

ZWISCHENBERICHT

Anpassung des Anbausystems Einzelkornsaat im Winterraps auf den Einsatz der Hacke



IMPRESSUM

Titel

Anpassung des Anbausystems Einzelkornsaat im Winterraps auf den Einsatz der Hacke

Forschungs-Nr.

[10/10]

Berichtszeitraum

2018-2022

Herausgeber

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

Dorfplatz 1/OT Gülzow • 18276 Gülzow-Prüzen

Telefon: 0385-588 60001

Fax: 0385- 588 60011

poststelle@lfa.mvnet.de

www.lfamv.de

Autoren

Dr. Jana Peters • Telefon: 0385-588 60212

Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft,

Sachgebiet Acker- und Pflanzenbau •

Dorfplatz 1 • 18276 Gülzow-Prüzen •

www.lfamv.de

Mitarbeiterin

Birgit Burmann

Titelfoto

Dr. Jana Peters

Danksagung

Die Mitarbeiter des Institutes für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei in Mecklenburg-Vorpommern danken der Agrar GbR Groß Kiesow im Landkreis Vorpommern Greifswald für die exakte Durchführung und Dokumentation der Versuche. Ein besonderer Dank gilt Frau Doreen Schäfer für die gute Zusammenarbeit und konstruktiven Diskussionen.

Gülzow, 31. Mai 2023

INHALT

1	Zusammenfassung	7
2	Einleitung	7
3	Material und Methoden.....	8
3.1	Standort	8
3.2	Witterung für den Standort Gülzow	9
3.3	Versuchsplan	10
3.4	Bonituren	11
4	Ergebnisse und Diskussionen.....	12
4.1	Unkrautregulierung	12
4.2	N-Mineralisation durch mechanische Unkrautregulierung	14
4.3	Ertrag in Abhängigkeit vom Anbausystem	16
4.4	Qualitative Betrachtungen	18
4.5	Ökonomischer Vergleich.....	19
5	Fazit	21
6	Anhang Tabellen.....	22
7	Anhang Abbildungen	25
8	Literaturverzeichnis	29

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Beschreibung der Prüfvarianten in Gülzow	11
Tabelle 2:	Beschreibung der Prüfvarianten im Landkreis Vorpommern-Greifswald im Erntejahr 2018	11
Tabelle 3:	Beschreibung der Prüfvarianten im Landkreis Vorpommern-Greifswald in den Erntejahren 2019 und 2020	11
Tabelle 4:	N-Parameter und Qualität des Erntegutes (MW 2018-2022) am Standort Gülzow	18
Tabelle 5:	Kosten- und Erlösunterschiede im Vergleich zum Standardverfahren am Standort Gülzow, (Mittelwert der Jahre 2018-2022)	19

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Unkrautbedeckungsgrad des Bestandes zur Ernte 2019 m Standort Gülzow in Abhängigkeit von der Art der Unkrautbekämpfung und der Aussaatstärke UK = Unkrautkontrolle, BS = Bandspritze	13
Abbildung 2:	Einradschiebehacke	13
Abbildung 3:	Bestand nach dem Hacken und Striegeln am 16.03.2022 am Standort Gülzow (Foto: B. Burmann, LFA).....	14
Abbildung 4:	Stickstoffaufnahme des Bestandes zu Vegetationsende einzelner Jahre am Standort Gülzow in Abhängigkeit von der Art der Unkrautbekämpfung und der Aussaatstärke UK = Unkrautkontrolle, BS = Bandspritze	15
Abbildung 5:	N _{min} -Gehalte in den einzelnen Bodenschichten am Standort Gülzow in Abhängigkeit von der Art der Unkrautbekämpfung (Mittelwerte der Erntejahre 2018, 2021 und 2022) UK = Unkrautkontrolle, BS = Bandspritze	16
Abbildung 6:	adjustierte Kornerträge bei 91 % TS am Standort Gülzow (Mittelwerte 2018,2020-2022) in Abhängigkeit von der Art der Unkrautbekämpfung und der Aussaatstärke UK = Unkrautkontrolle, BS = Bandspritze	17
Abbildung 7:	Kornerträge am Standort im Landkreis Vorpommern-Greifswald in Abhängigkeit von der N-Düngung (Einzeljahre und MW)	17
Abbildung 8:	Kornertrag des Erntejahres 2018 in Abhängigkeit von der N-Düngung und Unkrautbehandlung im Landkreis Vorpommern-Greifswald	18

ANHANG TABELLEN UND ABBILDUNGEN

Tabelle A 1:	Unkrautregulierungsmaßnahmen im Versuch am Standort Gülzow	22
Tabelle A 2:	weitere agrotechnische Maßnahmen des Versuches am Standort Gülzow	23
Abbildung A 1:	Witterung am Standort Gülzow im Erntejahr 2018.....	25
Abbildung A 2:	Witterung am Standort Gülzow im Erntejahr 2019.....	25
Abbildung A 3:	Witterung am Standort Gülzow im Erntejahr 2020.....	26
Abbildung A 4:	Witterung am Standort Gülzow im Erntejahr 2021.....	26
Abbildung A 5:	Witterung am Standort Gülzow im Erntejahr 2022.....	27
Abbildung A 6:	Lageplan am Standort Gülzow (beispielhaft für das Erntejahr 2019)	28
Abbildung A 7:	Lageplan am Standort im Landkreis Greifswald-Vorpommern im Erntejahr 2018	28
Abbildung A 8:	Lageplan am Standort im Landkreis Greifswald-Vorpommern in den Erntejahren 2019 und 2020.....	28

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

adjust. MW	adjustierte Mittelwerte
ASS	Ammonsulfatsalpeter
BBCH	Entwicklungsstadium einer Pflanze nach den Angaben der Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und Chemische Industrie
BI	Behandlungsindex
BSA	Bundessortenamt
GD	Grenzdifferenz
KAS	Kalkammonsalpeter
kfK	keimfähige Körner
LSV	Landessortenversuche
MW	Mittelwert
PG	Prüfglied
Pfl	Pflanzen
RP	Rohprotein

1 Zusammenfassung

Die Einzelkornsaat gewinnt Dank des technischen Fortschritts im Rapsanbau an Bedeutung. Der Anbau in weiter Reihe ermöglicht eine mechanische Unkrautregulierung und trägt zur Verringerung des Herbizideinsatzes bei. Allerdings muss das gesamte Anbausystem Raps überdacht und angepasst werden. Beispielsweise hat die Veränderung der Reihenweite bei gleichbleibender Aussaatdichte einen Einfluss auf die Standraumverteilung der Pflanzen in der Reihe und somit der Konkurrenz zwischen den Pflanzen. Wird die Aussaatdichte verringert, ohne die Stickstoffdüngung anzupassen, kann es durch die stärkere Einzelpflanzenentwicklung zur ungleichmäßigen Abreife kommen. Im vorgestellten Versuch hatten weder die Saatstärke noch die Düngung einen nachweislichen Einfluss auf den Ertrag. Durch die geringere Düngung konnte allerdings der Ölgehalt signifikant verbessert werden. Das wirkte sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens aus. Der monetäre Vorteil war allerdings gering und könnte sich bei anderen als hier angenommenen Voraussetzungen auch zum Nachteil entwickeln. Die durch das Hacken erwartete Stickstoff-Mineralisierung konnte nicht nachgewiesen werden. Gründe könnten der Zeitpunkt des Hackens oder die Methoden zur Bestimmung der Mineralisierung sein. Grundsätzlich zeigte sich in den Versuchsjahren, dass die mechanische Unkrautbehandlung stärker von der Witterung abhängig ist als die chemischen Maßnahmen. Hier spielt der Einsatzzeitpunkt eine wesentliche Rolle. Die Art der Hacktechnik ist für den Erfolg der Unkrautbekämpfung eher nachrangig zur Witterung und den Standortbedingungen einzuordnen. Alternativen bei schlechter Witterung bieten absätzbare Verfahren (z.B. Herbst nur Bandspritze, Frühjahr nur Hacken). Agrotechnische Möglichkeiten zur Unkrautunterdrückung wie Untersaaten oder veränderte Reihenweiten könnten ebenfalls in Betracht gezogen werden. Hierzu sollten noch weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Bei ausschließlich mechanischer Unkrautbekämpfung im Raps sind je nach Witterungsbedingungen und Standort eine Starkverunkrautung mit sehr hohen Ertragsverlusten in einigen Jahren nicht zu verhindern. In sensiblen Gebieten sollten dann Ausnahmen für den Einsatz von Herbiziden erlaubt sein.

2 Einleitung

Bereits in der 2019 veröffentlichten Ackerbaustrategie 2035 der Bundesrepublik steht die Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes als ein großes Ziel für eine nachhaltigere Landwirtschaft im Raum (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT 2019). Im Jahre 2022 folgte die Forderung der Europäischen Kommission nach einer starken Reduktion der Pflanzenschutzmittel bis hin zu einem Einsatzverbot in besonders sensiblen Gebieten (EUROPÄISCHE KOMMISSION, GENERALDIREKTION GESUNDHEIT UND LEBENSMITTELSICHERHEIT 2022). Eine Möglichkeit zur Einsparung von Pflanzenschutzmitteln, insbesondere Herbiziden ist die Wiederbelebung der mechanischen Unkrautregulierung. Dass eine solche mechanische Unkrautbekämpfung in der ehemaligen „Hackfrucht“ Winterraps funktioniert, steht außer Frage und wurde bereits in vielen Arbeiten thematisiert (LIEVEN et al. 2008; REUTER 1979; EICKERMANN et al. 2016). Es stellt sich vielmehr die Frage, wie dieses bekannte Verfahren in die moderne Anbautechnologie eingepasst werden kann. Beim heute üblichen Reihenabstand von 12,5 cm können Hackgeräte nicht eingesetzt werden. Ein aufwendiges Umbauen der Drillmaschine ist nicht praxisrelevant. Es könnte allerdings jedes zweite Säeschar abgeklemmt werden, um den Reihenabstand zu vergrößern. Nachteil dieser Methode ist die ungenaue Ablage des Saatgutes in der Reihe. Eine andere mögliche Alternative ist die Nutzung im Betrieb vorhandener Einzelkornsäetechnik (Rübentechnik) oder der Neukauf einer Einzelkornsämaschine mit weiterem Reihenabstand. Frühere Ergebnisse zeigten, dass es keine Ertragseinbußen bis zu einer Reihenweite von 45 cm gibt (REUTER 1979; KLAUS 1989; BISCHOFF 2017). Aber auch bei einer exakten Ablage der Saat in der Reihe sollte die übliche Aussaatdichte von 45-60 kfK/m² verringert werden, um Konkurrenz in der Reihe zu vermindern. Welche Pflanzenanzahl in der Reihe empfohlen werden kann, ist noch zu klären. Berücksichtigt werden muss ein möglicher Pflanzenverlust durch

die mechanische Unkrautregulierung. Bei zu großem Abstand in der Reihe bildet der Raps stärker verzweigte Einzelpflanzen (GRIEPENDROG 1995; BISCHOFF 2013). Hier könnte es zu Ernteverzögerungen bis hin zu massiven Ernteverlusten durch heterogene Abreife kommen. Durch das Hacken wird allerdings nicht nur Unkraut bekämpft, sondern die Bodenlockerung fördert auch die Durchlüftung. Erwartet wird eine N-Mineralisierung und die Förderung der Pflanzenentwicklung durch ein verbessertes Porenvolumen und daraus resultierende verbesserte Bodenwasserverhältnisse. Die genannten Aspekte lassen vermuten, dass beim Anbauverfahren Winterraps mit mechanischer Unkrautregulierung neben dem Reihenabstand auch die Saatstärke und die N-Düngung angepasst werden müssen. Ungeklärt sind dabei noch folgende Punkte:

- Wie hoch ist die Stickstoffmineralisierung durch den Hackeinsatz?
- Gibt es relevante Effekte auf Herbst- bzw. Frühjahrsentwicklung der Pflanzen durch das Hacken?
- Kann durch die erwartete Mineralisierung Stickstoff eingespart werden?
- Wie stark muss die Aussaatdichte in der Einzelkornsaat an eine mechanische Unkrautbekämpfung angepasst werden?
- Was ist bei der Auswahl der Hacktechnik zu beachten?
- Wie wirtschaftlich ist die mechanische Unkrautbekämpfung im Vergleich zum herkömmlichen Verfahren?

