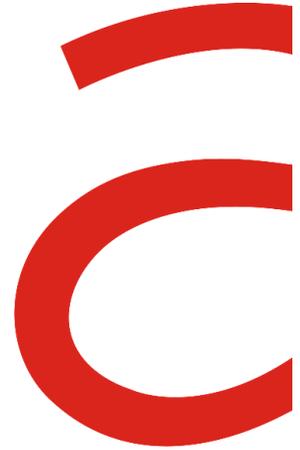


Hochschule Anhalt
Fachbereich 1
Landwirtschaft, Ökotoxikologie
und Landschaftsentwicklung



Bachelorarbeit

„Verträglichkeit verschiedener Herbizide in Feldsalat“

Vorgelegt von: Raatz, Linart

Matrikel: 4067980

Geboren am: 08.07.1998

Studiengang: Landwirtschaft

1. Gutachter: Prof. Dr. Annette Deubel

2. Gutachter: Dipl.-Ing. Sandra Matthes

Bernburg (Saale), den 15.11.2021

I Inhaltsverzeichnis

I Inhaltsverzeichnis.....	II
II Tabellenverzeichnis	IV
III Abbildungsverzeichnis	IV
IV Abkürzungsverzeichnis.....	V
1 Einleitung.....	1
2 Zielstellung	2
3 Literatur	3
3.1 Charakterisierung des Feldsalates.....	3
3.2 Anbau von Feldsalat.....	4
3.3 HRAC-Klassen	5
3.4 Auswahl der Herbizide	8
4 Material und Methoden	13
4.1 Topfversuche.....	13
4.1.1 Versuchsaufbau	13
4.1.2 Kulturführung Topfversuche.....	16
4.2 Freilandversuche	19
4.2.1 Versuchsaufbau.....	19
4.2.1.1 Boden	19
4.2.2.2 Klima.....	20
4.2.2.3 Anordnung der Parzellen	21
4.2.3 Kulturführung	22
4.2.3.1 Aussaat	22
4.2.3.2 Düngung.....	23
4.2.3.3 Pflanzenschutz.....	24
4.2.3.4 Bewässerung	25
4.2.4 Ernte	26
5 Ergebnisse.....	27

5.1 Ergebnisse Topfversuche.....	27
5.2 Ergebnisse Freilandversuche.....	31
6 Diskussion	34
7 Fazit	40
8 Zusammenfassung und Ausblick	41
Literaturverzeichnis	42
Selbstständigkeitserklärung	49
Anlagen	50

II Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Inhaltsstoffe Feldsalat (GEO, 2021)	3
Tabelle 2: Nährstoffgehalte des Bodens (CAL-Methode):	16
Tabelle 3: Bodenherbizide für Topfversuche	17
Tabelle 4: Blattherbizide für Topfversuche	18
Tabelle 5: Bezeichnung der Varianten.....	18
Tabelle 6: Bodeneigenschaften im Freiland (LLG, 2021).....	19
Tabelle 7: Im Freiland getestete Herbizide	21
Tabelle 8: Daten Parzellenspritze	24
Tabelle 9: Pflanzenschutzmaßnahmen	25
Tabelle 10: Ergebnisse Topfversuche	27
Tabelle 11: weiter zu prüfende Varianten	41

III Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Spritzapparat Draufsicht	14
Abbildung 2: Spritzapparat im Abzug	15
Abbildung 3: Pflanzenkulturschrank	18
Abbildung 4: Klimadiagramm Bernburg (LLG, 2021)	20
Abbildung 5: Parzellenplan Freiland	22
Abbildung 6: Bewässerungstechnik	26
Abbildung 7: sukkulentartiger Wuchs (V. 1B).....	30
Abbildung 8: normaler Wuchs (V. 7A)	30
Abbildung 9: verzögerter Auflauf (V. 4C).....	30
Abbildung 10: Aufhellungen (V. 10 A).....	30
Abbildung 11: Ertrag im Freiland	31
Abbildung 12: verblichene Laubblätter durch 1200 g/ha Aclonifen.....	32
Abbildung 13: Schäden durch 60 g/ha Clopyralid	33
Abbildung 14: Aufhellungen durch 150 g/ha Mesotrione	33
Abbildung 15: schlechte Querverteilung bei der Beregnung.....	38

