhalb der Schare bewegt. Die Struktur unter den Scharen wird nicht verändert. Die Zinken sind mit Spiralfedern am Rahmen gegen Steine abgesichert und verhindern vertikalen und horizontalen Verzug der Schare. Diese Kombination erlaubt die Bodenbearbeitung von 2 cm bis maximal 10 cm. Aufgrund der symmetrischen Anordnung der Scheiben und Zinken wird Seitenzug verhindert. Nach dem Zinkenfeld folgen Nivellierzinken, die die Oberfläche einebnen. Zur leichten Rückverfestigung sind Krümelwalzen verbaut.

Optional kann ein vier-balkiger Striegel anstatt der Walze verbaut werden. Dieser sorgt für eine feinere Bodenoberfläche und fördert so das Auskeimen von Ausfallgetreide und Unkrautsamen. Die Arbeitstiefe wird über fünf Stützräder und dem Fahrwerk geführt. Dies ermöglicht eine Anpassung des Gerätes im kupierten Gelände. Seitliches rutschen des Gerätes am Hang wird dadurch auch weitestgehend verhindert. Die Nachläufer werden komplett über die Räder entlastet. Bei der Konkurrenz wird die gesamte Last auf die Walzen verteilt und die Arbeitstiefe reguliert. Die Arbeitstiefe wird komplett hydraulisch verstellt und kann über Skalen nachverfolgt werden. Erhältlich ist der Koralin in Arbeitsbreiten von 6,6 m und 8,4 m. Eine 12 m breite Version ist für die Zukunft geplant. (Lemken GmbH & Co. KG, 2020)



Abbildung 7: Aufbau des Koralin seitlich gesehen (Foto: Florian David, 2020)

In Abbildung 7 sieht man den seitlichen Aufbau der einzelnen Werkzeuge. Von rechts nach links erst die vorarbeitende Kurzscheibenegge, dann das Zinkenfeld, abschließend die Nivellierzinken mit Krümelwalze und Striegel.

3.3.2 Die Vorführung des Lemken Grubbers



Abbildung 8: Lemken Koralin im ausgeklappten Zustand in der Rapsstoppel (Foto: Florian David, 2020)
Mitte August 2020 wurde der Lemken Koralin (Abb. 8) vorgeführt. Dieser war zu dem Zeitpunkt noch in der Nullserie und mit einer der ersten Maschinen dieser Art, die in dieser Form präsentiert wurde.

Der Koralin, der zur Vorführung von Lemken bereitgestellt wurde, hatte eine Arbeitsbreite von 8,4 m. Bei dieser Arbeitsbreite sind 55 Scheiben und 28 Zinken verbaut. Das Gerät kommt auf ein Gewicht von circa 8,5 t und benötigt etwa 300–400 PS. Bei der Vorführung wurde auch derselbe John Deere 8320R angekoppelt wie am Köckerling Allrounder-flatline. Dieser hatte bei der Arbeit auf flacheren Arbeitstiefen genug Leistungsreserven. Bei einer Arbeitstiefe von 10 cm im 2. Stoppelgang war dieser aber an den Grenzen. Ausgelegt ist es auf eine Arbeitsgeschwindigkeit von max. 14 km/h, was in Kombination mit der Arbeitsbreite für eine hohe Flächenleistung sorgt. Die Wartung des Gerätes ist simpel. Alle Lager sind wartungsfrei nur die Knickpunkte der Klappung besaßen eine Schmierstelle. Die DeltaCut-Gänsefußschare waren mit Hartmetall beschichtet, um eine noch höhere Standzeit zu gewährleisten. Der Scharwechsel ist mit dem Schnellwechselsystem schnell umgesetzt und reduziert die Wartungszeiten. Als Nachläufer war eine Krümelwalze mit einer Reihe Striegel verbaut. Damit wurde noch mehr Feinerde auch auf schwereren Standorten produziert. Der Striegel verteilt zudem Erntereste, wie lange Rapsstoppeln, auf der bearbeiteten Fläche. Bei der richtigen Einstellung des Koralin waren Mitarbeiter von Lemken beteiligt. Die Verstellung der Scheiben- und Zinkentiefe erfolgt hydraulisch aus der Kabine. Die Maschine konnte so während der Fahrt angepasst werden. Im Raps wurde das Gerät auf eine Arbeitstiefe von 4-5 cm gefahren. Auf der Weizenstoppel im zweiten Stoppelstrich auf 10 cm. Der Preis des Koralin wurde in dieser Ausstattung auf ca. 85.000€ Brutto geschätzt.

3.4 Der Versuchsbetrieb

Auf der Gutsverwaltung Schönfeld KG in der Uckermark erfolgten die Versuche der ultraflachen Bodenbearbeitungsgeräte. Dies ist ein konventionell wirtschaftender Betrieb ohne Tierhaltung. Auf einer Fläche von 1094 ha werden Weizen, Raps, Gerste, Zuckerrüben, mit vorheriger Zwischenfrucht, und zu einem geringen Anteil Faserhanf angebaut. Von dieser Ackerfläche sind 861 ha Eigenland und 233 ha dazu gepachtet. Der Boden ist mit Bodenwertzahlen von 21–60 Bodenpunkten, bei einem Mittelwert von 44 Punkten, gut. Seit sehr langer Zeit wird die Fruchtfolge Wintergerste – Winterraps – Winterweizen – Zuckerrübe/Faserhanf – Winterweizen eingehalten. Dabei macht der Winterweizen den größten Anteil der Folge aus. Die Flächen sind zum sehr großen Teil arrondiert, was die Logistik vereinfacht. Es sind 4 Arbeitskräfte fest angestellt, dazu kommen 2 Saisonkräfte. Der Betriebsinhaber übernimmt auch die Betriebsleitung. Die Firma verfügt über eine eigene Getreidetrocknungs- und Reinigungsanlage. Sie ist somit im Sommer flexibler bei feuchteren Erntebedingungen. Ein Großteil des Erntegutes wird in eigenen Hallen direkt nach der Ernte eingelagert. Der Fuhrpark besteht aus 5 Schleppern von Fendt und John Deere, einem Claas Mähdrescher, sowie Geräten von Köckerling, Horsch, Amazone, Väderstad und Rabe. Die Rübenaussaat und Ernte wird von einem Lohnbetrieb übernommen. Die Ernte und das Bergen des Faserhanfs wird von der Hanffaserfabrik selbst umgesetzt. (Hammerschmidt, 2020)

Im Jahr 2019 musste man sich mit der Frage auseinandersetzen, wie man den älteren Väderstad Carrier ersetzt. Eingesetzt wurde dieser in dem Jahr nur noch für die erste Rapsstoppelbearbeitung. Der enorme Verschleiß des Carriers ermöglicht es nicht mehr Ernterückstände einzuarbeiten und das Ergebnis ist nicht den Vorstellungen entsprechend. Von Lemken kam im selben Jahr eine Heliodor Kurzscheibenegge und von Väderstad die Carrier CrossCutter-Disc zu Vorführungen. Im folgenden Jahr wies auch der Köckerling Vector Mulchsaatgrubber altersbedingte Mängel auf. Dafür wurden der Köckerling Allrounder-flatline und der Lemken Koralin getestet. Bis auf die Heliodor Scheibenegge waren alle Maschinen auch für die ultraflache Bodenbearbeitung konzipiert und zeigten sich zukunftsorientiert, aufgrund des bevorstehenden Verzichts auf Glyphosat. Auch der Klimawandel geht an diesem Standort nicht vorbei. In den letzten Jahren kam es zu immer längeren Frühjahrstrockenperioden. Dadurch fehlte dann das Bodenwasser für die Bestellung der Folgekultur. Im Jahresdurchschnitt der letzten Jahre fielen 515 mm Niederschlag, wobei im gesamten Jahr 2018 nur 340 mm Niederschlag in der Umgebung gefallen sind. Im Folgejahr waren es 527 und im Jahr 2020 472 mm. (Hammerschmidt, 2020) Die Bodenreserven sind zum jetzigen Stand noch nicht aufgefüllt, denn die letzten Jahre waren viel zu niederschlagsarm. Deswegen ist es auch zum Ziel geworden, wassersparend zu arbeiten. Dies soll durch die geringfügige Stoppelbearbeitung umgesetzt werden.