Um diese Fragen zu beantworten und das Anbausystem „Einzelkornsaat im Winterraps mit mechanischer Unkrautbekämpfung“ zu optimieren, wurden sowohl am Standort Gülzow von 2018 bis 2022 ein Exaktversuch als auch im Landkreis Vorpommern-Greifswald von 2018 bis 2021 ein Praxisversuch etabliert.

3 Material und Methoden

3.1 Standort

Der Standort Gülzow der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern liegt 10 m über NN im norddeutschen Grund- und Endmoränengebiet der Weichselkaltzeit. Ein leicht welliges Relief charakterisiert das Gebiet. Als Ausgangsmaterial der Bodendecke wird Geschiebemergel mit ca. 0,5 bis 10 m mächtiger periglaziärer Sanddecke im Versuchsfeld vorgefunden. Die ursprüngliche Sanddecke verlagerte sich infolge von Ackernutzung und Erosion. Daraus resultiert eine reliefgeprägte Substratverteilung, die sich in Form von Lehmkuppen und eingesenkten Kolluvien äußert. Die mittlere Jahresdurchschnittstemperatur (1991-2020) beträgt 9,1°C und die Jahresniederschlagssumme 552 mm.

Betrachtet werden die Erntejahre 2018-2022. Der Versuch wurde in Gülzow auf jährlich wechselnden Flächen mit den Bodenarten lehmiger Sand bis stark sandiger Lehm (Ackerzahlen 48 – 56) angebaut. Der Humusgehalt schwankte je nach Standort zwischen schwach humos und humos. Als Vorfrucht stand in allen Jahren Wintergerste.

Ein Großparzellenversuch mit Praxistechnik und ähnlich gelagerten Fragestellung befand sich in der Agrar GbR Groß Kiesow im Landkreis Vorpommern-Greifswald. Die Fläche integrierte sich in die Fruchtfolgerotation des Betriebes. Der Betrieb hat eine durchschnittliche Ackerzahl von 35 und die vorwiegend vorherrschende Bodenart ist schwach lehmiger Sand.

3.2 Witterung für den Standort Gülzow

Enterjahr 2018

Starkregenereignisse vor und ab der Ernte im Juli bis in den Oktober hinein führten zu sehr nassen Bodenverhältnissen mit einer schlechten Befahrbarkeit bis hin zu einer Übersättigung der Böden. Trotz allem konnte am Standort Gülzow eine Aussaat zum 24.08.2017 realisiert werden. Auf Grund der Wassersättigung des Bodens konnten nur an einigen wenigen Tagen Mitte Oktober weitere Feldarbeiten erfolgen. Der Winter war insgesamt zu mild. Eine Vegetationsruhe trat erst Ende November ein. Im weiteren Winterverlauf gab es bis Anfang Februar nur wenige sehr leichte Nachtfröste. Der Anstieg der Tagestemperaturen auf bis zu 10°C unterbrach die Vegetationsruhe frühzeitig. Der Jahresanfang 2018 war zusätzlich durch häufige Niederschläge gekennzeichnet. Im Februar wurde es zunehmend kälter, eine allmähliche kräftige Abkühlung mit Dauerfrost bis etwa -10°C stellte sich ein. Kurzeitige frühlingshafte Temperaturen bis Mitte März wurden durch einen erneuten Tiefausläufer beeinflusst und brachten kurzfristig Minustemperaturen und kräftigen Schneefall. Anschließendes Tauwetter wurde von ergiebigem Regen begleitet, so dass die Böden wieder nicht befahren werden konnten. Ab Anfang April wurden die Minusgrade von zügig ansteigenden Temperaturen abgelöst (Vegetationsbeginn). Drei regnerische Abschnitte brachten zusammen ca. 140 % der Niederschlagsmenge im Vergleich zum langjährigen Monatsmittel. Die Winterungen holten den Entwicklungsrückstand vom Vormonat rasch auf. Die steigenden Temperaturen weit über den Normalwerten und eine eintretende landesweit vorherrschende Trockenheit folgte in der Hauptwachstumsphase ab Mai bis zur Ernte. Weit überdurchschnittliche Mindererträge waren die Folge.

Erntejahr 2019

Die Saatbettbereitung und Aussaat gestalteten sich schwierig, der Bestand lief ungleichmäßig und schleppend auf. Die hochsommerliche Phase hielt bis Ende September an, dann sanken die Temperaturen bis zum Ende des Jahres auf weitestgehend normale Werte. Die Vegetationsruhe stellte sich in Gülzow zum 20. November ein. Die Niederschlagsmenge nach der Aussaat war so gering, dass die monatliche Verdunstungssumme nicht ausgeglichen werden konnte. Im Dezember waren die Temperaturen im ersten und letzten Drittel so mild, dass die Vegetationsruhe unterbrochen wurde. Dabei regnete es häufig, so dass ein durchschnittliches Monatsergebnis erreicht wurde. Verbunden mit geringen Verdunstungsraten wurde zumindest der Oberboden bis etwa 50 cm gut durchfeuchtet. Der dauerhafte Vegetationsbeginn konnte mit den steigenden Temperaturen bereits am 13. Februar festgestellt werden. Dazu fielen nur rund 70 % der langjährig üblichen Niederschlagsmenge. Die milden Bedingungen und eine ausreichende Wasserversorgung in der ersten Frühjahrshälfte bewirkte einen 1-wöchigen Entwicklungsvorsprung der Vegetation. Überdurchschnittliche Temperaturen und geringe Niederschlagsmengen beeinflussten die kumulative Wasserbilanz bereits ab der zweiten Frühjahrshälfte wieder deutlich negativ. Im April gab es zusätzlich hohe Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht. Nur die gute Verteilung der wenigen Niederschläge verhinderte extreme Ertragsverluste wie im Erntejahr 2018. Langanhaltende Hitze (26 Sommertage) und hohe Verdunstung in Verbindung mit starker Sonneneinstrahlung beschleunigten die Abreife. Durch die anhaltende Trockenheit wurden im zweiten Jahr in Folge nur unterdurchschnittliche Erträge eingefahren.

Erntejahr 2020

Die Durchschnittstemperatur zur Aussaat des Rapses lag 0,9 Kelvin höher als der langjährige Wert. Der Raps hatte während der Auflaufphase noch mit Trockenheit zu kämpfen. Das zeigte sich in mehreren Auflaufwellen und mit Entwicklungsrückstand gegenüber schneller aufgelaufenen Pflanzen. Ergiebige Niederschläge bis zum Winter brachten eine Entspannung des Bodenwasserhaushalts und führten zu sehr nassen Bodenverhältnissen. Jedoch lagen die Tagesmitteltemperaturen, trotz vereinzelter leichter Nachtfröste, meist weit über dem langjährigen Messwert. Die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht waren oftmals nicht hoch. Die spät aufgelaufenen Rapspflanzen hatten gute Chancen, die kalte Jahreszeit zu überstehen. Das Ende der Vegetationsperiode war am 29. November. Die Vegetationsruhe konnte sich während der gesamten Winterperiode nicht vollends durchsetzen und wurde durch milde

Temperaturabschnitte immer wieder gelockert. Regenfälle über Winter füllten die Wasservorräte bis in etwa 60 cm Bodentiefe auf. Zur Monatsmitte März gab es Nachtfrost bis $-4,5^{\circ}\text{C}$ und am Tag stiegen die Werte auf bis zu 15°C an. Ab der 2. Monatshälfte März gab es kaum noch Regen, so dass die Bedingungen für Feldarbeiten zunehmend günstiger wurden. Abgesehen vom Monatsende gab es im April eine ausgeprägte Trockenzeit, wobei die Tages-Nacht-Temperaturunterschiede an manchen Tagen bis über 20 Kelvin betrugen. Der Wasserhaushalt im Boden nahm allmählich kritische Werte an. Die in den Folgemonaten vereinzelt auftretenden aber geringen Niederschläge kamen für den Raps noch rechtzeitig. Dank des zeitlich und mengenmäßig gut verteilten Regens stand den Pflanzenbeständen ausreichend Wasser zur Verfügung. Die Rapspflanzen reagierten darauf mit Verzögerungen bei der Abreife.

Erntejahr 2021

Im August fiel der Niederschlag nur an wenigen Tagen und oftmals als Starkregen. Die Temperaturen lagen weit dabei über dem Durchschnitt der letzten Jahre. Die Trockenheit und Hitze verzögerte die Aussaat. Nach der Aussaat blieb es im September noch spätsommerlich warm. Einen kräftigen Temperatursturz auf nur leicht überdurchschnittliche Werte gab es zum Ende der 2. Septemberdekade. Dieses Niveau hielt bis Ende des Jahres an. Die Vegetationsruhe setzte erste Ende November ein. Das Wasserangebot normalisierte sich insgesamt durch die vielen gut verteilten Regenmengen im Oktober. Im Januar konnte durch eine überdurchschnittliche Niederschlagsmenge bei ausgewogener Verteilung der Boden zumindest bis in 60 cm optimal durchfeuchtet werden. Vegetationsbeginn wurde Mitte Februar festgestellt. Nach den Anfang Februar vorherrschenden Minustemperaturen im zweistelligen Bereich strömte Ende der 2. Februardekade wärmere Luft ein und die Tagesmittel lagen teilweise über 10°C . Die Temperaturen normalisierten sich im Folgemonat. Kühle und mildere Abschnitte im April wechselten sich häufig ab und es regnete ab und zu, vorwiegend in der ersten Monatshälfte. Die geringfügig höheren Niederschlagsmengen gingen mit einer stärkeren Verdunstung einher. Die Bodenwasservorräte wurden stark beansprucht. Die phänologische Entwicklung schritt nur langsam voran. Ab Mitte Juni bis zur Ernte wurden hochsommerliche Temperaturen weit über dem langjährigen Temperaturmittel erreicht. Starkregenereignisse verzögerten die Ernte.

Erntejahr 2022

Zwei Starkregenereignisse über 20 mm jeweils in der Mitte der 1. und 3. Augustdekade, die etwa die Hälfte des Monatsniederschlags lieferten, setzten die Befahrbarkeit des Bodens über mehrere Wochen herab. Die Aussaat konnte unter erschwerten Bedingungen dennoch fristgerecht durchgeführt werden. Auch in den Folgemonaten September, Oktober und November kam es immer wieder zu Starkregenereignissen und damit weiterhin zu Beeinträchtigungen der Bodenbefahrbarkeit. Die Monatsmitteltemperatur lag mit 1,8 K deutlich über dem langjährigen Messwert. Eine Vegetationsruhe trat nach dem sehr milden Herbst erst mit der 6. Pentade im November ein. Temperaturen im Frostbereich und erster Schneefall um die Weihnachtszeit mit einer leichten Schneedecke etwa 5-10 cm wurden durch eine milde Luftströmung mit Temperatur über 10°C zum Jahresende hin abgelöst. Diese milde Witterung mit Tagesdurchschnitts-Temperaturen im zweistelligen Bereich hielt sich bis Ende Februar. Dazu regnete es häufig und ergiebig, sodass der Boden wassergesättigt war. Zum Monatsende Februar stellten sich wintergerecht leichte Nachtfroste ein. Der offizielle Vegetationsbeginn wurde anhand phänologischer Datenerhebung am 16. März festgestellt. Durch die einsetzende kühlere Witterung und leichte Spätfröste verzögerte sich die Rapsblüte im Vergleich zu den Vorjahren und setzte gegen Ende der zweiten Aprildekade ein. Die geringeren Niederschlagsmengen der Folgemonate waren optimal verteilt. Davon profitierte der Raps und es konnte eine nahezu normale Ernte eingefahren werden.