IV Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
§	Paragraph
°C	Grad Celsius
2,4 D	2,4-Dichlorphenoxyessigsäure
ACCCase	Acetyl-CoA-Carboxylase
AWM	Aufwandmenge
BASF	Badische Anilin und Soda Fabrik
BBCH	Code der Wuchsstadien
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
C	Kohlenstoff
cm	Zentimeter
DVO	Durchführungsverordnung
EU	Europäische Union
ha	Hektar
HPPD	4-Hydroxyphenylpyruvat-Dioxygenase
HRAC	Herbizide Resistenz Action Comittee
JKI	Julius-Kühn-Institut
K	Kalium
l/ha	Liter pro Hektar
LLG	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt
LTZ Augustenberg	Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg
MCPA	2-Methyl-4-chlorphenoxyessigsäure
Mg	Magnesium
mg/100g	Milligramm pro 100 Gramm
ml	Milliliter
mm	Millimeter

N	Stickstoff
NA	Nachauflauf
Na	Natrium
N-min	mineralisierter, pflanzenverfügbare Stickstoff im Boden
P	Phosphor
PDS	Phytoen-Desaturase
PflSchG	Pflanzenschutzgesetz
pH-Wert	Maß für den sauren oder basischen Charakter einer wässrigen Lösung
PPO	Protoporphyrinogen-Oxidase
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
RP	Regierungspräsidium
SHS	Sulfonylharnstoffe
t/ha	Tonnen pro Hektar
V	Variante
VA	Vorauflauf
VLCFA	Very long chain fatty acids (überlange Fettsäuren)
z.B	zum Beispiel

1 Einleitung

Neben einem Hauptgericht und der Beilage wird zu fast jedem warmen Essen ein Salat gereicht. Salate sollen als Dekoration das Auge ansprechen und besonders bei schweren Gerichten Frische auf den Teller bringen. Nachdem lange Zeit Kopfsalat der Standard war, wird dieser immer mehr von krausen und bunten Salaten verdrängt, auch kommen immer mehr Alternativen, wie z.B. Spinat- und Rotebeete-Blätter auf den Teller.

In Süddeutschland erfreut sich Feldsalat schon seit Jahrzehnten besonders als Wintersalat großer Beliebtheit und hält auch in der gehobenen Küche als Dekoration Einzug. Er zeichnet sich durch seinen feinen, nussigen Geschmack, seine dunkelgrüne Farbe, vor allem aber durch seine Form als Blattrosette von den anderen Salatsorten ab.

Früher war Feldsalat ein reiner Wintersalat. Hier wurde die winterannuelle Eigenschaft der Pflanze genutzt, um auch im Winter und zeitigen Frühjahr frischen Salat ernten zu können.

Durch neu gezüchtete Sorten ist heute ein fast ganzjähriger Anbau möglich, lediglich starker Frost im Winter behindert die Ernte. Im konventionellen Freilandanbau wird Feldsalat grundsätzlich gedrillt, lediglich bei wenigen Ökobetrieben und teilweise im Gewächshaus kommt eine gepflanzte Presstopfkultur zum Einsatz. Feldsalat stellt sehr hohe Ansprüche an das Saatbett, vor allem um die Aussaatiefe von acht Millimetern exakt einzuhalten. Die Unkrautregulierung erfolgt im konventionellen Anbau durch Herbizide. Restverunkrautung muss mühevoll per Hand entfernt werden, denn der Handel hat eine Nulltoleranzgrenze gegenüber Unkräutern im fertigen Produkt. Ebenso führen Verfärbungen oder Verformungen der Blätter, auch an nur wenigen Pflanzen, zum Verwurf ganzer Partien. Auf Grund der kleinen Anbaufläche gibt es keine in Feldsalat zugelassenen Herbizide, stattdessen wurde 2010 die Zulassung des Herbizids Devrinol FL nach §18 PflSchG erweitert. Da Devrinol FL in der genehmigten Menge nicht ausreichend wirksam ist, wurde die Anwendung des Mittels Proman über eine jährlich wiederholte Notfallzulassung ermöglicht. Die Zulassung von Devrinol FL lief am 31.12.2020 aus, die Aufbrauchfrist endet am 30.06.2022, der Hersteller UPL beabsichtigt keine Neuzulassung. Die jährlich ausgestellte Notfallzulassung für Proman wird nach Auskunft des Zulassungsinhabers Belchim Crop Protection in Zukunft vermutlich nicht mehr so regelmäßig vom BVL ausgestellt werden können, wie in der Vergangenheit.

Durch möglicherweise vollständigen Wegfall der chemischen Unkrautbekämpfung bleibt nur noch die mechanische Unkrautbekämpfung, welche sehr viel Handarbeit verursacht und durch die damit verbundenen hohen Kosten den konventionellen Feldsalatanbau unwirtschaftlich gestaltet.