3.5 Die Versuchsstandorte

Die Versuche der einzelnen Geräte fanden auf verschiedenen Schlägen statt, da die Maschinen meist nicht zur selben Zeit verfügbar waren. Der 2019 getestete Carrier wurde auf dem Schlag Tornow Rechteck (Abb. 9, Schlag 1) vorgeführt. Dieses Feld hat insgesamt 50 ha, die auch komplett von der Väderstad Scheibenegge bearbeitet wurden. Der Boden erzielt im Schnitt 47 Bodenpunkte. Dieser ist insgesamt homogen, sandig bis lehmig und die Fläche ist sehr eben. Im Erntejahr 2019 war hier Winterraps der Sorte Bender angebaut. Bestellt wurde dieser Raps im Grubbersaatverfahren mit einer sehr geringen Saatstärke von 27 Körner/m². Mit der Grubbersaat soll eine extra Überfahrt mit einer Sämaschine eingespart werden. Der Boden wird dabei auf 30 cm aufgebrochen und durch das Bestellgespann nicht mehr verdichtet. Dies ist wiederum förderlich für die Bildung der Rapsfahlwurzel. Der Bestand war, trotz der sehr niedrigen Saatstärke, üppig mit sehr starken Einzelpflanzen. Aufgrund der sehr langanhaltenden Frühjahrstrockenheit litten die Bestände vor der Ernte. Das zeichnete sich auch im Ertrag, der bei 33,8 dt/ha lag, nieder. Dafür war der Öl-Gehalt mit 46 % enorm hoch und der Raps musste auch nicht getrocknet werden. (Hammerschmidt, 2020) Die Folgefrucht war Winterweizen. Zur Rapsausfallbekämpfung und auch bei der Stoppelbearbeitung nach der Ernte war es weiterhin sehr trocken. Der Carrier mit der CrossCutter-Disc wurde in einer sehr extremen Situation auf steinharten Boden getestet. Das Ziel lag darin die Stoppeln zu zerkleinern, die Kapillaren zu brechen und dem Ausfallraps bestmögliche Keimbedingungen zu schaffen, jedoch so flach wie möglich.

Im Jahr 2020 wurde Raps auf den Schlägen Egelsee und Karpfenpfuhl angebaut. Auf dem Feld Egelsee (Abb. 9, Schlag 2) wurde der Allrounder-flatline auf rund 60 ha des ca. 140 ha großen Ackers getestet. Der Schlag hat im Schnitt 41 Bodenpunkte, ist leicht kupiert und es finden sich kleinere Lehmkuppen und Sandlinsen. Ausgesät waren hier die Sorte Trezzor und Avatar. Hierbei war der größte Teil im Grubbersaatverfahren und ein Teil mit einer Kreiselgrubber-Sähkombination. Aufgrund der schwereren Böden wird die Sähkombination schon seit mehreren Jahren eingesetzt. Diese liefert sehr gute Arbeitsergebnisse, die sich im guten Feldaufgängen widerspiegeln. Es wurden 33 Körner/m² gedrillt und es kam zu einem durchschnittlichen Ertrag von 41 dt/ha. Auf dem etwa 80 ha großen Feld Karpfenpfuhl (Abb. 9, Schlag 3), wo der Koralin seinen Einsatz fand, wurden die Sorten Architekt und Alvaro nur mit der Sähkombination bestellt. In diesem Verfahren wird mit einem Horsch Terrano der Boden auf etwa 20 cm vorgegrubbert und direkt im Anschluss wird mit der Kombi gesät. Dieser Acker ist etwas stärker kupiert und auch hier sind manche Stellen lehmiger, manche sandiger. Laut Bodenwertschätzung kommt der Boden auf etwa 46 Punkte.

Hier betrug die Aussaatstärke 33 Körner/m², wobei hier pro Hektar im Schnitt 46 dt geerntet wurden. (Hammerschmidt, 2020) Das Jahr 2020 war sehr trocken. Dafür war das Frühjahr kühler und die Trockenheit hielt nicht so lang an wie im Vorjahr. Der Ölgehalt lag bei etwa 43,5 % und die Trocknungskosten blieben, bei den trockenen Erntebedingungen, niedrig. Die Rapsstoppelbearbeitung war nicht so extrem wie im Vorjahr. Die Böden waren in den tieferen Schichten noch durchfeuchtet und nächtlicher zum Teil starker Tau förderte das Auskeimen des Ausfallraps. Es wurde eher darauf geachtet, dass die Rapsstoppel gut eingemischt, der Boden ganzflächig bearbeitet und die Kapillaren gebrochen wurden, um Bodenwasser einzusparen.

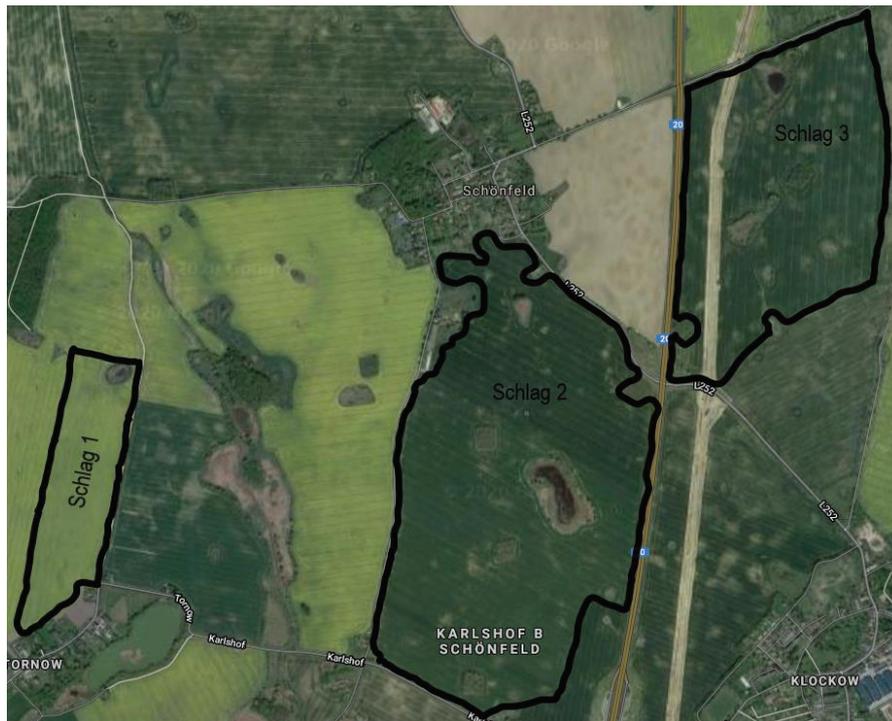


Abbildung 9: Satellitenbild von Schönfeld mit eingezeichneten Testschlägen (Aufnahme: Google Maps, 2021)

Testschlag	Schlag 1	Schlag 2	Schlag 3
Arbeitsgerät	Väderstad Carrier	Köckerling Allrounder	Lemken Koralin
Arbeitsbreite	6,5 m	6 m	8,4 m
Ausstattung	CrossCutter-Disc, SteelRunner Walze	Messerwalze, schmale Schare, STS-Walze und Striegel	Heliodor Scheibefeld, Gänsefußschare, Krümelwalze und Striegel
Bedingungen	sehr trockener, harter Boden wenig Ernterückstände	trockener Boden, viele Ernterückstände	trockener Boden, viele Ernterückstände
Arbeitstiefe	2-3 cm	2-3 cm	4-5 cm
Schlepper	Case Optum 300 CVX	John Deere 8320R	John Deere 8320R
Geschwindigkeit	20 km/h	14 km/h	14 km/h

Tabelle 1: Zusammenfassung der Vorfürungen (Quelle: Florian David, 2021)

4. Die Ergebnisse

Bei den Vorführungen erbrachten alle getesteten Geräte sehr gute Arbeitsergebnisse. Dabei schnitt der Carrier sehr gut ab. Die Rapsstoppel war sehr fein zerkleinert und in das gelockerte Erdmaterial eingemischt. Der Boden wurde ganzflächig auf die eingestellte Tiefe von 2–3 cm bearbeitet. Das Gerät wurde mit der maximalen Arbeitsgeschwindigkeit von 20 km/h gefahren. Dabei kam es zu einer sehr starken Erdbewegung im Gerät. Das Resultat war ein hoher Feinerdeanteil im gelockerten Bereich (Abb. 10).