3.3 Versuchsplan

Der Exaktversuch in Gülzow wurde in einer Blockanlage mit 4-facher Wiederholung angelegt. Als Prüffaktor galten unterschiedliche Anbausysteme, die sich in der Saatstärke, der Unkrautbekämpfung und/oder der N-Düngung unterschieden (Tabelle 1). Bei der Aussaattechnik handelte es sich um die pneumatischen

Einzelkornsämaschine MiniAir-S von Kverneland. Um eine Randwirkung der Prüffaktoren auf die Nachbarparzelle zu verhindern, wurden pro Parzelle 3 Fahrspuren nebeneinander angelegt. Davon wurde der Ertrag nur von der mittleren Fahrspur erfasst.

Tabelle 1: Beschreibung der Prüfvarianten in Gülzow

PG	Saatstärke [Kö./m ²]	Unkrautbekämpfung	N-Düngung Frühjahr [kg/ha]
1	35	nur chemisch	100 + (120-N _{min})
2	35	chemisch + mechanisch	100 + (120-N _{min})
3	20	nur chemisch	100 + (120-N _{min})
4	20	chemisch + mechanisch	100 + (120-N _{min})
5	35	chemisch + mechanisch	100 + (50-N _{min})

Der Großparzellenversuch im Landkreis Vorpommern-Greifswald wurde mit herkömmlicher Praxistechnik als Blockanlage mit achtfacher Wiederholung angelegt. Im ersten Versuchsjahr 2018 führte das Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit, ländliche Räume und Umwelt (LALLF) Untersuchungen bezüglich des Einsatzes eines Herbizides im Herbst und Frühjahr im Vergleich zu einem Hackeinsatz nur im Herbst oder im Herbst und Frühjahr durch (Tabelle 2). Diese Untersuchungen wurden allerdings in den nächsten Jahren nicht weiterverfolgt, sodass das Hauptaugenmerk in den folgenden Jahren auf der Düngung lag (Tabelle 3). Beispiele für die Lagepläne beider Versuchsanlagen sind im Anhang einzusehen (Abbildung A 6, Abbildung A 7 und Abbildung A 8).

Tabelle 2: Beschreibung der Prüfvarianten im Landkreis Vorpommern-Greifswald im Erntejahr 2018

A	B	Stufe
1		150 kg N/ha
2		120 kg N/ha
	1	Hacke Frühjahr
	2	Hacke Herbst + Frühjahr
	3	chemisch mit Clomazone

Tabelle 3: Beschreibung der Prüfvarianten im Landkreis Vorpommern-Greifswald in den Erntejahren 2019 und 2020

PG	N-Düngung Frühjahr
1	150 kg/ha
2	120 kg/ha

3.4 Bonituren

Am Standort Gülzow wurden umfangreiche Bonituren durchgeführt. Neben den in den BSA Richtlinien (BUNDESSORTENAMT 2000) festgelegten Bonituren zur Bestandesüberwachung wurden zusätzlich die Anzahl der Pflanzen je m² vor und nach Winter an markierten Zählstrecken ermittelt. Dadurch kann ein Pflanzenverlust über Winter genau beschrieben werden. Die Bestandeshöhe wurde zu BBCH 70 gemessen. Zur Abschätzung des N-Mineralisationspotenzials der Hackvarianten wurden zu Vegetationsende Pflanzenproben sowie zu Vegetationsbeginn Bodenproben genommen. Dazu wurden aus jeder Parzelle auf

0,25 m² Pflanzen entnommen, zu einer Mischprobe pro Prüfglied zusammengefasst und der Biomasseaufwuchs sowie die N- Konzentration dieser Mischprobe bestimmt. Diese Probenahme sollte dann optional im Frühjahr zu Vegetationsbeginn nochmals erfolgen, wenn es in den Varianten visuelle Auffälligkeiten in der Bestandesentwicklung gegeben hätte.

Weitere Maßnahmen zur Bestandsführung wurden ortsüblich und in Anlehnung an den LSV durchgeführt (Tabelle A 2).

4 Ergebnisse und Diskussionen

4.1 Unkrautregulierung

Nachfolgend werden lediglich die Ergebnisse vom Standort Gülzow thematisiert. Die Unkrautregulierung erfolgte situations- und standortbedingt jährlich unterschiedlich. Die Maßnahmen sind im Anhang in Tabelle A 1 dargestellt. Sie wurden mit einer Parzellenspritze durchgeführt. Diese lässt sich durch unterschiedliche Spritzgestänge sowohl als Flächen- wie auch als Bandspritze einsetzen. Die mechanische Unkrautbekämpfung erfolgte mittels einer Parzellenhacke mit lenkbarem Verschieberahmen. Laut WEIMAR-BOSSE ET AL. 2018 ist die mechanische Unkrautbekämpfung stark witterungs- und standortabhängig. Diese Witterungsabhängigkeit könnte demzufolge den Erfolg dieses Systems maßgeblich beeinflussen. Daher werden nachfolgend die Bedingungen für die mechanische Unkrautregulierung der einzelnen Versuchsjahre detailliert beschrieben.

Im Herbst 2017 gab es durch die feuchten Witterungsbedingungen zwar gut etablierte Bestände, allerdings konnte durch die Nässe erst am 18.10.2017 gehackt werden. Ein geringer Unkrautdruck und gut erkennbare Reihen lieferten aber sehr gute Bedingungen für einen erfolgreichen Hackeinsatz, der im Frühjahr am 19.04.2018 unter optimalen Bodenbedingungen wiederholt wurde.

Die langanhaltende Trockenheit 2018 hatte zur Folge, dass einerseits das Saatgut für Herbst 2018 sehr heterogene Korngrößen aufwies und dadurch die Verteilung durch die Einzelkornsämaschine nicht zufriedenstellend erfolgte. Andererseits war das Saatbett sehr klutig, insbesondere auf den Lehmstellen. Beide Faktoren führten zu einem sehr schlechten Aufgang von teilweise nur 4 Pfl/m². Im Durchschnitt des Versuches standen ca. 45 % der angestrebten Pflanzenanzahl im Feld. Die geringe Bodenbedeckung führte zu einer starken Unkrautentwicklung. Deshalb wurde bereits am 17.09.2018 zu BBCH 15 gehackt. Durch die trockenen Bedingungen, gerade auf den lehmigeren Teilstücken, kratzte die Hacke streckenweise nur über die Oberfläche oder gelockerte Lehmkluten wurden durch die Hacke einfach vor sich hergeschoben. Auch eine Beschädigung der Rapspflanzen beim Hacken konnte nicht ausgeschlossen werden, da die Reihen teilweise durch den schlechten Aufgang kaum zu erkennen waren. Im weiteren Vegetationsverlauf wurde eine zweite mechanische Maßnahme notwendig. Diese wurde am 11.10.2018 durchgeführt. Im Frühjahr konnte trotz Bedarf wegen anhaltender Nässe keine weitere Maßnahme erfolgen. Die Folge war eine starke Verunkrautung insbesondere in den Reihen der Varianten ohne chemische Unkrautbekämpfung. Hauptbestandbildner war die Kamille, die sich durch die lückigen Bestände besonders stark ausbreiten und wachsen konnte. Die Unkrautbedeckungsgrade zur Ernte lagen zwischen 1 und 65 % in Abhängigkeit von der Art der Unkrautbekämpfung und der Bestandesdichte (Abbildung 1).

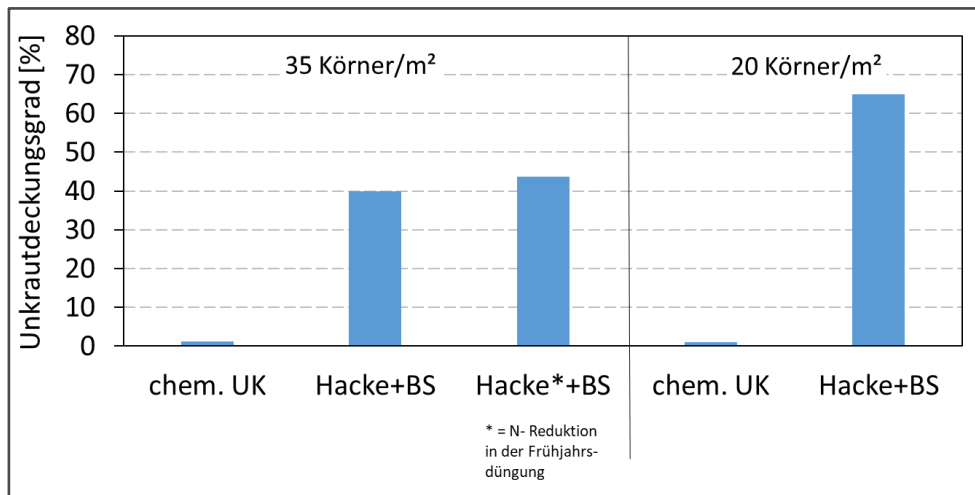


Abbildung 1: Unkrautbedeckungsgrad des Bestandes zur Ernte 2019 m Standort Gülzow in Abhängigkeit von der Art der Unkrautbekämpfung und der Aussaatstärke

UK = Unkrautkontrolle, BS = Bandspritze

Auch im Herbst 2019 gab es trockenheitsbedingte Probleme mit der Bestandesetablierung. Die Reihen im Bestand waren im Frühherbst nicht eindeutig zu erkennen. Um eine Beschädigung der Rapspflanzen zu vermeiden, wurde zunächst auf den Einsatz einer Hacke verzichtet. Im weiteren Vegetationsverlauf bis zum Winter war es zum Hacken zu nass und im Frühjahr 2020 erfolgte erst wegen der Nässe und dann auf Grund der überwachsenen Bestände keine Hackmaßnahme.

Die Niederschlagsverteilung im Herbst 2020 (siehe Kapitel 3.2) erschwerte den Hackeinsatz ebenfalls. Als Notlösung wurde auf eine Einradschiebehacke (Abbildung 2) zurückgegriffen um den Vorgang der mechanischen Unkrautregulierung trotz eingeschränkter Befahrbarkeit zu simulieren. Im Frühjahr 2021 erfolgte dann am 26. März ein regulärer Hackvorgang mit der dafür vorgesehenen Technik.



Abbildung 2: Einradschiebehacke

Auch im Herbst 2021 war aufgrund nasser Böden die Befahrbarkeit nicht gegeben und es kam sowohl 23.09.2021 als auch am 07.10.2021 die Einradschiebehacke zum Einsatz. Im Frühjahr 2022 konnte am 16.03.2022 eine maschinelle mechanische Unkrautbekämpfung durchgeführt werden, wobei erstmals nach dem Hackvorgang mit einem Striegel nachgearbeitet wurde. Dadurch sollte das erneute Anwachsen des Unkrautes verringert werden. Der Raps war in seiner Entwicklung im BBCH Stadium 32/51. Eine gravierende Schädigung des Bestandes durch das Striegeln konnte nicht festgestellt werden (Abbildung 3).