2 Zielstellung

Um den sehr hohen Handarbeitsaufwand außerhalb der Zeit der Notfallzulassung von Metobromuron zu senken, müssen neue Wege zur chemischen Unkrautregulierung gefunden werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, eine größere Anzahl an Wirkstoffen auf die Verträglichkeit in Feldsalat zu testen, um aus den Ergebnissen Behandlungsmöglichkeiten für die Praxis und weitere Versuche abzuleiten.

Mit 315 Mitteln sind im Ackerbau sehr viele verschiedene Herbizide zugelassen (BVL, 2019) von denen sich aber nur die wenigsten für Feldsalat eignen könnten. Zur Prüfung wurden Herbizide ausgesucht, welche eine breite Zulassung in verschiedenen unterschiedlichen Kulturen besitzen, breite Wirklücken aufweisen oder bekannter Weise eher weniger durchschlagend wirken.

Die große Variantenvielfalt aus verschiedenen Herbiziden und Aufwandmengen würde bei ausschließlich Freilandversuchen den Kostenrahmen sprengen. Um Kosten und Aufwand in einem vertretbaren Rahmen zu halten, wurden zuerst alle Herbizide in Topfversuchen getestet.

Die Wirkstoffe und Aufwandmengen, welche im Topfversuch den Feldsalat nicht nennenswert schädigten, wurden dann im Freilandversuch auf Praxistauglichkeit getestet.

Im Freilandversuch musste dann der Feldsalat trotz Behandlung die Erntereife erreichen und durfte keine nennenswerte Mindererträge aufweisen.

3 Literatur

3.1 Charakterisierung des Feldsalates

Feldsalat (*Valerianella locusta*) ist eine einjährige, krautige Pflanze, die mit keiner anderen Kulturpflanze, ausgenommen des Baldrians, verwandt ist. Genutzt wird die circa sieben Wochen nach der Frühlingsaussaat etwa fünf Zentimeter im Durchmesser messende Blattrosette, welche, nach gründlichem Waschen, frisch verzehrt wird. Etwa acht bis zehn Wochen nach der Aussaat beginnt der Salat mit dem Schossen und ist damit wertlos.

Mit rund 2.500 ha Anbaufläche liegt Feldsalat im Mittelfeld zwischen Kopfsalat (rund 1.300 ha) und Eissalat (rund 3.700 ha). Allerdings beträgt mit circa 5 t/ha der Ertrag beim Feldsalat nur bei etwa 15 % der anderen Salate (DESTATIS, 2020).

Neben seinem angenehmen Geschmack und seinem dekorativen Aussehen bringt der Feldsalat eine Reihe wertvoller Inhaltsstoffe mit sich:

Tabelle 1: Inhaltsstoffe Feldsalat (GEO, 2021)

Vitamine	Gehalt
Vitamin A – Retinoläquivalent	650 µg/100g
Vitamin E – Alpha-Tocopheroläquivalent	600 µg/100g
Vitamin B1 – Thiamin	65 µg/100g
Vitamin B2 – Riboflavin	80 µg/100g
Vitamin B3 – Niacin	380 µg/100g
Vitamin B5 – Pantothensäure	200 µg/100g
Vitamin B6 – Pyridoxin	250 µg/100g
Vitamin B7 – Biotin (Vitamin H)	1 µg/100g
Vitamin B9 – gesamte Folsäure	145 µg/100g
Vitamin C	35000 µg/100g
Mineralstoffe	
Calcium	35 mg/100g
Kalium	421 mg/100g
Magnesium	13 mg/100g
Natrium	4 mg/100g
Phosphor	49 mg/100g