Abbildung 10: Carrier CCD nach der Überfahrt durch Rapsstoppeln (Aufnahme: LK Niederösterreich, 2018)

Zudem wurde das Material geschichtet, grobe Kluten und Erde fielen zuerst, dann darauf die zerkleinerten Erntereste auf denen Rapsausfallkörner und Unkrautsamen lagen. Das ist vom Hersteller gewollt und basiert auf physikalischen Grundlagen. So werden optimale Keimbedingungen für Lichtkeimer geschaffen, wozu z.B. Raps und viele Unkräuter, sowie Ungräser zählen. Der ganzflächige Schnitt brach die Kapillaren, somit wurde die Verdunstung des Bodenwassers gestoppt. Die Flächenleistung lag bei etwa 12 ha/h bei einem Dieserverbrauch von ca. 5 l/ha. Dank nächtlicher Taubildung konnte ein hoher Anteil des Ausfallraps auflaufen. Um mehr Erntereste zu verteilen, wäre ein Strohstriegel vor den Scheiben vorteilhaft gewesen. Größere Rapsstrohhaufen wurden nicht auseinandergesogen. Dieser ist aber optional von Väderstad für den Carrier bestellbar. Die SteelRunner-Walze ist zudem nicht für Sandböden geeignet. Die Walze neigt schnell zu Schlupf und zieht größere Erdhaufen zusammen. Das Stoppen der Walze bemerkt man aufgrund der mangelnden Sicht erst spät. Da das Gerät in der Grundausstattung nicht über mitreißende Werkzeuge wie Schleppen verfügt, kann man diese Haufen auch nicht mehr glätten und muss diese mit anderen Geräten anschließend wieder ebnen. Aufgrund der Bauweise kann man das Gerät nicht ausheben und muss die Maschine in solchen Fällen erst einklappen. Für leichtere Standorte eignet sich die Gummiwalze RubberRunner besser.

Vorteilig ist aber der geringe Zugkraftbedarf, wodurch auch kleinere Schlepper die gleiche Flächenleistung erreichen können. Zudem war die Väderstad Kurzscheibenegge unter den Vergleichsgeräten das günstigste Gerät und wies eine robuste, langlebige Bauweise auf. Zum Vergleich folgend die Arbeitsergebnisse des Allrounder-flatline. Der Boden wurde ganzflächig bearbeitet (Abb. 11 u. 12), auch wenn die schmaleren Schare montiert waren. Die Messerwalze konnte die Rapsstoppeln brechen und zerkleinern. Das Zinkenfeld arbeitete die Erntereste homogen in den Boden ein. So wurden gute Voraussetzungen für die Rotte geschaffen. Bei diesem Gerät war im bearbeiteten Horizont ebenfalls ein sehr hoher Feinerdeanteil vorhanden, wodurch ein Scheinsaatbett geschaffen wurde. Die Kapillaren konnten gebrochen werden und die krümelige Auflage verringert zudem die Austrocknung des Bodens. Einige Stoppeln wurden nicht von der Wurzel getrennt, was wohlmöglich an der Bearbeitung mit dem Strich gelegen haben kann. Eine Bearbeitung in einen schärferen Winkel zur Drillrichtung wie eigentlich üblich, war zu dem Zeitpunkt nicht möglich, da die Fahrgassen sehr tief ausgefahren waren. Die Technik sollte vor Schäden geschützt werden. Bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 14 km/h und der Arbeitsbreite von 6 m waren Flächenleistungen von etwa 8 ha/h bei einem Dieserverbrauch von circa 7,5 l/ha möglich. Für die ultraflache Bodenbearbeitung wären die Gänsefußschare vorteilhafter gewesen. Diese hätten auch bei der Arbeit mit dem Strich alle Wurzeln abgetrennt. Die Strohverteilung war durch die lange Bauweise und den aggressiv gestellten Striegeln nach der doppelten STS-Walze auf der gesamten Fläche sehr gut. Zudem war der Durchgang bei höheren Mengen organischer Masse nicht verhindert. Der Boden war leicht rückverdichtet und durch das feine Scheinsaatbett wurden optimale Bedingungen für die Keimung des Ausfallraps geschaffen.



Abbildung 11: Arbeitsbild des Allrounder-flatline nach der Überfahrt (Foto: Florian David, 2020)



Abbildung 12: Vergleich der unbearbeiteten Stoppel (links) zur bearbeiteten (rechts) (Foto: Florian David, 2020)

Zuletzt die Arbeitsergebnisse des Lemken Koralin. Der Boden war ultraflach, ganzschneidend und auf eingestellte 4-5 cm bearbeitet. Das Kurzscheibeneggensegment hat die Stoppeln sehr gut zerkleinert (Abb. 12) und den Boden leicht vorgelockert. Dadurch konnten die Zinken leichter im Boden geführt werden und der Widerstand war geringer. Das merkte man am Schlepper, denn dieser verbrauchte nur etwa 6 l/ha Diesel und hatte bei der Arbeitsbreite von 8,4 m im kupperten Gelände keine Probleme. Das Gerät konnte sich sehr gut an die Konturen des Feldes aufgrund der dreiteiligen Bauweise anpassen. Die Stoppeln waren auf der gesamten Fläche von den Wurzeln abgetrennt. Die Scheiben und die Walze zerkleinerten und brachen die Rapsstoppeln. Die Zinken und der Striegel hinter der Walze verteilten die Erntereste auf der gesamten Fläche sehr gut. Den Effekt der Carrier (Abb. 14) konnte man auch hier sehen. Die organische Masse lag auf der Erdschicht auf und darunter war lockere Feinerde. Hier waren also optimale Bedingungen wie in einem Saatbett geschaffen, in dem Ausfallraps und Unkrautsamen keimen können. Allerdings merkte man dem Gerät an, dass es noch in der Nullserie und noch nicht komplett entwickelt ist. Die hydraulische Tiefeneinstellung hielt nicht auf der gesamten Breite die eingestellte Arbeitstiefe ein und das Gerät sackte während der Fahrt tiefer in den Boden ein. Ein weiteres Problem war das sehr schmal bereifte Fahrwerk. Auch wenn hinter den Reifen des Hubwerks Zinken verbaut waren, die die Fahrspur wieder lockern sollen, sah man nach der Überfahrt eine leichte Verdichtung.

Möglicherweise wäre es ratsam breitere Reifen zu montieren oder die Last des Gerätes noch besser zu verteilen. Des Weiteren war die Steinsicherung anfällig, da diese sich nach der Auslösung durch einen Stein verklemmte und nicht zurück in Arbeitsposition sprang. Der Zinken musste dann mit einem Hammer zurück in Position gebracht werden. Trotz dessen war das Arbeitsbild des Koralin sehr eben und gleichmäßig. Die Flächenleistung lag bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 14 km/h bei ca. 11 ha/h. Das Gerät war somit sehr schlagkräftig.