Abbildung 3: Bestand nach dem Hacken und Striegeln am 16.03.2022 am Standort Gülzow (Foto: B. Burmann, LFA).

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass in vier von fünf Versuchsjahren am Standort Gülzow ein Hackeinsatz im Herbst nur unter schwierigen Umständen oder gar nicht möglich war. Es stellt sich demzufolge die Frage, ob die angestrebte Herbizideinsparung oder sogar ein Herbizidverzicht durch den Einsatz mechanischer Unkrautregulierung nach derzeitigem Stand überhaupt kompensiert werden kann. Zur Reduzierung des Herbizideinsatzes werden zusätzliche Maßnahmen notwendig werden. Dazu zählen beispielsweise die Anpassung des Zeitpunktes der Unkrautregulierung, d. h. als absätziges Verfahren (Bandspritzung im Herbst, Hacken im Frühjahr). Wahrscheinlich wird jedoch ein vollständiger Herbizidverzicht nur in wenigen Jahren möglich sein. Deshalb sollte der Einsatz von Herbiziden bei Ausnutzung aller derzeit verfügbaren agrotechnischen Möglichkeiten zur Beeinflussung der Unkrautunterdrückung (mechanische Bekämpfung, Untersaaten, Reihenweite und Saatstärke) erlaubt bleiben.

Die Frühjahrsbehandlung stellte keine größeren Probleme dar. Auch das Hacken mit anschließendem Striegeln entweder als absätziges Verfahren oder in Kombination ist eine praktikable Möglichkeit. Durch das Striegeln wird das Unkraut nach dem Hacken freigelegt und rausgekämmt. Um Schäden des Bestandes zu vermeiden, sollte der Striegel nicht zu scharf eingestellt werden. Dadurch hat der Striegel lediglich eine „schleppende“ Wirkung auf die bereits losen Unkräuter.

Die Erfahrungen der Versuchsjahre zeigten, dass in erster Linie die Witterungsbedingungen, die Bodenbeschaffenheit, die Unkrautarten sowie die Entwicklungsstadien der Unkräuter zum Zeitpunkt der durchgeführten Maßnahmen über den Erfolg einer mechanischen Unkrautbekämpfung entscheiden. Der erfolgreiche Einsatz der Einradschiebehacke bestätigt die Beobachtungen von WEIMAR-BOSSE ET AL. 2018, dass die eingesetzte Technik eine eher nachgeordnete Rolle für den Erfolg spielt.

Der Herbizidaufwand pro Hektar wird beim Hackeinsatz mit Bandspritzung maßgeblich durch die Anzahl der zu behandelnden Reihen und der Spritzbreite der Bandspritzung beeinflusst. So kann sich der Behandlungsindex (BI) der Anbausysteme je nach Reihenweite, Gestängehöhe und Spritzwinkel der Düsen um 40 – 70 % zum Standardverfahren mit Großflächenspritzung verringern.

4.2 N-Mineralisation durch mechanische Unkrautregulierung

Beim Hacken wird nicht nur das Unkraut bekämpft, sondern auch die Durchlüftung der oberen Bodenschicht verbessert. Dadurch kann es zu einer höheren Stickstoffmineralisation kommen. Um diese möglichst beziffern zu können, wurden sowohl die Stickstoffaufnahme des Bestandes im Herbst bestimmt als auch der Boden zu Vegetationsbeginn auf mineralischen N-Gehalt untersucht. Letzteres lässt gegebenenfalls auf eine mögliche Verlagerung des mineralisierten und vom Bestand nicht mehr aufgenommenen Stickstoffs in tiefere Bodenschichten über Winter schließen.

Wie die Abbildung 4 verdeutlicht, gibt es einen erwartungsgemäß hohen Einfluss des Einzeljahres auf die Stickstoffaufnahme der Bestände vor Winter. In den Varianten mit Aussaatstärke 35 Körner/m² und mit Hacke und Bandspritzung sowie mit Hacke und Bandspritzung mit reduzierter Stickstoffdüngung herrschten zum Zeitpunkt der Pflanzenprobenahme identische Ausgangsbedingungen. Die Variation der Behandlung erfolgte hier erst mit der 2. Frühjahrsdüngung. Dies prädestiniert diese beiden Varianten für einen direkten Vergleich. Trotz gleicher Voraussetzungen zeigt sich ein Unterschied in der Stickstoffaufnahme beider Varianten. Beispielsweise lief der Raps im Herbst 2019 wegen langanhaltender Trockenheit in mehreren Etappen auf. Die heterogene Bestandesentwicklung zog sich bis zum Vegetationsende hin. Das Ergebnis der Pflanzenbeprobung zu Vegetationsende ergab einen Unterschied der N-Herbstaufnahme beider Varianten von ca. 80 kg/ha, der jedoch nur auf den unterschiedlichen Aufgang und nicht auf die geprüften Behandlungen zurückzuführen war (Abbildung 4).

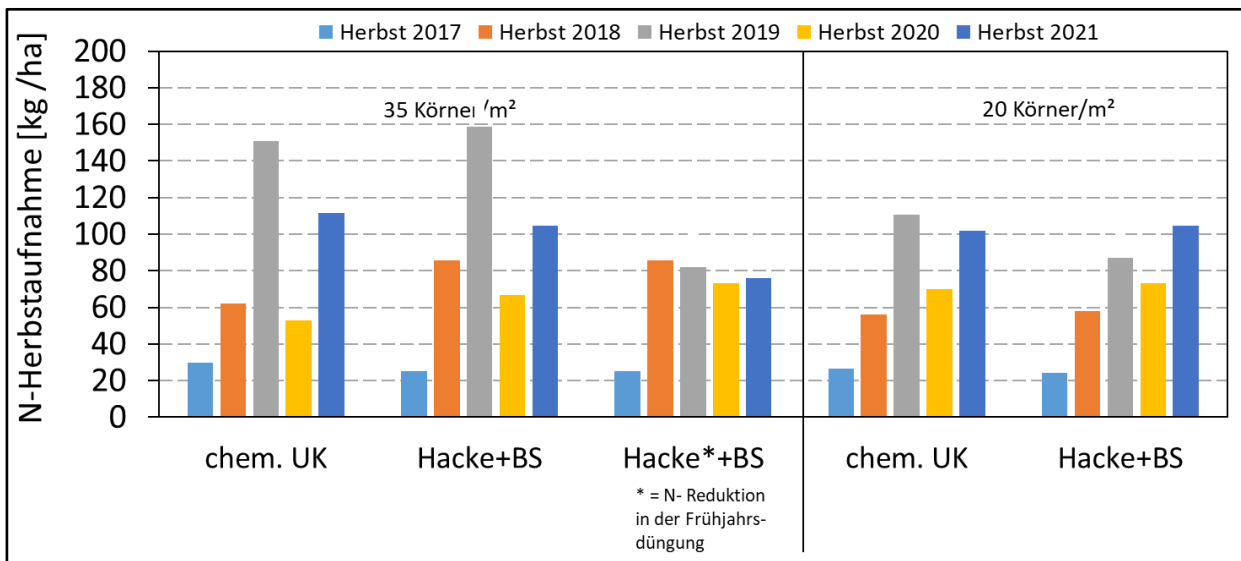


Abbildung 4: Stickstoffaufnahme des Bestandes zu Vegetationsende einzelner Jahre am Standort Gülzow in Abhängigkeit von der Art der Unkrautbekämpfung und der Aussaatstärke
UK = Unkrautkontrolle, BS = Bandspritze

Damit wird deutlich, welche Schwankungsbreiten trotz einheitlicher Voraussetzungen und festgelegter Methodik bei der Bestimmung der Stickstoffaufnahme im Herbst möglich sind. Vor diesem Hintergrund sind die N-Herbstaufnahmen aller Prüfglieder zu interpretieren. Über alle Jahre gesehen gibt es keinen einheitlichen Trend zu irgendeiner Variante. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass weder die Art der Unkrautbekämpfung im Herbst noch die Aussaatstärke die N-Aufnahme des Bestandes bis zum Vegetationsende nachweisbar beeinflusste.

Die zu Vegetationsbeginn gemessenen $N_{\min}$ Gehalte im Boden zeigten ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Prüfvarianten und auch keine Auswaschung von Stickstoff in tiefere Bodenschichten an (Abbildung 5). Marginale Unterschiede der beiden geprüften Varianten chemische Unkrautbekämpfung und Hacke von insgesamt 4 kg/ha Stickstoff liegen im Fehlerbereich der Analysemethode. Mit einem durchschnittlichen N-Gesamtgehalt von unter 30 kg/ha in 0-90 cm Tiefe war grundsätzlich das Stickstoffniveau im Boden sehr gering. Relevante Differenzierungen der einzelnen Jahre gab es nicht. Die Ergebnisse werden deshalb nicht thematisiert.

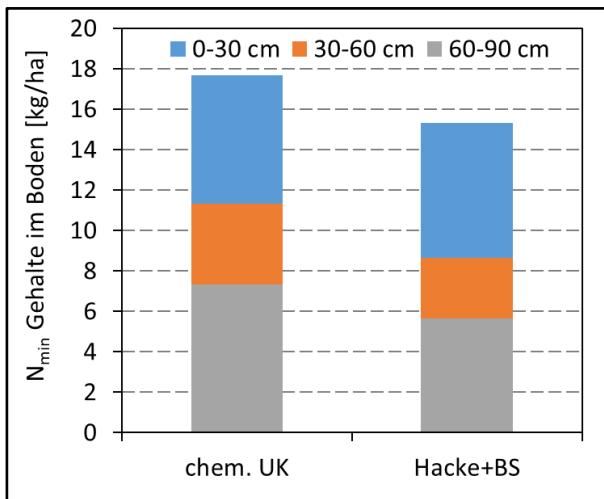


Abbildung 5: N_{min} -Gehalte in den einzelnen Bodenschichten am Standort Gülzow in Abhängigkeit von der Art der Unkrautbekämpfung (Mittelwerte der Erntejahre 2018, 2021 und 2022)
 UK = Unkrautkontrolle, BS = Bandspritze

Erwartet wurde, dass die Mineralisierung ähnlich wie eine mineralische N-Herbstdüngung im Bestand wiederzufinden ist. Eine Mineralisierung durch den Hackvorgang war aber weder durch eine erhöhte N-Herbstaufnahme noch durch höhere Bodengehalte nachweisbar. Allerdings besteht die Möglichkeit, dass durch den späten Zeitpunkt des Hackens Mitte bis Ende Oktober der Stickstoff nicht mehr vom Bestand aufgenommen werden kann. Ergebnisse aus früheren Versuchen zu N-Herbstdüngungsterminen untermauern diese Vermutung (PETERS UND SCHULZ 2016). Die Tatsache, dass in den Bodenproben zu Vegetationsbeginn auch in tieferen Bodenschichten ab 60 cm keine erhöhten Stickstoffgehalte gefunden wurden, sprechen allerdings gegen diese These. Würde der durch den verspäteten Hackvorgang zusätzlich mobilisierte Stickstoff nicht aufgenommen, müsste er sich zumindest in geringer Menge in den Bodenproben wiederfinden lassen.

Eine denkbare Erklärung für den fehlenden Nachweis der Mineralisierung ist, dass durch die Bodenbewegung mit Gänsefußscharen maximal eine Tiefe von 10 cm eher aber 5 cm bewegt werden. Diese geringe Bearbeitungstiefe reicht nach vorheriger einheitlich durchgeführter Saatbettbereitung nicht aus, um unter den vorherrschenden Witterungsbedingungen im Herbst eine zusätzliche Mineralisation zu bewirken, welche mit den hier genutzten Methoden nachgewiesen werden könnte.