3.2 Anbau von Feldsalat

Feldsalat wird in Deutschland überwiegend im Freiland angebaut. Je nach Aussaatzeitpunkt beträgt die Kulturdauer zwischen 6,5 und 11 Wochen, wobei die Schwankungen im Herbst und Winter größer sind als bei der Frühljahrsaussaat. Feldsalat benötigt ein feinkrümeliges Saatbett und eine kontinuierliche Wasserversorgung, um eine zügige Keimung zu ermöglichen und Trockenstress, der zum schnelleren Schossen führt, zu vermeiden. Die Aussaat im Freiland beginnt in der letzten Februarwoche, sobald die im Herbst vorbereiteten Beete ausreichend abgetrocknet sind, um eine schmierfreie Aussaat zu ermöglichen. Ausgesät werden circa 640 Körner pro Quadratmeter, die Reihenabstände richten sich nach der Säe- und Erntetechnik, üblich sind 10 cm oder 12,5 cm. Bei der Aussaat ist darauf zu achten, dass die Aussaattiefe exakt eingehalten wird. Eine ungleichmäßige Ablage führt zu unterschiedlich schnellem Wuchs und damit zu geringeren Marktwarenerträgen. Wird eine maschinelle Ernte angestrebt, so muss die Saattiefe noch exakter eingehalten werden als bei einer Handernte. Auch muss die Bodenoberfläche nach der Saat exakt eben sein. Unebenheiten führen zu großen Ernteverlusten oder können eine maschinelle Ernte unmöglich machen (HAZERA, 2021-a). Feldsalat hat, gemessen an seiner kurzen Kulturdauer, einen hohen Düngbedarf von 85 Kilogramm Stickstoff pro Hektar. Bei der Düngbedarfsermittlung ist zu beachten, dass die N-min Probe nur aus dem Horizont von 0 bis 15 cm gezogen werden darf (DÜV, 2017). Die Stickstoffmenge wird auf zwei Gaben aufgeteilt, um Auswaschung durch die intensive Beregnung zu vermeiden. Eine nitratbetonte Düngung erhöht den Zellinnendruck und sorgt damit für mechanisch stabilere Ware, welche im Sommer besser vermarktbar ist. Die zweite Gabe Stickstoff wird meist über die Beregnung gegeben, da hier eine schnelle und sichere Wirkung garantiert ist. Kalium und Phosphor werden nach den Entzügen gedüngt und zusammen mit der Saatbettbereitung sehr flach eingearbeitet. Nach der Saat erfolgt unmittelbar die Behandlung mit den zugelassenen Herbiziden. Im Bioanbau wird ein bis zwei Tage vor dem Auflaufen der Acker abgeflammt. Etwa 5-7 Tage nach der Frühljahrsaussaat läuft der Feldsalat auf und wird nun anfällig für eine ganze Reihe von Krankheiten. Der Keimlingsbefall mit *Rhizoctonia solani* wird durch eine Beizung vermindert. Auch ein Befall mit falschem Mehltau (*Peronospora valerianellae*) wird seltener. Um den Feldsalat gesund und optisch ansprechend, also frei von Krankheiten, zu halten, wird er im konventionellen Anbau zwei bis drei Mal mit Fungiziden behandelt. Der Schwerpunkt dieser Behandlungen liegt auf den Krankheiten *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia* und dem echten Mehltau. Hat der Feldsalat die vom Handel gewünschte Größe erreicht, wird er geerntet. Die Ernte erfolgt zum Teil von Hand beispielsweise bei sehr nassen Verhältnissen, unebenem Saatbett oder ungleichmäßigem Bestand. Nach der Ernte wird der Salat maschinell gewaschen, um ihn von der anhaftenden

Erde zu befreien und eine einwandfreie Sortierung zu ermöglichen. Feldsalat wird für den Endverbraucher in Schalen und Folienbeutel verpackt. Großverbraucher können ihren Bedarf über lose Ware in Kisten decken. Nach der Ernte dauerhaft gekühlt ist gesunder Feldsalat etwa drei Tage lagerfähig.

3.3 HRAC-Klassen

Herbizide sind im konventionellen Anbau die Schlüsselwerkzeuge zur Bekämpfung von Pflanzen, die der Kultur zur Konkurrenz werden könnten, sobald die Saat im Boden ist. Alle Herbizide haben gemeinsam, dass sie die Zielpflanze so stark schädigen, dass diese schlussendlich abstirbt. Die Kulturpflanze sollte dabei so wenig wie möglich geschädigt werden.

Die chemische Industrie hat im Laufe der letzten Jahrzehnte immer neue Wirkstoffe zur Bekämpfung von Schadpflanzen entwickelt. Diese lassen sich nach verschiedenen Merkmalen ordnen. Neben der Kultur oder dem Zielorganismus, erscheint hier das Klassifizieren nach Wirkweise nützlich. Dies ist vor allem deshalb sinnvoll, da durch Selektion im Laufe der Zeit jeder Wirkstoff überwunden wird, das Unkraut wird resistent, was es möglichst lange hinauszuzögern gilt. Um dem Anwender auch ohne tiefgreifende chemische Kenntnisse dieses Resistenzmanagement zu ermöglichen, wurde von dem HRAC eine Codierung der Wirkweise festgelegt und jedem Wirkstoff mit derselben Wirkweise derselbe Code zugeordnet.

Die HRAC unterscheidet in 29 verschiedene Wirkweisen, von denen allerdings nur 19 in Deutschland zum Einsatz kommen.