Abbildung 13: Rechts die mit dem Koralin bearbeitete Rapsstoppel, links gewalzt (Foto: Florian David, 2020)



Abbildung 14: Arbeitsbild des Lemken Koralin nach der Überfahrt (Foto: Florian David, 2020)

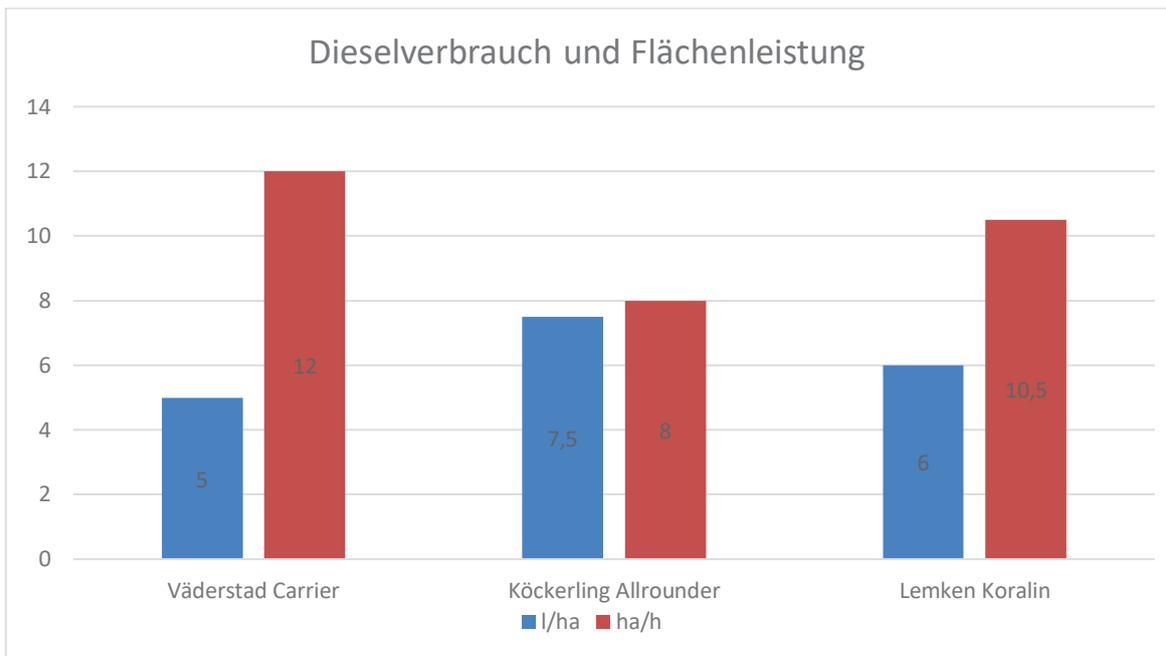


Abbildung 15: Flächenleistung und Dieserverbrauch der einzelnen Geräte (Quelle: Florian David, 2021)

Gerät	Väderstad Carrier	Köckerling Allrounder	Lemken Koralin
Arbeitsbild	fein zerkleinertes Rapsstroh geschichtetes Material viel Feinerde optimales Scheinsaatbett ganzflächiger Schnitt	gebrochene Rapsstoppeln Material homogen eingemischt viel Feinerde, krümelige Auflage optimales Scheinsaatbett kein ganzflächiger Schnitt	fein zerkleinertes Rapsstroh geschichtetes Material viel Feinerde optimales Scheinsaatbett ganzflächiger Schnitt
Vorteile	robuste Bauweise günstige Anschaffung geringer Zugkraftbedarf enorme Flächenleistung	robuste Bauweise gute Boden Anpassungsfähigkeit gute Bodeneinebnung hoher Materialdurchgang	geringer Zugwiderstand gute Boden Anpassungsfähigkeit keine Bodenrückverdichtung gute Strohverteilung
Nachteile	kein Fahrwerk Schlupfbildung der Walzen keine mitreißenden Werkzeuge	lange Bauweise hohe Zinkenanzahl hoher Verschleiß	fehlerhafte Tiefenführung Verdichtungen durch Fahrwerk anfällige Steinsicherung

Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse (Quelle: Florian David, 2021)

5. Die Diskussion

5.1 Vergleich der konventionellen zur ultraflachen Bodenbearbeitung

Für die Stoppelbearbeitung wird seit jeher auf konventionelle Bearbeitungsgeräte, wie die Scheibenegge oder den Grubber, zurückgegriffen. Hinsichtlich Raps und Mais auch auf Mulchgeräte und Schneidwalzen. Scheibeneggen lockern den Boden durch vertikale Einschnitte. Dabei werden Pflanzenrückstände zerkleinert und in den Boden eingemischt. Der Zugkraftbedarf ist gering und es können höhere Geschwindigkeiten gefahren werden, die wiederum die Schlagkraft erhöhen. Um eine optimale Bodenbewegung zu erreichen muss aber mindestens in einer Tiefe von 5 cm gearbeitet werden. Wobei nicht der ganze Boden auf der Tiefe bearbeitet wird. Die Standard Kurzscheibenegge hat nicht den Ebnungseffekt, da diese keine Erde mitschleppt. Hinsichtlich der Arbeitstiefe werden so sehr schnell Samen verschüttet, vor allem Lichtkeimer, wie Raps sollten so flach wie möglich auf der Erde aufliegen. Ein optimales Auflaufergebnis im Raps wird erreicht, wenn die Rapsstoppel nur gemulcht oder gewalzt wird. Der Mulcher bricht allein aber nicht die Kapillarität und der Einsatz ist sehr kostenintensiv. Dafür wird die Stoppel sehr fein zerkleinert. Es entsteht eine Mulchdecke in der die Ausfallsamen keimen können und die Oberfläche vor Erosion und Verdunstung geschützt wird. Die Rapsstoppel zu walzen hat den Vorteil das intakte Schoten zerdrückt werden und die Rapssamen keimen können. Zudem wird die Bodenoberfläche angedrückt und die Kapillaren geschlossen, wodurch die Evaporation unterdrückt wird. Bei der Überfahrt kommt es zu keiner Einmischung der Erntereste und die Stoppeln bleiben meist intakt. Raps keimt auch auf unbearbeiteter Stoppel bei ausreichender Feuchtigkeit. Allerdings werden in Ernterückständen Krankheiten in der Rapsfruchtfolge übertragen. Zu den wichtigsten Krankheiten gehören *Pseudocercospora capsellae* (Weiße Blattflecken, Graustängeligkeit), *Sclerotinia sclerotiorum* (Weißstängeligkeit), *Phoma lingam* (Wurzelhals- und Stängelfäule), *Alternaria brassicae* (Rapsschwärze), die mit nicht verrotteten Ernteresten in den nächsten Rapsbestand mit eingeschleppt werden können. (Väderstad GmbH, 2020)

Um das zu verhindern muss eine Kombination aus mischenden und schneidenden Geräten eingesetzt werden. Der Einsatz eines Grubbers hat einen sehr hohen mischenden Effekt, wobei aber die Erntereste nicht zerkleinert werden. Um viel organische Masse einarbeiten zu können, sind höhere Arbeitstiefen nötig, die ab etwa 7 cm beginnen. Dabei werden Samen zu tief in den Boden verlagert und gehen in die Dormanz über. Ein Vorteil bei der Bearbeitung mit einem Grubber ist der ebende Effekt und die Verteilung der Erntereste. Im Getreideanbau ist es vor allem die Strohverteilung, die schon mit der ersten Stoppelbearbeitung beginnt, wichtig. Strohmatte unterdrücken die Keimung von Ausfallgetreide und Unkrautsamen, da diese überschattet werden und die Luftzufuhr verringert wird.