4.3 Ertrag in Abhängigkeit vom Anbausystem

Das Erntejahr 2019 mit den in Kapitel 4.1 genannten Problemen wurde verworfen. Die Ergebnisse des Erntejahres 2020, in dem eine mechanische Unkrautbekämpfung nicht möglich war wurden um den Faktor Unkrautbekämpfung bereinigt und in die Serienauswertung einbezogen

Basierend auf den genannten Voraussetzungen konnten im Mittel aller Versuchsjahre keine signifikanten Ertragsunterschiede der einzelnen Anbausysteme nachgewiesen werden (Abbildung 6). Scheinbar waren allerdings sowohl die geringere Stickstoffdüngung als auch die niedrigere Aussaatstärke ertraglich unterlegen. Der direkte Vergleich in den Systemen mit gleicher Saatstärke und Düngung zeigt im Mittel aller Jahre keinen Einflusses der Art der Unkrautbekämpfung auf den Ertrag.

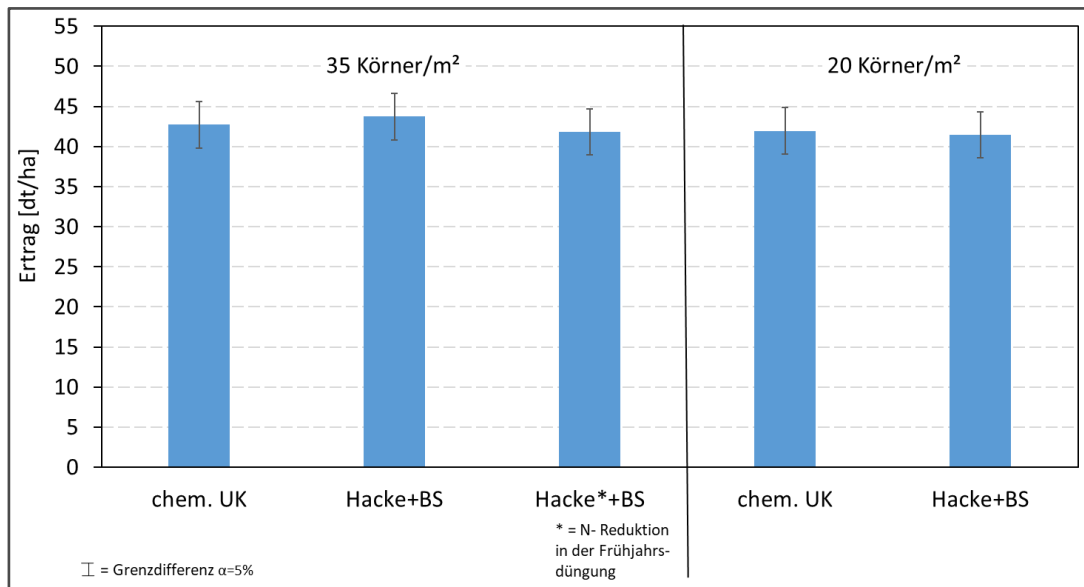


Abbildung 6: *adjustierte Kornerträge bei 91 % TS am Standort Gülzow (Mittelwerte 2018,2020-2022) in Abhängigkeit von der Art der Unkrautbekämpfung und der Aussaatstärke*
 UK = Unkrautkontrolle, BS = Bandspritze

Bei Problemen durch eine starke Verunkrautung des Bestandes wie im Anbaujahr 2019, kann es allerdings bei einer mechanischen Behandlung trotz der Bandspritzung zu massiven Ertragsverlusten von bis zu 50 % kommen.

Die Ernteergebnisse aus der Praxis zeigten ein gleiches Bild. Auch im Landkreis Vorpommern-Greifswald konnten trotz abgestufter Düngung keine Ertragsunterschiede festgestellt werden (Abbildung 7).

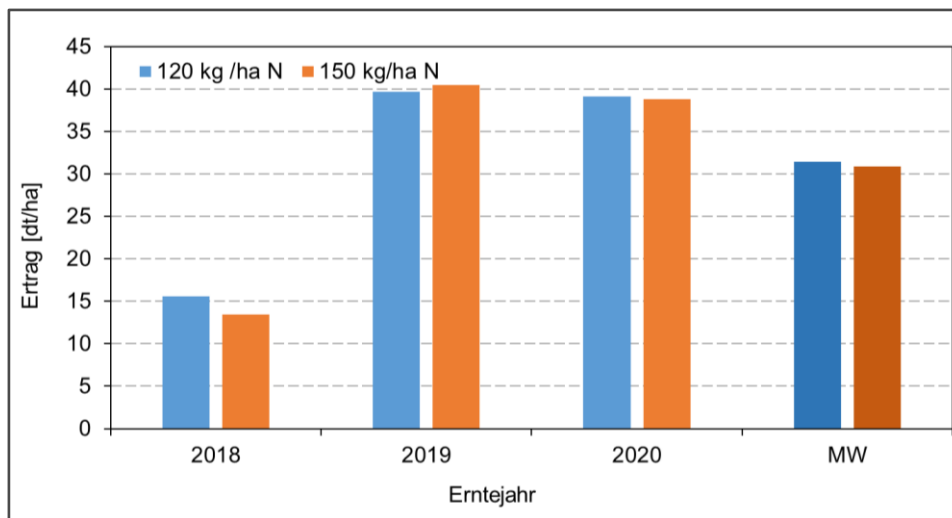


Abbildung 7: *Kornerträge am Standort im Landkreis Vorpommern-Greifswald in Abhängigkeit von der N-Düngung (Einzeljahre und MW)*

Die im Versuchsjahr 2018 durchgeführte Differenzierung der Unkrautbekämpfungsvarianten zeigte auf den ersten Blick einen Vorteil der nur im Frühjahr gehackten Versuchsvariante in beiden Düngeniveaus (Abbildung 8). Allerdings verdeutlichen die Standardabweichungen, welche Schwankungsbreite die Einzelwerte der Varianten aufweisen. Somit sollte diese Beobachtung nicht überbewertet werden. Die Heterogenität des Versuchsfeldes spiegelt sich in einem so trockenen Versuchsjahr wie 2018 stärker in den Ergebnissen wieder als in Jahren, wo die Wasserversorgung ausreichend ist. Zusätzlich erlauben es fehlende

weiterreichende Bonituren an dem Standort nicht, auf Zusammenhänge zwischen einer maßnahmen-spezifischen Bestandesentwicklung (Pflanzen/m² o.ä.) und der Ertragsbildung zu schließen.

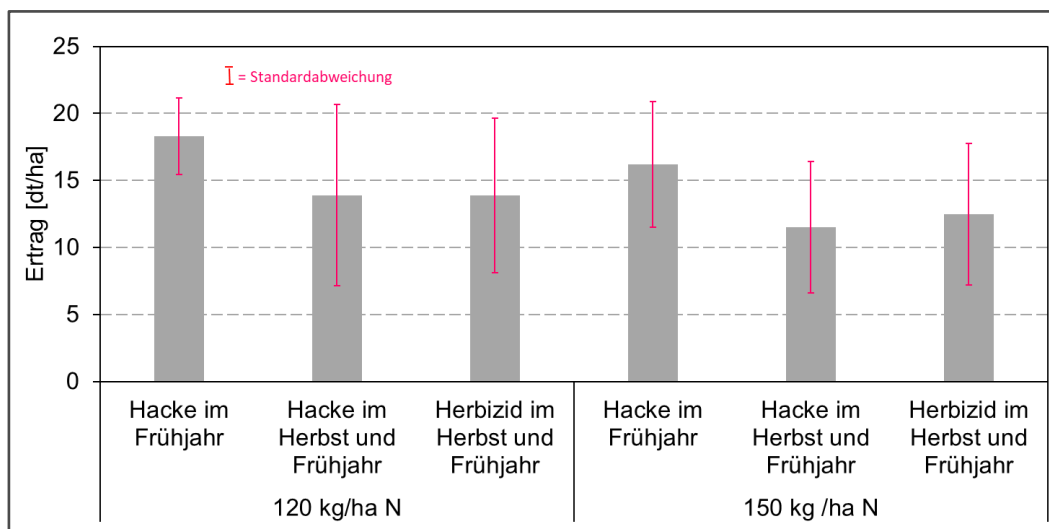


Abbildung 8: Kornenertrag des Erntejahres 2018 in Abhängigkeit von der N-Düngung und Unkrautbehandlung im Landkreis Vorpommern-Greifswald

4.4 Qualitative Betrachtungen

Erwartungsgemäß wurde am Standort Gülzow der Rohproteingehalt durch die geringere Stickstoffdüngung der Variante 5 negativ beeinflusst und dadurch auch die N-Abfuhr vom Feld, hier dargestellt als RP-Ertrag. Dieses schlug sich wiederum auf den Saldo nieder (Tabelle 4).

Bekanntermaßen korreliert der Stickstoffgehalt im Erntegut negativ mit dem Ölgehalt (SCHUMANN UND GRAF 2011). In der hier vorliegenden Abstufung der Stickstoffmenge um 70 kg/ha konnte dieser Effekt statistisch gesichert nachgewiesen werden (Tabelle 4). Dieser Ertragseffekt wird durch den Qualitätszuschlag der Ölmühlen zusätzlich honoriert.

Tabelle 4: N-Parameter und Qualität des Erntegutes (MW 2018-2022) am Standort Gülzow

Parameter	ME	35 Körner/m ²			20 Körner/m ²	
		chem. UK	Hacke + BS	Hacke + BS + reduz. N-Düngung	chem. UK	Hacke + BS
RP Ertrag (adjust. MW)	dt/ha	7,2	7,4	6,8	7,1	7,0
N-Düngung	kg/ha	200	200	130	200	200
N-Saldo	kg/ha	85	82	22	86	88
Ölgehalt (adjustierter MW) (GD 5% = 0,48)	%	44,4	44,5	45,1	44,2	44,5

Im Versuch im Landkreis Vorpommern-Greifswald konnte der Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Qualität nicht eindeutig festgestellt werden. Dies liegt an der geringen N-Abstufung von 30 kg/ha zwischen den beiden Düngungsvarianten. Auswertungen früherer Stickstoffsteigerungsversuche in Gülzow (1997-2019) hinsichtlich der Qualitäten zeigten ca. 0,01 % mehr Rohprotein- und 0,009 % weniger Ölgehalt je gedüngtem Kilogramm Stickstoff.

4.5 Ökonomischer Vergleich

Die ökonomische Auswertung beschränkt sich auf die Parameter Naturalerlöse, Ölgehalt und Direktkosten. Bei den variablen Kosten finden lediglich diejenigen Berücksichtigung, welche sich durch die unterschiedlichen Anbausysteme verändern (ceteris paribus). Grundlage für die Berechnungen sind die Preise der 39. Kalenderwoche des Jahres 2022. Der Rapspreis belief sich zu diesem Zeitpunkt auf 60,5 €/dt, der Stickstoffpreis bei 1,84 €/kg. Die Saatgutkosten wurden unter Berücksichtigung einer gängigen Beize mit 390,55 €/Einheit und 1,5 Mio Körner/Einheit veranschlagt. Die Kosten für das Hacken von 10,76 €/Durchgang ergeben sich aus einem Dieselverbrauch von 3,4 l/ha bei einem Preis von 1,636 €/l und veranschlagten Reparaturkosten 5,20 €/ha. Bei der Bandspritzung werden nur die Rapsreihen mit Herbizid behandelt. Dies entspricht bei einer Reihenweite von 45 cm 45 % der Flächenspritzung. Arbeitserledigungskosten durch das Hacken werden nicht veranschlagt. Es gilt die Annahme, dass diese Arbeiten innerbetrieblich mit vorhandenem Personal abgedeckt werden. Die Variante mit 35 Körnern/m², chemischer Unkrautregulierung und einem Düngeniveau von 200 kg/ha N wird als Standardverfahren definiert (Tabelle 5, Spalte 3).