HRAC 1:

Die Wirkstoffe dieser Gruppe hemmen das Enzym Acetyl-CoA-Carboxylase (RP GIEßEN, 2020), welches die Produktion von Malonyl-CoA aus Acetyl-CoA und Kohlenstoffdioxid katalysiert. Malonyl-CoA ist der Ausgangsstoff für alle Fettsäuren. Die HRAC 1 erfasst ausschließlich Monokotyle Schadpflanzen, sprich Ungräser und ist rein blattaktiv. Dadurch, dass nur an einer Stelle am Enzym angegriffen wird, ist die Klasse 1 hoch resistenzgefährdet, was insbesondere beim Ackerfuchsschwanz zu großen Problemen im Ackerbau führt (JKI, 2011).

HRAC 2:

Die Wirkstoffe dieser Gruppe hemmen das für den Aufbau von verzweigten Aminosäuren benötigte Enzym Acetolat-Synthetase (ALS). Diese Gruppe ist sehr vielfältig, da die chemische Industrie diese Wirkstoffe praktisch nach Maß schneiden kann. Die Wirkstoffe sind mit Ausnahme des Rapses (ohne Clearfield®) in vielen bedeutenden Kulturen zur Bekämpfung von ein und zweikeimblättrigen Schadpflanzen zugelassen, wobei es beträchtliche Unterschiede im Wirkspektrum gibt. Die mit Abstand größte Breitenwirkung gibt es im Winterweizen (LFL, 2020-a) und im Mais (LFL, 2020-b), hier können alle wichtigen Unkräuter und Ungräser mit dieser Gruppe bekämpft werden.

Auf Grund dieser Vielfalt, des günstigen Preises und der in der Regel sehr guten Kulturverträglichkeit werden die ALS-Hemmer aus Sicht des Resistenzmanagements zu häufig eingesetzt. Da sie ebenso wie die ACCase-Hemmer aus HRAC-Gruppe 1 nur an einer Stelle angreifen, sind sie genauso hoch resistenzgefährdet. Auch hier sind große Probleme, vor allem beim Ackerfuchsschwanz vorhanden.

HRAC 3:

Neben Mikrofilamenten und Intermediärfilamenten besteht das Cytoskelett der Pflanzenzelle aus Mikrotubuli. Neben der Stabilität sorgen diese Zellkompartimente für den Transport von Stoffwechselprodukten und für Bewegung. Wird der Aufbau der Mikrotubuli gehemmt, so stirbt diese Pflanze ab. In Deutschland sind aus dieser Klasse nur die Wirkstoffe Pendimethalin (in vielen Kulturen zugelassen) und Propyzamid (in Winterraps) verfügbar. Im Gegensatz zu den Gruppen 1 und 2 wird die Resistenzgefährdung nur als mittel eingestuft (LWK Niedersachsen, 2015).

HRAC 4:

Das Wachstum wird neben Gibberellinen auch über Auxine gesteuert. Wird dieses sensible System durcheinandergebracht, stirbt die Pflanze ab. Dieser Gedanke wurde bei der Entwicklung der ersten Wirkstoffe dieser Gruppe verfolgt: MCPA und 2,4 D. Beide Wirkstoffe ahmen die Indol-3-Essigsäure nach, wodurch die Pflanze mit Auxinen überflutet wird und sich dadurch „zu Tode wächst“. Diese Wachstumsstörungen (daher auch der Name Wuchsstoffe) zeigen sich sehr zügig nach der Anwendung durch Verkrümmungen und Verdrehen der Pflanze (NUFARM, 2021-a). Da Wuchsstoffe nicht durch Hemmung oder Veränderung in das Hormonsystem der Pflanze eingreifen ist das Resistenzrisiko als gering zu bewerten (LWK Niedersachsen, 2015).

HRAC 5&6:

Die Wirkstoffe dieser Gruppe greifen in das Photosystem II der Pflanze ein. Der Eingriff an das Protein D1 (Gruppe 5: 264 Serin u.a., Gruppe 6: 215 Histidin (HRAC, 2021)) sorgt für ein Ausfall der Lichtreaktion und damit zur Unterbrechung der Photosynthese. Vor Einführung des Numerischen Codes 2020 waren die Wirkstoffe dieser Gruppen nach ihrer Molekülstruktur in drei Gruppen eingeteilt. Diese Einteilung erwies sich als überholt, da die Wirkstoffe der Gruppen C2 und C3 am selben Punkt angriffen und nur C3 eigenständig war und damit in Gruppe 6 einsortiert wurde.