Der Ackerfuchsschwanz liegt dabei im Fokus, denn dieser lässt sich aufgrund der Bildung von Resistenzen schwerer durch Herbizidapplikationen bekämpfen. Mit der ersten Bearbeitung der Stoppel sollte die Rotte beginnen. Im Getreide sind durch dichtere Bestände hohe Mengen Ernterückstände auf dem Feld. Bei der Rotte werden Nährstoffe, vor allem Stickstoff, verbraucht. Wenn die Strohverteilung nicht gleichmäßig ist, fehlen die Nährstoffe punktuell in der nachfolgenden Kultur, was wiederum mit Düngerapplikationen schwierig auszugleichen ist. Auch bei der Einarbeitung einer Zwischenfrucht stellt sich der Bodenbearbeitung eine hohe Menge organischer Masse in den Weg. Diese können gemulcht werden, was kostenintensiv ist, oder mit Glyphosat behandelt werden, was voraussichtlich mit dem Zulassungsverlust nicht mehr möglich ist. Meist werden Zwischenfrüchte mit einer Scheibenegge oder dem Grubber direkt eingearbeitet. Dabei werden aber die Pflanzen nicht immer zerstört und der Durchgang im Gerät ist meist nicht immer gegeben, wodurch die Bearbeitung erschwert wird. Die Zwischenfrüchte können aber eingepflügt werden. Es kommt dabei zu hohen Kosten und Strukturschäden sowie einer Zerstörung des Bodenlebens. Die Ergebnisse der Vorführungen zeigen, dass es mit den ultraflach arbeitenden Geräten möglich ist, viele Vorteile der anderen Geräte zu vereinen. Der Carrier konnte im Gegensatz zur Standardscheibenegge, durch die CrossCutter-Disc, auf einer Arbeitstiefe von 2-3 cm den Boden ganzflächig bearbeiten. Dabei wurde die Kapillarität gebrochen, das Rapsstroh zerkleinert und leicht eingearbeitet. Der Ausfallraps konnte sehr gut auf dem erzeugten Scheinsaatbett auflaufen. Somit kann man die Carrier CCD als eine Kombinationswirkung aus Mulcher, Scheibenegge und Walze vergleichen. Mit dem Gerät wurde der Boden nicht geebnet und daraus folgend kein Stroh verteilt, da keine mitreißenden Werkzeuge vorhanden waren. Dafür ist das Gerät schlagkräftig wie eine Scheibenegge durch hohe Arbeitsgeschwindigkeiten. Dies kann man an der hohen Flächenleistung (Abb. 15) erkennen. Der Köckerling Allrounder-flatline wirkt dahingegen eher wie eine Kombination aus Mulcher, Flachgrubber und Walze. Die Messerwalze zerkleinert die Erntereste und die Zinken arbeiten das Material leicht ein. Abschließend wird der Boden mit der STS-Walze leicht rückverdichtet. Die Flächenleistung war unter den getesteten Geräten beim Köckerling am geringsten (Abb. 15). Der Koralin hatte eher das Ergebnis einer Kombination aus Scheibenegge, Mulcher, Flachgrubber und Striegel. Die Erntereste waren fein zerkleinert, leicht eingearbeitet und auf der Fläche verteilt. Der Boden wurde ganzflächig geschnitten und somit die Kapillarität gebrochen. Alle drei Geräte zeichnen sich durch die Einarbeitung von viel organischer Masse aus. Somit wäre der Umbruch von Zwischenfrüchten mit allen drei Vorführgeräten möglich. Die Kombinationen des Allrounder-flatline aus Messerwalze und Zinkenfeld, sowie die des Koralin aus Scheiben- und Zinkenfeld können die meisten Vorteile vereinen. Es ist also möglich bisherige Geräte und Verfahren durch ultraflach arbeitende Geräte zu ersetzen und trotzdem gleiche Wirkungen zu erzielen.

5.2 Der Pflugeinsatz als Glyphosatersatz

Der Pflug ist neben dem Glyphosat das einzige Mittel, um ein Feld komplett von Unkraut zu befreien, obwohl die Wirkung zeitlich nicht so lang anhält. Deswegen wird der Pflugeinsatz wieder stark zunehmen nach dem Verzicht des Wirkstoffs Glyphosat. Allgemein wird die Bodenbearbeitung intensiviert. Dies ist aber kontraproduktiv, da es eigentlich entgegen der Umweltziele wirkt. Das Pflügen hat nur wenige Vorteile. So wird es weiter möglich auch engere Fruchtfolgen umzusetzen. Erntereste, Unkräuter und Ausfallgetreide werden unter die Erde gewendet. Das senkt den Herbizideinsatz, da Unkräuter und Krankheiten eingedämmt werden. Es gilt vor allem für Weizen nach Mais Fruchtfolgen, weil hier die Fusarien bekämpft werden müssen. Um Stoppelbrachen umzusetzen wird man, anstatt einer Glyphosatapplikation, eine Winterfurche anlegen müssen. Zudem bekämpft man mit einer intensiveren Bodenbearbeitung auch Schädlinge und Schnecken. Sehr hohe Mengen organischer Masse, wie bei einer Zwischenfrucht, wird in den Boden eingearbeitet und behindert die Aussaat nicht. Der Wiesenumbruch erleichtert sich mit dem Einsatz eines Pfluges. Schwerwiegender wirken sich die Folgen einer Bodenbearbeitung mit dem Pflug aus. Ein wichtiger Bestandteil des Bodens sind die Bodenorganismen, die durch die wendende Bearbeitung zerstört werden. Hierbei ist der Regenwurm zu nennen, dessen Bestand durch eine intensive Bodenbearbeitung sinkt. Folgend sind die Humusbildung und die Mineralisation eingeschränkt, welche sich in einer schlechten Bodenfruchtbarkeit widerspiegeln. Hinsichtlich der Umweltziele wird so CO² freigesetzt statt gespeichert, denn Humus wird durch die intensivere Durchlüftung abgebaut. Des Weiteren sind die Pflugsohlenverdichtungen negativ, da diese das Pflanzenwachstum begrenzen. Die Wurzeln können sich dadurch nicht tief in den Boden verzweigen. Gerade jetzt, wo es immer länger anhaltende Trockenperioden gibt, ist dadurch der Ertrag auf jeden Fall begrenzt. Der Boden muss dafür dann tiefengelockert werden, um Bodenverdichtungen wieder zu brechen. Ein weiteres Problem ist die steigende Gefahr von Erosionen durch Wind und Wasser, denn durch eine intensive Bodenbearbeitung wird die Bodenstruktur nachhaltig zerstört. Bei Trockenheit dörft der Boden oberflächlich schnell aus. Durch eine fehlende Mulchschicht ist dieser angreifbar für Wind und weht so feine Erdpartikel weg. Die Bodenoberfläche hat keine eindämmenden Substanzen. So kann ein starker Niederschlag den Boden wegspülen. Auch wenn es möglich ist auf einem gepflügten Feld direkt mit passenden Geräten und unter geeigneten Bedingungen eine Aussaat durchzuführen, ist eine Verschlammung der Bodenoberfläche eine Gefahr für das Auflaufen der gesäten Kultur. Die entstehende verkrustete Schicht muss dementsprechend danach erst wieder durch z.B. eine Walze gebrochen werden. Zudem birgt eine tief aufgelockerte Bodenkrume die Gefahr schneller und stärker auszutrocknen. Samen die mit dem Pflug vergraben werden, gehen zum Teil in die Dormanz über, da keine Keimbedingungen vorherrschen.

Das hat den Effekt, dass die Samenbank des Bodens erweitert wird. In folgenden Kulturen wird so der Unkrautdruck erhöht, sobald diese Samen wieder Keimbedingungen erlangen. Die Folge ist ein noch intensiverer Einsatz von Herbiziden, eine stärkere Konkurrenz für den Bestand und schlussendlich ein verminderter Ertrag. Um dem entgegenzuwirken ist es meist nötig die intensive Bearbeitung des Bodens im Vor- und Nachhinein des Pflugeinsatzes umständlich zu planen. Vor dem Pflug muss der Stoppelumbruch verbessert werden, um den Unkrautdruck zu senken. Im Nachhinein muss die Saatbettbereitung Möglichkeiten schaffen für optimale Bedingungen der neu angesäten Frucht und der Boden sollte trotzdem weniger anfällig für Erosionen sein. Um die Fruchtbarkeit zu sichern ist es notwendig dem Boden mehr organische Substanz zu zuführen. Dies kann durch Zwischenfruchtanbau, verringerte Strohabfuhr, Mist- oder Gülleausbringung umgesetzt werden.