Tabelle 5: Kosten- und Erlösunterschiede im Vergleich zum Standardverfahren am Standort Gülzow, (Mittelwert der Jahre 2018-2022)

Parameter	ME	35 Körner/m ²			20 Körner/m ²	
		chem. UK	Hacke + BS	Hacke +BS + reduz. N- Düngung	chem. UK	Hacke + BS
N-Düngung	kg/ha	200	200	130	200	200
Saatmenge	E./ha	0,23	0,23	0,23	0,13	0,13
Ø Arbeitsgänge der Pflegemaßnahmen	Anzahl	1	1,8	1,8	1	1,8
N-Saldo	kg/ha	85	82	22	86	88
BI gesamt*		7,55	6,25	6,25	7,55	6,25
BI Herbizide*		2,89	1,3	1,3	2,89	1,3
Ertrag	dt/ha	43	44	42	42	41
Ölgehalt	%	44,4	44,5	45,1	44,2	44,1
Erlös	€/ha	2.755	2.825	2.723	2.699	2.660
variable Kosten	€/ha	534	514	386	495	475
Saatgutkosten	€/ha	91	91	91	52	52
Düngungskosten	€/ha	368	368	239	368	368
Herbizidkosten	€/ha	75	34	34	75	34
Hackkosten	€/ha		19	19		19
Differenz zum Standardverfahren	€/ha		89	116	-17	-37

* Literaturquelle: <https://papa.julius-kuehn.de/index.php?menuid=43>

Die Varianten mit geringer **Saatstärke** (20 Körner/m²) waren auf Grund der tendenziell geringeren Ertragsleistung dem Standardverfahren unterlegen. Die Saatguteinsparung konnte das nicht kompensieren. Bei einer mechanischen Unkrautregulierung und geringerer Saatstärke schlugen die höheren Kosten für das Hacken zusätzlich zu Buche. Bei gleicher Aussaatstärke wurden mit der mechanischen Unkrautbekämpfung monetäre Vorteile erzielt. Dabei spielte die nicht signifikante höhere Ertragsleistung eine Rolle.

Die Kosteneinsparung durch geringere **Stickstoffgaben** bewirken im Zusammenspiel mit den Erträgen und dem signifikant höheren Ölgehalt die höchste Rentabilität der Variante mit reduzierter Stickstoffdüngung und niedrigstem N-Saldo.

Die **Sensitivitätsanalyse** ergab, dass sich eine **Stickstoffreduzierung** ab einem Stickstoffpreis $< 0,6 \text{ €/t}$ nicht mehr rentiert. Dieses N-Preisniveau ist recht niedrig und damit sehr unwahrscheinlich, so dass die Wirtschaftlichkeit einer Stickstoffreduzierung zukünftig gegeben sein dürfte. Die Absenkung der N-Salden durch eine reduzierte N-Düngung ist somit wirtschaftlich von Vorteil.

Die **Saatgutreduzierung** lohnt sich theoretisch ab einem Saatgutpreis von 550 €/Einheit. Bei dem aktuellen Saatgut-Preisniveau um 400 €/Einheit reicht die Saatguteinsparung derzeit alleine nicht zur ökonomischen Rechtfertigung der geringeren Aussaatstärken aus.

Die Reduzierung der **Pflanzenschutzintensität** ist mit lediglich 41 €/ha sehr gering. Die zusätzlichen Kosten für die mechanische Unkrautregulierung werden zwar kompensiert aber hier sind die zusätzlichen Arbeitsstunden im Hackverfahren nicht berücksichtigt.

Bei Investitionen in neue Technik oder die Inanspruchnahmen eines Lohnunternehmens kann der geringe Vorteil des Hacksystems auch sehr schnell kippen. Zusätzlich besteht beim Einsatz eines Lohnunternehmens eher die Gefahr, nicht immer den optimalen Bekämpfungszeitpunkt zu erwischen. Dieses kann den Erfolg der mechanischen Unkrautbekämpfung maßgeblich beeinflussen (LIEVEN ET AL. 2008; WEIMAR-BOSSE ET AL. 2018).

5 Fazit

Die Ergebnisse lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- Die Art der Unkrautbehandlung hat unter normalen Unkrautdruck innerhalb und zwischen den Reihen keinen Einfluss auf den Ertrag oder die Qualität.
- Es gibt unabhängig von der Art der Unkrautbekämpfung keine statistisch gesicherten Ertragsverluste durch geringe Aussaatstärken von 20 Körnern/m² oder reduzierte N-Düngung. Lediglich der Ölgehalt steigt bekanntermaßen bei verringerter N-Düngung.
- Sind durch starke Trockenheit zur Aussaat oder klutige Flächen mit starkem Unkrautdruck Auflaufprobleme absehbar, sollte die Aussaatstärke 35 Körner/m² nicht unterschreiten und je nach Unkrautbesatz eine ganzflächige Herbizidbehandlung im Frühjahr eingeplant werden.
- Der Einsatz der Hacke im Herbst ist stark witterungsabhängig. Am Standort Gülzow war eine optimale mechanische Behandlung auf Grund der Witterungsbedingungen nur in 20 % der Anbaujahre möglich.
- Die eingesetzte Hacktechnik spielt eine nachgeordnete Rolle.
- Es sollten ergänzende Maßnahmen für Systeme mit Herbizidreduzierung geprüft werden, wie z.B.
 - Nutzung eines absätzigen Verfahrens, mit dem im Herbst nur eine Bandspritzung und der Einsatz der Hacke erst im Frühjahr erfolgt.
 - Anschließendes Striegeln nach Hackeinsatz im Frühjahr kann die Wirksamkeit der mechanischen Unkrautbekämpfung verbessern.
 - Die Verschiebung der Saatzeit mit vorheriger ganzflächiger mechanischer Bearbeitung kann den Unkrautdruck verringern.
 - Eine möglichst geringe Reihenweite verringert den Unkrautdruck durch schnelleren Reihenschluss.
- Ein Effekt des Hackeinsatzes auf N-Mineralisierung oder N-Herbstaufnahme des Bestandes konnte nicht nachgewiesen werden.
- Der erwartete Mineralisierungseffekt ist bei einer „Herbsthacke“ im Winterraps gering. Ausschlaggebend dafür sind der Einsatzzeitpunkt der Hacke in Zusammenhang mit den Bodentemperaturen und der Bearbeitungstiefe der Hacke.
- Die Rentabilität des Anbausystems ist betriebsspezifisch. Unter den hier angenommenen Bedingungen ist festzustellen, dass
 - ein Mehrerlös durch die mechanische Unkrautbekämpfung sehr gering ist.
 - die Reduzierung der Stickstoffdüngung ein höheres Einsparungspotenzial hat als die Saatgutreduzierung.
 - die höheren Ölgehalte bei reduzierter Stickstoffdüngung die Erlöse steigern.
- Die monetären Vorteile der „neuen Anbausysteme“ sind moderat, so dass durch Beauftragung von Lohnunternehmen oder Neuanschaffung von Technik Verluste entstehen können.
- Ein gravierender Nachteil bei der Beauftragung eines Lohnunternehmens ist die unsichere Einhaltung des optimalen Einsatztermins. Die Terminierung der Behandlung ist das Zünglein an der Waage für eine wirksame Unkrautbekämpfung und damit für den Erfolg oder Misserfolg des Anbausystems in dem Betrieb.
- Der Behandlungsindex (BI) der Anbausysteme mit Bandspritzung und Hacke verringert sich je nach Reihenweite, Gestängehöhe und Spritzwinkel der Düsen um 40 – 70%.

Es stellt sich die Frage, ob durch den Einsatz mechanischer Unkrautregulierung nach derzeitigem Standard wesentliche Pflanzenschutzmitteleinsparungen überhaupt realisierbar sind. Für die Zukunft müssen bei der Unkrautregulierung auch bereits angesprochene alternative Möglichkeiten offengehalten werden.

6 Anhang Tabellen

Tabelle A 1: Unkrautregulierungsmaßnahmen im Versuch am Standort Gülzow

PG	Datum	BBCH von	BBCH bis	Mittel	Aufwand [l/ha]
1, 3	25.08.2017	0	0	Butisan Kombi+Stomp Aqua	1,75 + 0,5
2, 4, 5	19.10.2017	14	17	Hacken	
2, 4, 5	19.04.2018	51	53	Hacken	
1, 3	31.08.2018	0	0	Butisan Kombi+Stomp Aqua	1,75 + 0,5
2, 4, 5	17.09.2018	12	15	Hacken	
2, 4, 5	11.10.2018	17	18	Hacken	
1, 3	19.03.2019	51	51	Korvetto + Fusilade MAX	2,0 + 1,0
1-5	07.09.2019	0	14	Butisan Gold (witterungsbedingt alle PGs behandelt siehe Kapitel 3.2)	2,5
1, 3	16.09.2020	12	14	Belkar + Synero	0,25 + 0,25
2, 4, 5	19.09.2020	12	14	Belkar + Synero (Bandspritzung)	0,25 + 0,25
1, 3	08.10.2020	16	18	Belkar + Synero	0,25 + 0,25
2, 4, 5	08.10.2020	16	18	Belkar + Synero (Bandspritzung)	0,25 + 0,25
2, 4, 5	14.10.2020	16	18	Hacke (Einradschiebehacke)	
2, 4, 5	26.03.2021	52	52	Hacke	
1, 3	02.09.2021	11	12	Butisan Gold	2,0
2, 4, 5	02.09.2021	11	12	Butisan Gold (Bandspritzung)	2,0
2, 4, 5	23.09.2021	15	15	Hacke (Einradschiebehacke)	
2, 4, 5	07.10.2021	16	17	Hacke (Einradschiebehacke)	
2, 4, 5	16.03.2022	32	51	Hacke	

Tabelle A 2: weitere agrotechnische Maßnahmen des Versuches am Standort Gülzow

Datum	Maßnahme	Mittel	Menge
10.08.2017	Pflügen mit Packer		
22.08.2017	Saatbettbereitung		
24.08.2017	Drillen		
22.09.2017	Spritzen	Tebucur 250	0,7 l/ha
19.03.2018	Düngen N	ASS	100 kg/ha N
13.04.2018	Spritzen	Avaunt	0,17 l/ha
19.04.2018	Düngen N	KAS	nach Plan
21.04.2018	Düngen Mikronährstoffe + Spritzen	Profi Bor + Biscaya	0,27 kg/ha+ 0,3 l/ha
08.05.2018	Spritzen	Proline	0,7 l/ha
09.05.2018	Spritzen	Biscaya	0,3 l/ha
18.05.2018	Spritzen	Karate Zeon	0,075 l/ha
20.07.2018	Ernte		
13.08.2018	Pflügen mit Packer		
22.08.2018	Saatbettbereitung		
29.08.2018	Drillen		
20.09.2018	Spritzen	Karate Zeon	0,075 l/ha
12.10.2018	Düngen Mikronährstoffe	Phytaris Bor	3,0 kg/ha
27.02.2019	Düngen N	ASS	100 kg/ha N
22.03.2019	Spritzen	Tilmor	0,7 l/ha
27.03.2019	Düngen N	KAS	nach Plan
04.04.2019	Spritzen	Trebon 30 EC	0,2 l/ha
30.04.2019	Spritzen	Cantus + Biscaya	0,5 + 0,3 l/ha
28.07.2019	Ernte		
08.08.2019	Pflügen mit Packer		
19.08.2019	Saatbettbereitung		
20.08.2019	Drillen		
24.09.2019	Spritzen	Karate Zeon	0,075
24.10.2019	Spritzen	Tilmor	0,8
16.03.2020	Düngung N	ASS	100 kg/ha N
20.03.2020	Düngung N	KAS	nach Plan
23.04.2020	Spritzen	Matador	0,75
05.05.2020	Spritzen	Biscaya	0,3
27.07.2020	Ernte		