HRAC 9:

Dieser Gruppe ist nur der Wirkstoff Glyphosat zugeordnet. Der Wirkstoff hemmt das Enzym Enolpyruvylshikimat-Phosphat-Synthase und bringt damit den Shikimisäureweg zum Stillstand. Über den Shikimisäureweg bildet die Pflanze die aromatischen Aminosäuren Phenylalanin, Tryptophan und Tyrosin. Ohne diese Aminosäuren kommt die Proteinbiosynthese in der Pflanze zum Erliegen und die Pflanze stirbt ab (KOCH und AUGUSTIN, 2012).

HRAC 12:

Das zur Photosynthese benötigte Chlorophyll ist empfindlich gegenüber den Wellenlängen, die es nicht zur Photosynthese nutzen kann. Diese zerstören das Chlorophyll. Um diesen Schaden zu verhindern, bildet die Pflanze Carotinoide, welche das Chlorophyll schützen. Herbizide der Gruppe 12 hemmen das Enzym Phytoen-Desaturase und damit den ersten Schritt der Carotinoidbiosynthese (RP GIEßEN, 2020). Durch das Fehlen der Carotinoide, gefolgt von der Zerstörung des Chlorophylls, stirbt die Pflanze ab.

HRAC 13:

Dieser Gruppe ist in Deutschland nur der Wirkstoff Clomazone zugeordnet. Das Prinzip ist analog zur Gruppe 12, allerdings wird hier das Enzym 1-Desoxy-D-xylulose-5-phosphat-Synthase blockiert (HRAC, 2021).

HRAC 14:

Ohne Chlorophyll findet keine Photosynthese statt. Bei der Chlorophyllsynthese nimmt das Enzym Protoporphyrinogen-Oxidase eine Schlüsselstellung ein, da es mit Porphyrin den Grundbaustein des Chlorophylls liefert. Wirkstoffe der Gruppe 14 stören die Enzymaktivität, sodass das Enzym Sauerstoffradikale bildet, welche dann die Zellorganellen zerstören (CERTIS, 2021).

HRAC 15:

Zum Aufbau von Plasmamembranlipiden und zur Bildung der Wachsschicht benötigt die Pflanze sogenannte überlange Fettsäuren, die VLCFA. Diese werden von der Pflanze aus kürzeren Fettsäuren mit Hilfe des Enzyms extraplastidäre Fettsäure-Elongase kondensiert. Herbizide der Gruppe 15 hemmen das Enzym, was zuerst zu verkürzten Fettsäuren und schlussendlich zum vollständigen Fehlen der VLCFA und damit zum Absterben der Pflanze führt (MATTHES, 2001).

HRAC 23:

Mikrotubuli sind, wie in der Gruppe 3 beschrieben, für die mechanische Stabilität der Zelle und für den Stofftransport zuständig. In empfindlichen Pflanzen wirken die Wirkstoffe der Gruppe 23 als Mikrotubuli-Organisationshemmer. Sie stören also die richtige räumliche Anordnung der Mikrotubuli. Mit dem Ende der Zulassung des Mittels Crawler am 26.06.2021 ist kein Pflanzenschutzmittel mehr mit diesem Wirkmechanismus in Deutschland zugelassen (ADAMA, 2021-a)

HRAC 27:

Wie in der Gruppe 12 beschrieben, schützen Carotinoide das Chlorophyll vor der Zerstörung durch das Sonnenlicht. Anders als in den Gruppen 12 und 13 wird bei Wirkstoffen der Gruppe 27 das Enzym 4-Hydroxyphenylpyruvat-Dioxygenase gehemmt. Dadurch tritt ein Mangel an Plastochinon ein. Plastochinon ist direkt an der Photosynthese beteiligt und ein wichtiger Co-Faktor für das Enzym PDS, wodurch dieselben Folgen wie in der Gruppe 12 beschrieben auftreten: die Pflanze bleicht aus und stirbt ab (RÖMPP, 2021).

HRAC 32:

Der dieser Gruppe zugeordnete Wirkstoff Aclonifen erzeugt ähnliche Schäden wie die Carotinoidsynthese-Hemmer, besitzt aber in seiner Struktur Ähnlichkeiten mit den PPO-Hemmern. Intensive Nachforschungen der Bayer AG ergaben, dass der Wirkstoff das Enzym Solanesyl-Diphosphat-Synthase hemmt und damit ebenso die Carotinoidsynthese stört (Kahlau et al., 2020).

3.4 Auswahl der Herbizide

Da eine Testung aller in Deutschland verfügbaren herbiziden Wirkstoffen den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, wurde eine Auswahl getroffen.