Schlussendlich bedeutet der Pflugeinsatz immense Mehrkosten. Die Arbeitsbreiten sind trotz der stetigen Entwicklung der Pflugtechnik noch nicht allzu groß. Es kommt, neben der intensiveren Vor- und Nacharbeit, zu sehr hohen Arbeitszeiten. Des Weiteren führt der höhere Verschleiß zu weiteren Kosten. Die Nachteile des Pflugeinsatzes überwiegen daher. Es lässt sich vermuten, dass es nach dem Verbot von Glyphosat zu einem vermehrten Einsatz des Pflugs kommt. Begründet wird diese Behauptung damit, dass es noch nicht allzu viele Alternativen zum Glyphosat gibt. Die ultraflache Bodenbearbeitung wäre eine mögliche Alternative. Die Vorführungen zeigten, dass der Boden nur in den sehr flachen Arbeitstiefen bearbeitet wird. Dabei bleibt die Bodenstruktur darunter erhalten. So wird das Bodenleben kaum beeinträchtigt und der Humusabbau nicht gefördert. Durch das entstandene Scheinsaatbett der drei Testgeräte, konnte bereits im ersten Durchgang viel Ausfallraps auflaufen. Eine zweite Bearbeitung würde noch mehr Raps auflaufen lassen, wodurch sich der Einsatz des Pflugs erübrigen würde. Diese Alternative wäre kostengünstiger und würde weniger Nachteile nach sich ziehen. Der Dieserverbrauch der Testgeräte ist gering und die Schlagkraft bei weiten höher als die eines Pfluges. Zum Vergleich des Dieserverbrauchs und der Flächenleistung der Testgeräte (Abb. 15), benötigt ein 300 PS Schlepper mit einem 8-Schar Wendepflug, inklusive Packer, im Durchschnitt etwa 14-16 l/ha, wobei die Flächenleistung bei etwa 2,5-3 ha/h liegt. (Metzke, 2021) Der Umbruch von Zwischenfrüchten ist durch die zerkleinernde Wirkung der ultraflachen Vorführgeräte, möglich. Alle drei Testgeräte konnten die organische Masse gut bearbeiten und zerkleinern. Nur der Wiesenumbruch ist durch die sehr dichte Grasnarbe schwierig umzusetzen.

5.3 Die Landwirtschaft ohne Glyphosat

Der Wirkstoff Glyphosat ist ein wichtiger Baustein, um Mulchsaat- und Direktsaatverfahren erfolgreich umsetzen zu können. Das zeigt die Beispielfruchtfolge in Abbildung 15, die so geplant ist, dass die Eingriffsintensität niedrig und pfluglos bzw. sogar Direktsaat möglich ist. Der Wirkstoff Glyphosat macht in diesem Beispiel reinen Tisch und ist der Pflügersatz. Aufgrund des Wechsels von Sommerung und Winterung, sowie Blatt- und Halmfrucht, ist diese Fruchtfolge aufgelockert und der Pflanzenschutzmitteleinsatz ist minimiert. Dadurch müssen nicht alle Pflanzenreste unbedingt eingearbeitet werden. Die Bodenerosion wird durch Mulchauflagen, Zwischenfrüchte und Direktsaat verhindert. Leguminosen und die Vielfalt der Fruchtfolge verbessern die Stickstoffeffizienz. Zudem wird die Klimabilanz günstiger, denn auf die wendende Bodenbearbeitung kann verzichtet werden. Die konservierende Bearbeitung, in Verbindung mit den Zwischenfrüchten, steigert die Bodenfruchtbarkeit. Die Bodenbiodiversität wird durch zusätzlichen Lebensraum in Zwischenfrüchten und Stoppeln erhöht. Der Verzicht auf Glyphosat macht die Umsetzung der im Beispiel genannten Fruchtfolge so nicht mehr möglich. (Bröker & Schneider, 2020)

„Fällt Glyphosat in Zukunft weg, wird man die in der Übersicht aufgeführten konservierenden Bodenbearbeitungssysteme durch eine intensivere Bearbeitung auch mit dem Pflug ablösen müssen. Nachteilig ist beim Pflugeinsatz obendrein, dass enge Fruchtfolgen dann langfristig machbar bleiben. Somit ist es irreführend, wenn man die Umweltverträglichkeit eines Ackerbausystems ausschließlich auf diesen Wirkstoff fokussiert. Folgendes Beispiel verdeutlicht dies: Weil ein Glyphosatverzicht den Zwischenfruchtanbau und das Anlegen von Stoppelbrachen erschwert, wird die Alternative oft eine Winterfurche sein.“ (Bröker & Schneider, 2020)



Abbildung 16: Pfluglose Beispielfruchtfolge mit Glyphosateinsatz (Abbildung: Top Agrar, 2020)

Durch einen Verzicht auf den Wirkstoff müssten die aktuellen Ackerbausysteme neu ausgerichtet werden. Neben der Intensivierung der Bodenbearbeitung gibt es kaum Lösungsansätze, die die Kosten nicht weit übersteigen. Gerade Grenzstandorte, die kaum hohe Erträge erzielen, müssen durch den Wegfall der Vorteile der konservierenden Bewirtschaftung, wie Arbeitseffizienz, Dieserverbrauch oder Maschinenkosten rechnen und werden die Auswirkungen eines Verzichtes am härtesten spüren. Die Bodenbearbeitung mit dem Pflug wird schwieriger, wenn die Zwischenfrucht aufgrund eines milden Winters nicht richtig abfriert oder ein misslungener Zwischenfruchtbestand das Durchwachsen von Ungras zulässt. Um die Folgefrucht zu etablieren und ein sauberes Saatbett zu schaffen, wären mehrere Bearbeitungsgänge nötig. Der Anbau von Sommerungen, wie Sommergetreide und Leguminosen, die ohnehin schon erlösschwach sind, wird aufgrund der höheren Kosten durch die Bodenbearbeitung schwinden. (Bröker & Schneider, 2020)

„In der EU ist der Wirkstoff Glyphosat bislang noch bis Ende 2022 genehmigt. Glyphosathaltige Mittel lassen sich noch bis Ende 2023 anwenden. Kritikern geht das nicht schnell genug – sie fordern eine nationale Minderungsstrategie, die bereits vorher bestimmte Anwendungen verbietet. Was die Glyphosatgegner in ihrem Eifer ausblenden, sind die Folgen. Denn mit einem Verbot stehen boden-, wasser- und somit umweltschonende Mulch- oder Direktsaatsysteme auf der Kippe. Auch der Zwischenfruchtanbau wird wegen der Gefahr von Unkrautdurchwuchs deutlich erschwert. Wer meint, dass es dafür schon Lösungen gibt, der irrt. Vielfach wird man die Bodenbearbeitung intensivieren müssen. Und das bedeutet: mehr CO₂, höhere Erosionsgefahr und einseitigere Fruchtfolgen. Wer einen Glyphosatausstieg fordert, sollte auch Lösungen anbieten können.“ (Bröker, 2020)

Einer dieser Lösungsansätze ist die ultraflache Bodenbearbeitung. Das hat aber nur Erfolg, wenn die umliegenden Faktoren passen. Sobald die Witterung zu trocken ist, können Unkraut- und Ausfallgetreidesamen nicht keimen, insbesondere auch im Scheinsaatsbett nicht. Der Zwischenfruchtumbruch kann durch ultraflach schneidende Geräte umgesetzt werden. Diese wachsen dann nicht mehr aus und es macht die weitere Bearbeitung bei hohen organischen Mengen möglich. Im Mulchsaatsverfahren kann die Stoppelbearbeitung optimiert werden, um möglichst viele Samen auflaufen zu lassen. Es erspart so eine Glyphosatapplikation. Die Wirkung des Glyphosats bezieht sich nur auf grüne Pflanzenteile. Dafür kann die Applikation auch bei Trockenheit erfolgen. Im Direktsaatverfahren ist man mehr oder weniger abhängig vom Wirkstoff, weil der Boden nicht bearbeitet werden soll und die Bearbeitung nach der Aussaat nicht mehr möglich ist. Im Beispiel (Abb. 16) könnte die ultraflache Bodenbearbeitung die Glyphosatapplikation fast komplett ersetzen. Das Ganze ist allerdings nur möglich, wenn die Faktoren passen.