Anpassung des Anbausystems Einzelkornsaat im Winterraps auf den Einsatz der Hacke

Datum	Maßnahme	Mittel	Menge
10.08.2020	Pflügen mit Packer		
24.08.2020	Saatbettbereitung		
31.08.2020	Drillen		
15.09.2020	Spritzen	Karate Zeon	0,075 l/ha
21.09.2020	Spritzen	Karate Zeon	0,075 l/ha
01.03.2021	Düngung Grundnährstoffe	60 Kali	200 kg/ha K ₂ O
02.03.2021	Düngung N	ASS	100 kg/ha N
30.03.2021	Düngung N	KAS	nach Plan
30.04.2021	Düngung Mikronährstoffe	Profi Bor 150	300 g/ha Bor
19.05.2021	Spritzen	Folicur	1,2 l/ha
04.08.2021	Ernte		
09.08.2021	Pflügen mit Packer		
19.08.2021	Saatbettbereitung		
20.08.2021	Drillen		
14.09.2021	Spritzen	Karate Zeon	0,075 l/ha
01.03.2022	Düngung N	ASS	100 kg/ha N
24.03.2022	Spritzen	Trebon 30 EC	0,2 l/ha
30.03.2022	Düngung N	KAS	nach Plan
13.04.2022	Düngung Mikronährstoffe	Profi Bor 150	300 g/ha Bor
29.07.2022	Ernte		