Von Beginn an ausgeschlossen, wurde die HRAC Gruppe 1. Diese Gruppe umfasst Stoffe, die das Enzym Acetyl-CoA Carboxylase hemmen. Diese Wirkstoffe erfassen nur Gräser, welche aber auf Grund der schon erteilten Zulassung für die Mittel Select 240 und Focus Ultra (DLR, 2021) keine Probleme darstellen. Auch ohne Beachtung bleibt die Gruppe der HRAC 2. Diese Wirkstoffe hemmen das Enzym Acetolactat-Synthase und sind sehr spezifisch auf die Kultur zugeschnitten. Eine Wirklücke für Feldsalat ist bei den meist breit dikotylwirksamen Produkten nicht zu erwarten. Ebenso ausgeschlossen wurde die HRAC-Gruppe 9 mit dem Wirkstoff Glyphosat, da eine Toleranz gegenüber Glyphosat sehr unwahrscheinlich ist.

Zur Auswahl kamen 18 Wirkstoffe, jeweils einzeln formuliert:

1. Pendimethalin: Der Wirkstoff wird, im Voraufbau angewendet, über den Keimling, die Wurzeln und die Keimblätter beim Auflaufen aufgenommen. Als Mitglied der HRAC-Gruppe 3, hemmt Pendimethalin in empfindlichen Pflanzen Zellteilungs- und streckungsprozesse, wodurch die Pflanzen schlussendlich absterben. In dieser Arbeit wurde das Produkt StompAqua der BASF verwendet. StompAqua ist in vielen gesäten Sonderkulturen zugelassen (BASF, 2021-a).
2. Chlortoluron: Chlortoluron ist wie das bereits verwendete Metobromuron ein Herbizid aus der Gruppe der Phenylharnstoffe, welche in das Photosystem-II eingreifen (HRAC-Gruppe 5). Chlortoluron wird im Getreidebau zur Bekämpfung von Ungräsern und verschiedenen Unkräutern eingesetzt. Es wird vor allem über die Wurzeln aufgenommen (NUFARM, 2021-b). In dieser Arbeit wurde das Produkt Lentipur700 der Firma Nufarm verwendet.
3. Ethofumesat: Dieser in Zuckerrüben (LFL, 2021) zugelassene Wirkstoff der HRAC-Gruppe 15 hemmt die Zellteilung und die Lipidsynthese in empfindlichen Pflanzen. Ethofumesat wird, bei einer Anwendung im Voraufbau, über die Wurzeln der keimenden Unkräuter aufgenommen und dann in der Pflanze verteilt (BVL, 2015). In dieser Arbeit wurde das Mittel Oblix500 verwendet welches durch die Firma UPL vertrieben wird.
4. Prosulfocarb: Im Jahr 1988 führte die Firma Imperial Chemical Industries den Wirkstoff aus der HRAC Gruppe 15 ein. Er ist in vielen Kulturen einsetzbar und wird mittlerweile unter dem Namen Boxer von Syngenta vermarktet. Er wird im Voraufbau der Kulturen ausgebracht und wirkt bei hoher Bodenfeuchtigkeit gut gegen eine Vielzahl an Ungräsern und Kräutern (SYNGENTA, 2020-b).
5. Propyzamid: Die 1965 eingeführte und heute von Corteva vermarktete Substanz ist ein Schlüsselwirkstoff zur Bekämpfung von resistenten Ungräsern in Winterraps. Neben diesem Haupteinsatzfeld wird der Wirkstoff noch beim Anbau von Salatarten, Erdbeeren und etlichen anderen Sonderkulturen eingesetzt. Propyzamid ist der

HRAC Gruppe 3 zugeordnet und zeigt sich gegenüber Bodentemperaturen über 10°C empfindlich (CORTEVA, 2021-a). Zum Einsatz kam das Produkt KerbFLO.