Der Betrieb entschied sich Ende des Jahres 2020 für ein neues Gerät. Voraussichtlich im Frühjahr 2021 wird ein Köckerling Allrounder-flatline mit einer Arbeitsbreite von 6 m ausgeliefert. Diese Entscheidung resultierte aus dem guten Ergebnis des Gerätes. Der Koralin fiel aus der Wahl aus, da dieser mit den hydraulischen und technischen Fehlern noch zu anfällig war. Auch der Preis war enorm. Man muss aber bedenken, dass man mit dem Koralin im Prinzip drei Geräte in einem bekommt. Der Carrier wurde als Ersatz für die alte Scheibenegge ausgetestet. Da aber im Sommer 2020 die Entscheidung zum Austausch des Köckerling Vector Grubbers fiel, wurde erst dieser ersetzt. Auf dem Betrieb setzt man auf die mischende und verteilende Wirkung eines Zinkengerätes. Ernterückstände werden auf der Fläche besser verteilt und Bodenunebenheiten durch einen Grubber besser ausgeglichen. Ein Nachteil dieser Methode ist nur der höhere Kraftaufwand und Leistungsbedarf. Scheibeneggen arbeiten aufgrund der drehenden Arbeitswerkzeuge leichter. Der im März erscheinende Allrounder soll auf dem Betrieb vor allem für die erste und zweite Stoppelbearbeitung eingesetzt werden.

Am 10.02.2021 wurde das Insektenschutzgesetz vom Bundesumweltministerium beschlossen. Bis zum Jahr 2024 soll der Einsatz von Glyphosat stark eingeschränkt werden. Danach ist der Erwerb von glyphosathaltigen Mitteln nicht mehr zulässig. Landwirte sind also gezwungen, bis zum Verbot des Wirkstoffs, Alternativen zu finden. (Lehmann, 2021)

6. Fazit der Diskussion

Aus der Diskussion heraus kann man schließen, dass die ultraflache Bodenbearbeitung nur ein Lösungsansatz ist. Das Verfahren ist keine Neuerung, aber es erhält momentan immer mehr Aufmerksamkeit aufgrund des Verzichts auf den herbiziden Wirkstoff Glyphosat. Das Ergebnis ist ähnlich, denn das Feld ist überwiegend frei von Unkräutern und Bewuchs. Die Langzeitwirkung, wie die des Herbizids, hat es allerdings nicht. Beim Direktsaatverfahren soll gänzlich auf Bodenbearbeitung verzichtet werden, weshalb es hier keinen Einsatz findet. Man wird mit Zwischenfrüchten und Untersaaten arbeiten müssen. Das hat zur Folge, dass die Kosten für dieses Verfahren enorm steigen werden. Im sonstigen Verfahren kann man, vor allem bei dem Umbruch von Zwischenfrüchten, mit den sehr flach arbeitenden Geräten eine Glyphosatapplikation ersetzen. Somit kann sogar die Saatbettbereitung für die Folgekultur in einem Arbeitsgang umgesetzt werden. Hinsichtlich der Stoppelbearbeitung bietet es perfekte Voraussetzungen, um das Keimen von Unkräutern und Ausfallgetreide zu ermöglichen. Dies kann in Kombination mit Feuchtigkeit durch Niederschlag oder starken Tau genügen. Gerade bei der Rapsstoppelbearbeitung verschüttet man die Samen nicht direkt zu tief. Mit einer zweiten Stoppelbearbeitung im gleichen Horizont, könnte man in zwei Wellen Ausfallraps sehr gut bekämpfen. Die Geräte sind sehr multifunktional und können so breit gefächert eingesetzt werden. Dadurch könnten sich diese schnell bezahlt machen. Auch die anderen Vorteile und Aspekte der ultraflachen Bearbeitung, wie die enorme Schlagkraft bei geringem Verbrauch von Kapazität, begünstigt den Einsatz eines solchen Gerätes. Allerdings ist die ultraflache Bodenbearbeitung als Glyphosatersatz nur in den Gebieten der Stoppel- und Zwischenfruchtbearbeitung umsetzbar. Glyphosat findet zum Teil noch einen Einsatz im Vor- und Nachauflauf, wo die Bodenbearbeitung nicht mehr möglich ist. Beim Wiesenumbruch ist es schwierig die dichte Grasnarbe nur mit flach arbeitenden Geräten einzuarbeiten. Der Einsatz des Pfluges ist eine Lösung. Sie ist aber mit vielen Nachteilen behaftet, die vorrangig mit Kosten verbunden sind sowie nachträglich die Bodenfruchtbarkeit verschlechtern und zudem schlecht für die Umwelt sind. Die Sikkation wird ohne Glyphosat gar nicht mehr möglich sein. Als Abreifebeschleuniger gibt es für diesen Wirkstoff keine Alternativen. Gegenüber den Standardscheibeneggen und -grubbern kombinieren ultraflach arbeitende Bodenbearbeitungsgeräte viele Vorteile. Von der Zerkleinerung und Einmischung bis zur Saatbettbereitung. Allein mit der ultraflachen Bodenbearbeitung kann man Glyphosat nicht ersetzen, aber es trägt einen sehr großen Teil bei der herbizidfreien Unkrautbekämpfung bei und ist zudem auch noch umweltfreundlich.

7. Zusammenfassung

Die ultraflache Bodenbearbeitung wurde schon im Jahr 1999 von Väderstad beforscht. Folgend haben auch namenhafte Maschinenhersteller wie Köckerling und Lemken sich mit diesem Thema befasst. Das Interesse an einer solchen Bearbeitung steigt, seitdem das Totalherbizid RoundUp in Verruf geraten ist. Voraussichtlich wird Glyphosat 2023 seine Zulassung in Deutschland verlieren. Es gibt wenige Alternativen, um Unkräuter und Ausfallgetreide genauso effektiv zu behandeln wie mit einer Glyphosatapplikation. Eine ähnliche Wirkung hat nur der Pflug, der aber aufgrund der Klimadiskussion und vieler negativen Folgeeffekten, wie einer verschlechterten Bodenfruchtbarkeit und steigender Gefahr gegen Erosionen, mehr Nachteile mit sich bringt. Um die ultraflache Bearbeitung des Bodens zu testen, wurden in den Sommern 2019 und 2020 Maschinen auf den Flächen der Gutsverwaltung Schönfeld KG vorgeführt. Im Rahmen der Vorführungen wurden die Väderstad Carrier mit der CrossCutter-Disc, der Köckerling Allrounder-flatline und der Lemken Koralin in der Rapsstoppelbearbeitung ausprobiert. Alle drei Geräte unterscheiden sich stark voneinander. Der Carrier als reine Scheibenmaschine, der Allrounder-flatline als reine Zinkenmaschine und der Koralin als Hybride aus Scheiben- und Zinkengerät. Das Ziel lag darin optimale Keimbedingungen für den Ausfallraps und die Unkrautsamen zu schaffen. Dabei soll aber auch die Kapillarität gebrochen werden, die Stoppel zerkleinert, sowie leicht einzuarbeiten zu sein und das alles bei sehr geringen Arbeitstiefen.

Die Ergebnisse sprachen für sich. Alle getesteten Geräte konnten mit einigen Vor- und Nachteilen punkten und schafften ein Scheinsaatbett, in dem alle Bedingungen erfüllt werden konnten. Der Einsatz dieser Geräte bezieht sich vorrangig auf die flache Stoppelbearbeitung, den Zwischenfruchtumbruch und der Saatbettbereitung. Die Maschinen können viele Vorteile der Standardbodenbearbeitungsgeräte wie Scheibenegge und Grubber vereinen. Allerdings kann man den Wirkstoff Glyphosat nur bedingt ersetzen. Der Einsatz in der Vor- und Nachauflaufbehandlung, sowie die noch gelegentlich zugelassenen Sikkation ist nicht möglich. Des Weiteren gibt es bis jetzt keine nicht chemischen Alternativen. Auch der Wiesenumbruch gestaltet sich mit flach arbeitenden Geräten schwierig. Der Pflug wird in solchen Fällen den Einsatz in Verbindung mit den Nachteilen wiederfinden. Das Direktsaatverfahren wird ohne Glyphosat gerade auf Grenzstandorten kaum möglich sein, da es als wichtiges Glied in der Unkrautbekämpfung alternativlos ist. Das Mulchsaatverfahren in pflugloser Form wird komplizierter und bedarf einer sehr genauen Planung aller Arbeitsschritte. Aufgrund der Wetterextreme der letzten Jahre ist eine langwierige Kalkulation und Planung aber eher erschwert. Mit der ultraflachen Bodenbearbeitung schafft man aber eine Teilalternative, die in Kombination mit anderen Maßnahmen das Glyphosat möglicherweise in Zukunft ersetzen könnte.