7 Anhang Abbildungen

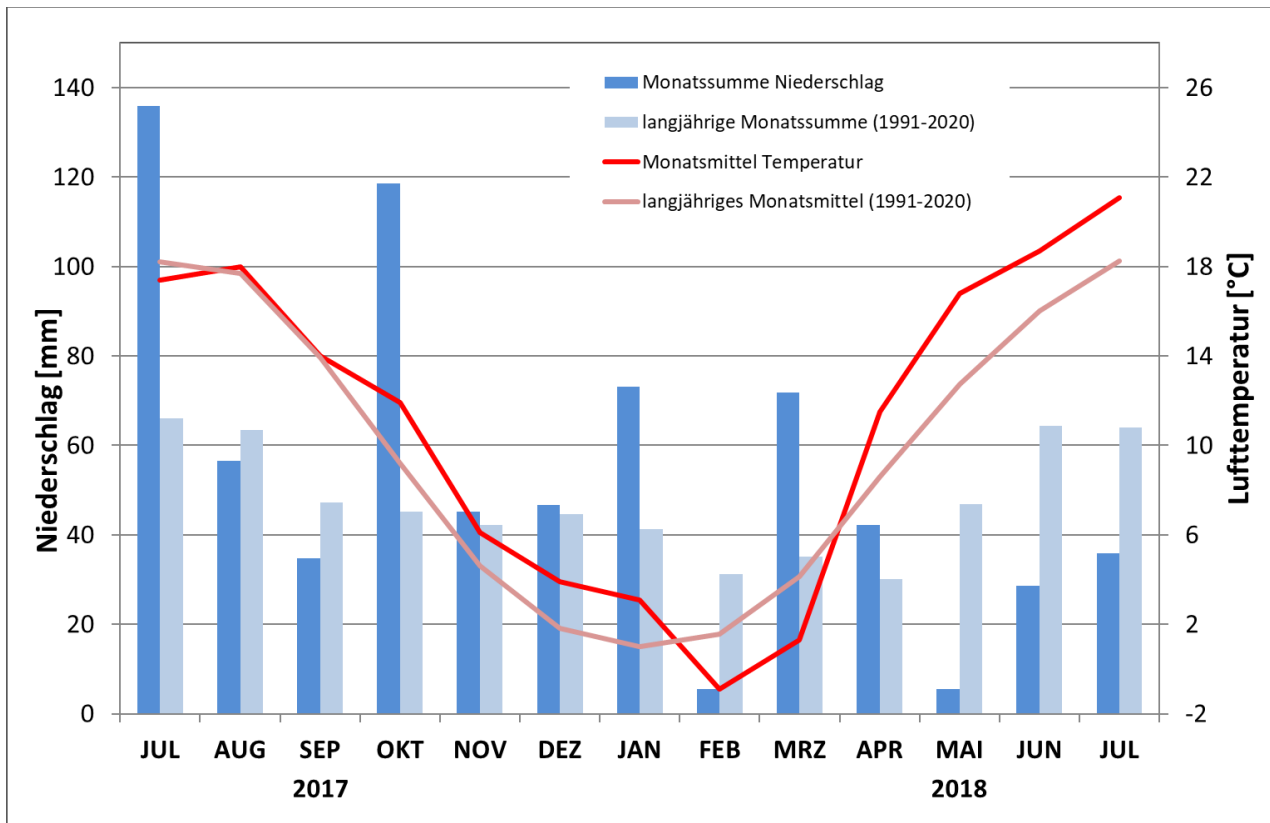


Abbildung A 1: Witterung am Standort Gülzow im Erntejahr 2018

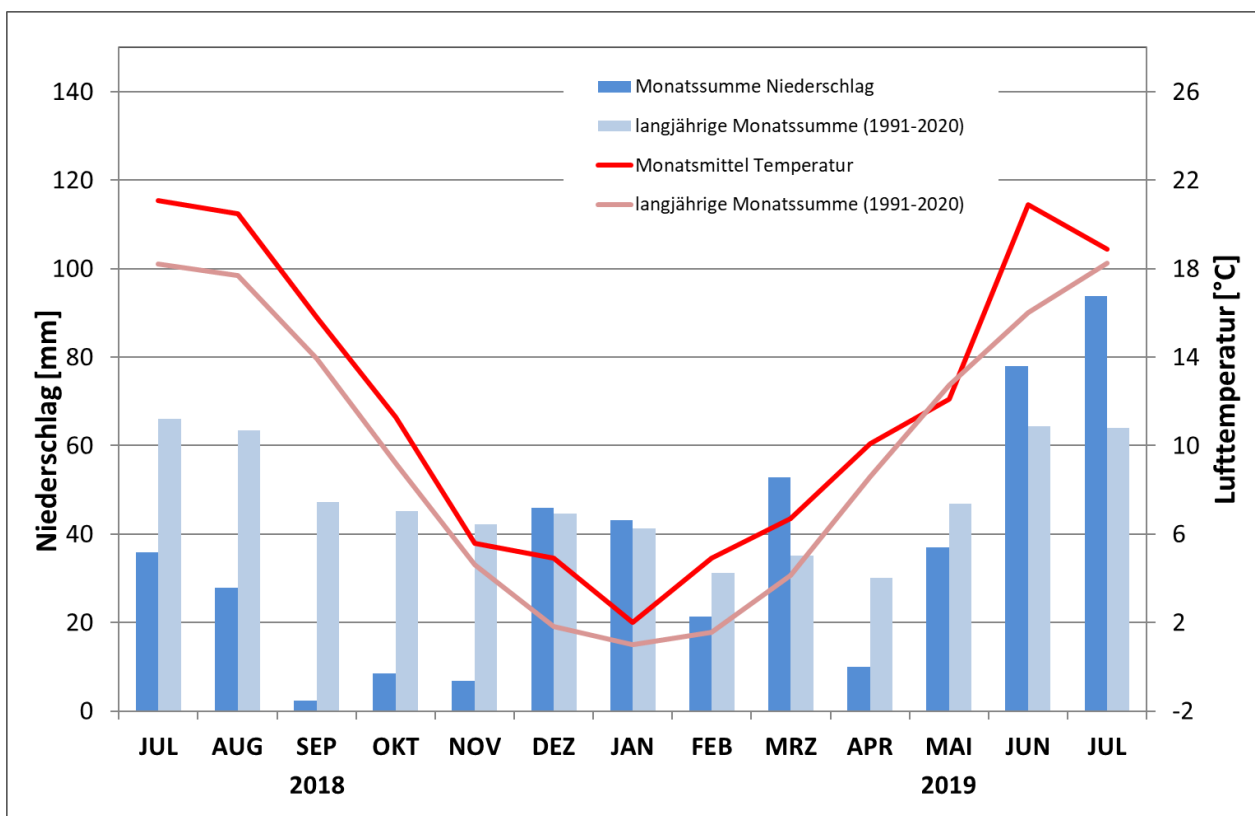


Abbildung A 2: Witterung am Standort Gülzow im Erntejahr 2019

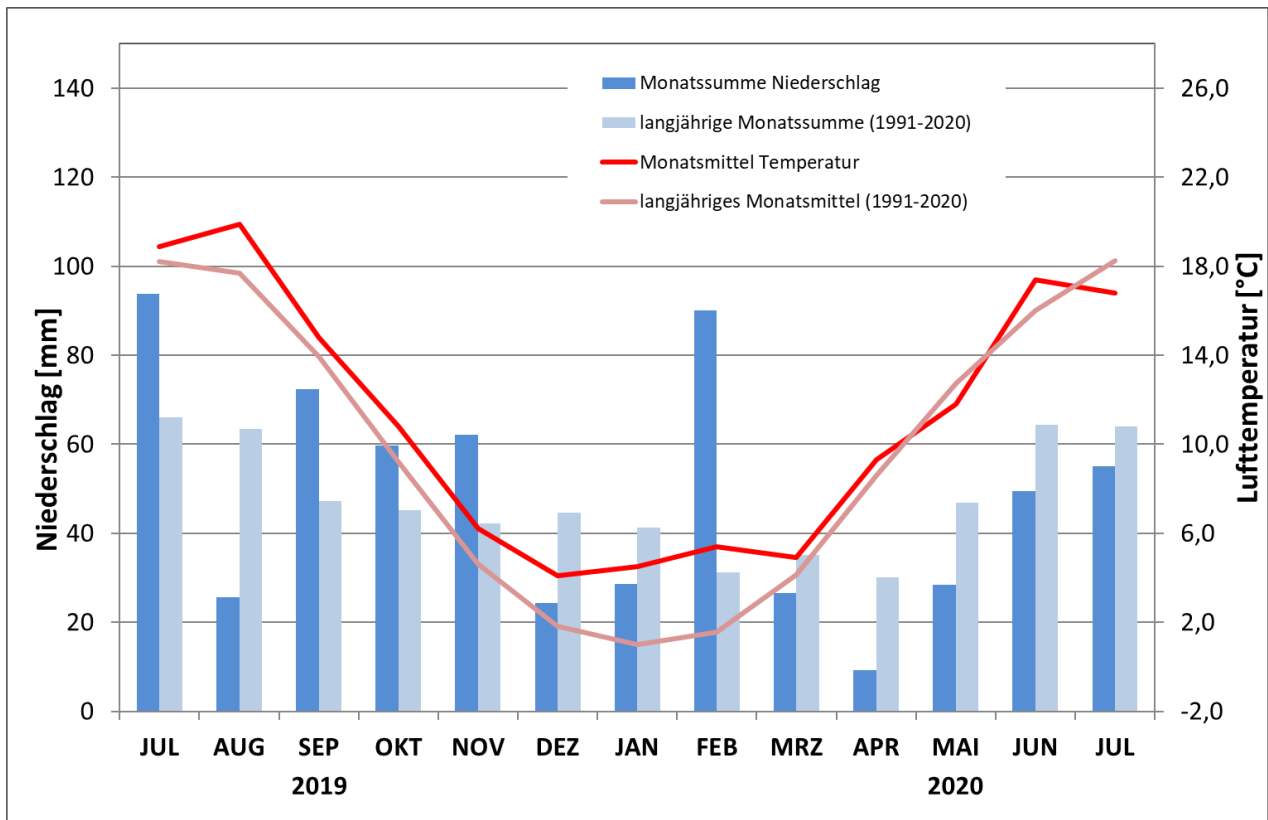


Abbildung A 3: Witterung am Standort Gülzow im Erntejahr 2020

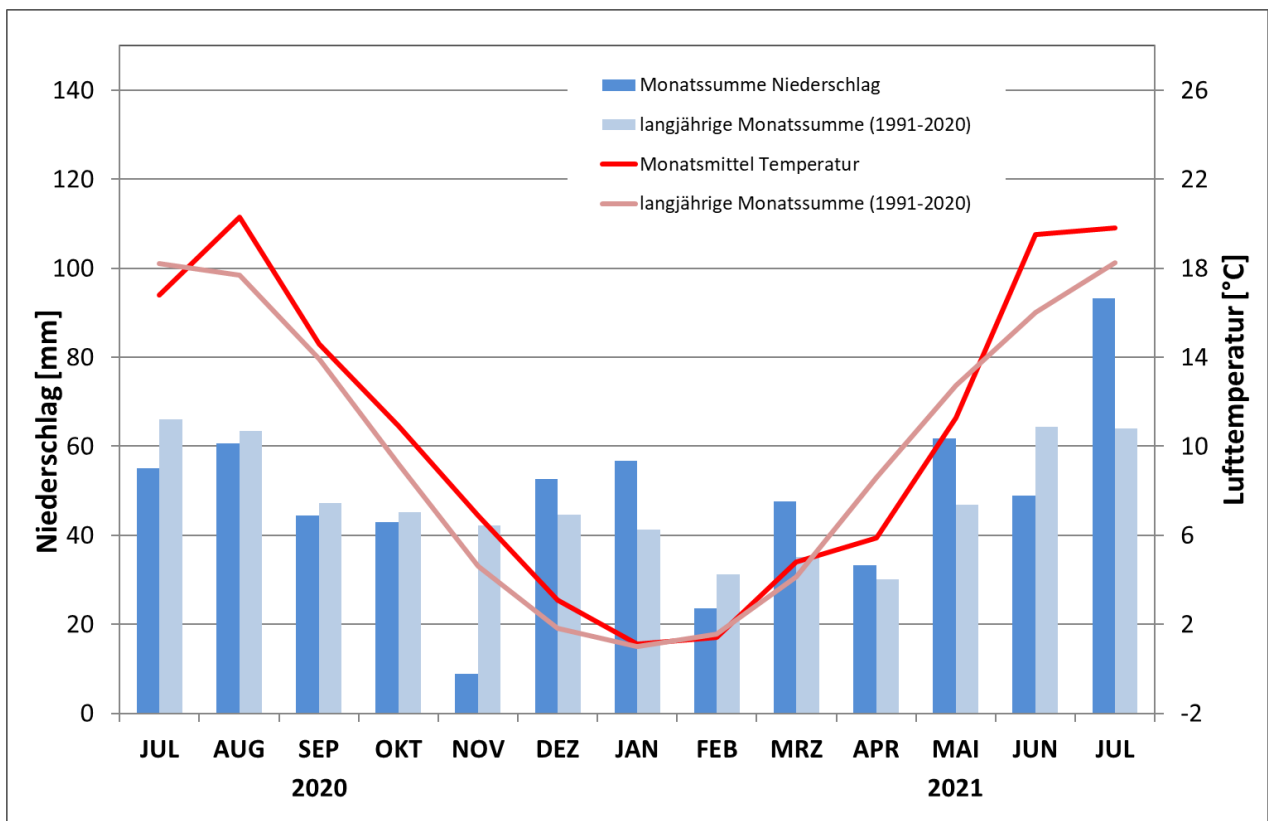


Abbildung A 4: Witterung am Standort Gülzow im Erntejahr 2021

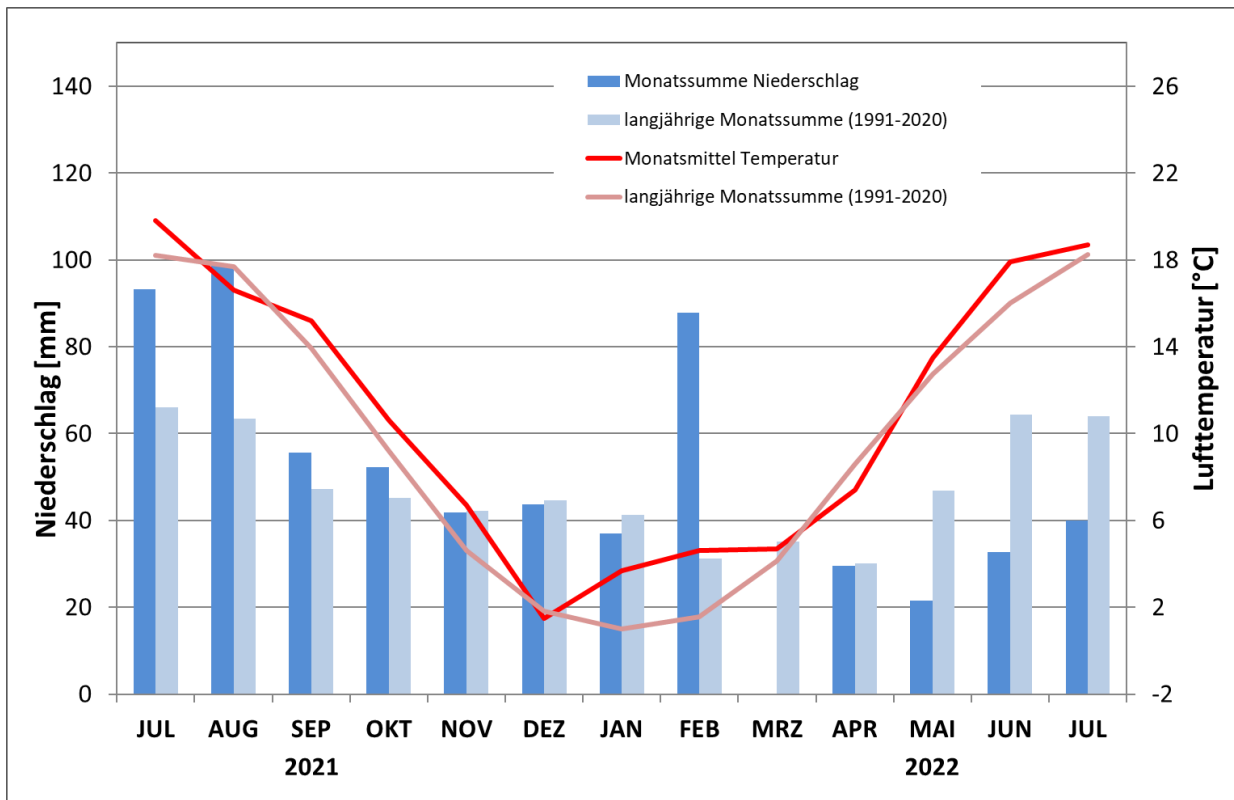


Abbildung A 5: Witterung am Standort Gülzow im Erntejahr 2022

PG 4.4	PG 1.4	PG 5.4	PG 3.4	PG 2.4
PG 5.3	PG 4.3	PG 3.3	PG 2.3	PG 1.3
PG 2.2	PG 5.2	PG 4.2	PG 1.2	PG 3.2
PG 3.1	PG 2.1	PG 1.1	PG 5.1	PG 4.1

Abbildung A 6: Lageplan am Standort Gülzow (beispielhaft für das Erntejahr 2019)

2.2.4	2.3.4	2.1.4	1.3.5	1.1.5	1.2.5	2.1.6	2.2.6	2.3.6
1.2.4	1.3.4	1.1.4	2.3.5	2.1.5	2.2.5	1.1.6	1.2.6	1.3.6
2.1.1	2.2.1	2.3.1	1.2.2	1.3.2	1.1.2	2.3.3	2.1.3	2.2.3
1.1.1	1.2.1	1.3.1	2.2.2	2.3.2	2.1.2	1.3.3	1.1.3	1.2.3

Abbildung A 7: Lageplan am Standort im Landkreis Greifswald-Vorpommern im Erntejahr 2018

PG 1.7	PG 2.7	PG 1.8	PG 2.8
PG 2.5	PG 1.5	PG 2.6	PG 1.6
PG 1.3	PG 2.3	PG 1.4	PG 2.4
PG 2.1	PG 1.1	PG 2.2	PG 1.2

Abbildung A 8: Lageplan am Standort im Landkreis Greifswald-Vorpommern in den Erntejahren 2019 und 2020

8 Literaturverzeichnis

- Bischoff, J. (2013): Starke Einzelpflanzen wurzeln tief. Winterraps. In: *LOP* 2013 (7), S. 30–35.
- Bischoff, J. (2017): Untersuchungen zur Einzelkornsaat, Zwischenreihendüngung und wurzelnahen Stickstoff (N)-Plazierung bei Raps. Rapskolloquium. LLfG Sachsen-Anhalt. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei; Mecklenburg Vorpommern. Salem, 07.12.2017.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2019): Ackerbaustrategie 2035.
- Bundessortenamt (Hg.) (2000): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenwesen. Landbuch-Verlag. Hannover.
- Eickermann, M.; Majerus, A.; Merchier, M.; Schröder, A.; Steiner, T.; Wüthrich, B. (04.03.2016): Alternative Anbautechniken im integrierten Rapsanbau. Ettelbrück.
- Europäische Kommission, Generaldirektion Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (2022): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0305>
- Griependrog, Hans-Werner (1995): Längsverteilung von Sämaschinen und ihre Wirkung auf Standfläche und Ertrag beim Raps. In: *Agrartechnische Forschung* 1 (2), S. 129–136.
- Klaus, M. (1989): Untersuchungen zur Standraumverteilung von Winterraps bei unterschiedlichen Aussaatverfahren. Diplomarbeit. Wilhelm-Pieck-Universität, Rostock. Sektion Meliorationswesen und Pflanzenproduktion.
- Lieven, J.; Quere, L.; Lucas, J.L. (2008): Oilseed rape mechanical weeding as an alternative or a complement to chemical weeding. Diversifying crop protection. ENDURE International Conference. La Grand-Motte, 12.10.2008.
- Peters, J.; Schulz, R.-R. (2016): Ökologische und Ökonomische Bewertung von Stickstoffgaben im Herbst zu Winterraps. In: *Raps* 34. (3), S. 48–51.
- Reuter, G. (1979): Untersuchungen zum industriemäßigen Produktionsverfahren Winterraps unter besonderer Berücksichtigung von Verunkrautung, Pflegemaßnahmen und Reihentfernungen. Dissertation. Wilhelm-Pieck-Universität, Rostock. Fakultät für Biologie, Chemie und Agrarwissenschaften.
- Schumann, W.; Graf, T. (2011): Anforderungen an die Rapssaat im Hinblick auf die Qualitätsoptimierung.
- Weimar-Bosse, C.; Wegener, J.; von Hörsten, D.; Verschwele, A. (2018): Fachgespräch zur "Mechanischen Unkrautbekämpfung" am JKI. Mittelungen und Nachrichten. In: *Journal für Kulturpflanzen* 2018 (70), S. 32–33.