Literaturverzeichnis

- Brilisauer, K., & Harter, K. (2020).
Biogener Zucker als nachhaltiges Herbizid. BIoSpektrum.
- Bröker, M. (2020).
Kommentar: Kein Königsweg. Top Agrar.
- Bröker, M., & Schneider, D. M. (2020).
Geht's auch ohne Glyphosat ? Top Agrar.
- Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. (2020).
Der Streit um Glyphosat - Worum geht es?
- D'Hertefeldt, T., B Jørgensen, R., & B Petterson, L. (2008).
Long-term persistence of GM oilseed rape in the seedbank.
- Follak, S., Kastenhuber, L., Redl, W., & Steinkellner, M. (2019).
Nationale Machbarkeitsstudie zum Glyphosatausstieg.
- FragDenStaat. (14. Juli 2020).
<https://fragdenstaat.de/anfrage/bundeslandwirtschaftsministerium-2018-04-17-verordnungsvorschlag-glyphosat-minderungsstrategie/#nachricht-504610>
- Hammerschmidt, R. (2020).
Betriebsspiegel Gutsverwaltung Schönfeld KG.
- Hammerschmidt, R. (2020).
Niederschläge Gutsverwaltung Schönfeld (Tabelle).
- Hammerschmidt, R. (2020).
Rapsanbau Gutsverwaltung Schönfeld (Tabelle).
- Henne, U., Pekrun, C., & Pflaum, S. (2010).
Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz durch angepasstes Stoppelmanagement?
LOP.
- Informationsdienst Gentechnik. (2020).
Unkrautforscher finden erste glyphosatresistente Gräser in Deutschland.
- Kehlenbeck, H., Saltzmann, J., Schwarz, J., Zwerger, P., Nordmeyer, H., Roßberg, D., . . . Freier, B. (2015).
Folgenabschätzung für die Landwirtschaft zum teilweisen oder vollständigen Verzicht auf die Anwendung von glyphosathaltigen Herbiziden in Deutschland.
Quedlinburg: Julius Kühn-Institut.
- Kerner Maschinenbau GmbH. (2019).
Ultraflachgrubber Stratos.
- Köckerling GmbH & Co. KG. (2020).
<https://www.koeckerling.de/produkte/bodenbearbeitung/grubber/allrounder-flatline>
- Ladwig, M. (14. Mai 2020).
Die Erfolgsgeschichte von "Roundup". (Planet Wissen, Interviewer)
- Landmaschinenfabrik Köckerling GmbH & Co KG. (2019).
Allrounder-flatline 600/750.
- Lehmann, N. (2021).
Kabinett beschließt Insektenschutzpaket trotz Protesten. Agrarheute.
- Lemken GmbH & Co. KG. (November 2019).
Mechanische Unkrautregulierung, die alternativen im Pflanzenschutz. *Lemken Live*
- Lemken GmbH & Co. KG. (2020).
<https://koralin.lemken.com/de/>
- LfL Pflanzenschutz. (2020).
Einsatzumfang von Glyphosat.
- Metzke, H. (10. Februar 2021). (F. David, Interviewer)
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. (4. September 2019).
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/aktionsprogramm-insektenschutz-1581358>
- Richter, D. (2019).
Sicherheit von Pestiziden in Europa? Zeitschrift für Europarechtliche Studien.
- Tastowe, F. (2019).
Auch für den Stoppelsturz: Köckerling Allrounder flatline. Top Agrar.

- Väderstad GmbH. (2020).
Ultraflache Bodenbearbeitung <https://www.vaderstad.com/de/know-how/bodenbearbeitungsverfahren/ultraflache-bodenbearbeitung/>
- Väderstad GmbH. (2020).
Carrier Scheibenegge <https://www.vaderstad.com/de/bodenbearbeitung/disc-cultivators/>
- Väderstad GmbH. (2020).
CrossCutter-Disc Konzept <https://www.vaderstad.com/de/produkte/crosscutter-disc/>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung des Glyphosat-Absatzes in Deutschland (Quelle: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelrecht, 2020)	5
Abbildung 2: Wirtschaftlicher Nutzen der Anwendung von Glyphosat in verschiedenen Ackerbaukulturen in Deutschland (Quelle: Steinmann, Dickeduisburg & Theuvsen, 2012) 6	6
Abbildung 3: Carrier 650 CCD bei der Stoppelbearbeitung (Foto: Väderstad, 2020)	10
Abbildung 4: Sicht auf die CrossCutter-Disc der Carrier (Foto: Florian David).....	11
Abbildung 5: Seitenansicht des Köckerling Allrounder (Foto: Florian David, 2020).....	13
Abbildung 6: Allrounder-flatline in Arbeitsposition in der Rapsstoppel (Foto: Florian David, 2020)	13
Abbildung 7: Aufbau des Koralin seitlich gesehen (Foto: Florian David, 2020).....	15
Abbildung 8: Lemken Koralin im ausgeklappten Zustand in der Rapsstoppel (Foto: Florian David, 2020)	15
Abbildung 9: Satellitenbild von Schönfeld mit eingezeichneten Testschlägen (Aufnahme: Google Maps, 2021)	19
Abbildung 10: Carrier CCD nach der Überfahrt durch Rapsstoppeln (Aufnahme: LK Niederösterreich, 2018)	20
Abbildung 11: Arbeitsbild des Allrounder-flatline nach der Überfahrt (Foto: Florian David, 2020)	21
Abbildung 12: Vergleich der unbearbeiteten Stoppel (links) zur bearbeiteten (rechts) (Foto: Florian David, 2020).....	22
Abbildung 13: Rechts die mit dem Koralin bearbeitete Rapsstoppel, links gewalzt (Foto: Florian David, 2020)Abbildung 14: Arbeitsbild des Lemken Koralin nach der Überfahrt (Foto: Florian David, 2020)	23
Abbildung 15: Flächenleistung und Dieserverbrauch der einzelnen Geräte (Quelle: Florian David, 2021)	24
Abbildung 16: Pfluglose Beispielfruchtfolge mit Glyphosateinsatz (Abbildung: Top Agrar, 2020)	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der Vorführungen (Quelle: Florian David, 2021)	19
Tabelle 2: Zusammenfassung der Ergebnisse (Quelle: Florian David, 2021)	24

Abkürzungsverzeichnis

mm	Millimeter
cm	Centimeter
m	Meter
km	Kilometer
l	Liter
t	Tonne
dt	Dezitonne
m ²	Quadratmeter
ha	Hektar
h	Stunde
€	Euro
%	Prozent
°	Grad
Abb.	Abbildung
EPSP-Synthase	5-Enolpyruvylshikimat-3-phosphat
7dSh	7-Desoxy-Sedoheptulose
AMPA	Aminomethylphosphonsäure
GVO-Sorte	gentechnisch veränderte Sorte
CCD	CrossCutter-Disc
PS	Pferdestärke
STS-Walze	„Soil to Soil“ (Boden zu Boden) - Walze
CO ²	Kohlenstoffdioxid
ca.	zirka
KG	Kommanditgesellschaft
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
JD 8R	John Deere 8320R

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Florian David, erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelor-Arbeit mit dem Thema „Ultraflache Bodenbearbeitung – die alternative zum Glyphosat?“ 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 noch nicht veröffentlicht.

Ich bin damit einverstanden, dass meine Bachelorarbeit in der Hochschulbibliothek eingestellt wird.

Schönfeld, 16.02.2021

Ort, Datum

Unterschrift