6. Metamitron: Mitte der 1970er Jahre brachte die Bayer AG Metamitron zum Einsatz in Zuckerrüben auf den Markt (Plumpe et al., 1988). Wie die anderen Triazine, ist auch Metamitron in die HRAC Gruppe 5 eingeordnet (FARLAND und BURNSIDE, 2008). Seine Wirkschwerpunkte liegen im Rübenanbau, vor allem bei der Bekämpfung von Melde und Gänsefußarten, sowie der Verhinderung von Spätverunkrautung (ADAMA, 2021-b). Verwendet wurde das Produkt Goltix Gold der Firma Adama.
7. Flufenacet: Der Wirkstoff wird überwiegend im Wintergetreideanbau zur Bekämpfung von Gräsern verwendet. Er ist der HRAC Gruppe 15 zugeordnet und wird von der Bayer AG unter dem Namen Cadou vertrieben (BAYER, 2021-a).
8. Aclonifen: Dieser leuchtend gelbe Stoff mit seiner einzigartigen HRAC Klasse 32 wird von der Bayer AG unter dem Namen Bandur vermarktet. Bandur wird vor allem in Kartoffeln, Erbsen und Ackerbohnen im Voraufbau eingesetzt (BAYER, 2021-b)
9. Clomazone: Dieser Wirkstoff findet vor allem beim Anbau von Winterraps gegen Raukearten Verwendung. Ebenso beim Einsatz in Kartoffeln, um die Wirkung von Aclonifen abzusichern. Clomazone bildet allein die HRAC Gruppe 13 und verursacht an Winterraps häufig charakteristische Chlorosen. In dieser Arbeit wurde das Produkt Cetium 36CS verwendet (FMC, 2021).
10. Clopyralid: Dieser, der HRAC Gruppe 4 zugeordnete Wuchsstoff, wurde 1975 von Dow Chemical auf den Markt gebracht. Im Gegensatz zu vielen anderen Wuchsstoffen ist Clopyralid in den sonst sehr wuchsstoffempfindlichen Kulturen Raps, Zuckerrüben und Erdbeeren zugelassen. Clopyralid wirkt nur über das Blatt, hat aber eine ausgewiesene Wirkung gegen Kreuzkrautarten (CORTEVA, 2021-b). In den Versuchen kam das Produkt Lontrel 600 zum Einsatz.
11. Pyridat: Der von der Firma Belchim Crop Protection unter dem Namen Lentagran vertriebene Wirkstoff ist in vielen Kulturen zugelassen, unter anderem auch in Baldrian. Pyridat ist der HRAC Gruppe 6 zugeordnet und wirkt ausschließlich über das Blatt (BCP, 2021).
12. Phenmedipham: Die Schering AG brachte im Jahr 1970 den Wirkstoff aus der HRAC Gruppe 5 auf den Markt. Phenmedipham wird neben der Verwendung in Zuckerrüben auch beim Anbau von Erdbeeren und einer Vielzahl an Sonderkulturen zur blattaktiven Bekämpfung eines breiten Spektrums an Unkräutern verwendet (UPL, 2021). Zur Anwendung kam Betasana SC des Herstellers UPL.
13. Fluoroxypyr: Dieser Wirkstoff aus der HRAC- Gruppe 4 wird im Getreide vor allem gegen Klettenlabkraut eingesetzt und hat wie Clopyralid ein eher eingeschränktes

Wirkspektrum. Der Wuchsstoff wird unter anderem unter dem Namen Tomigan 200 vertrieben.

14. Mesotrione: Dieser zur HRAC Gruppe 27 gehörende Wirkstoff wird von der Firma Syngenta unter dem Namen Callisto vertrieben. Neben dem Maisanbau als Haupteinsatzgebiet, wird Mesotrione auch in Mohn und Lein zur Unkrautbekämpfung eingesetzt (SYNGENTA, 2021-c).
15. Metribuzin: 1971 brachte die Bayer AG den Wirkstoff aus der Gruppe der Triazinone auf den Markt (PLUMPE et al., 1988). Er wird vor allem beim Anbau von Kartoffeln genutzt und kann dort flexibel vom Voraufbau bis zu einer Wuchshöhe von 5 cm der Kartoffel eingesetzt werden. Metribuzin ist der HRAC Gruppe 5 zugeordnet und entfaltet seine Wirkung vor allem über den Boden. In dieser Arbeit wurde das Produkt Mistral der Firma Adama verwendet.
16. S-Metolachlor: Dieser vor allem zur Bekämpfung von Hirsearten in Mais eingesetzte Wirkstoff wird über die Keimscheide der auflaufenden Hirsen aufgenommen und hemmt die Zellteilung (SYNGENTA, 2020-a). S-Metolachlor wird von der Firma Syngenta im Mittel DualGold vertrieben und ist der HRAC-Gruppe 15 zugeordnet.
17. Metazachlor: Dieser Wirkstoff trägt beim Anbau von Raps die Hauptlast in der Unkrautbekämpfung, wird aber auch in anderen kruziferen Kulturen eingesetzt. Er ist der HRAC Gruppe 15 zugeordnet (BASF, 2021-b) und wurde 1976 von der BASF auf den Markt gebracht. Es wurde das Produkt Butisan verwendet.
18. Dimethenamid-P: Dieser Wirkstoff ist in einer Vielzahl von Kulturen zugelassen und ist der HRAC Gruppe 15 zugeordnet. Der Wirkstoff erfasst auch das Problemunkraut schwarzer Nachtschatten und viele Hirsearten (BASF, 2021-c). In dieser Arbeit wurde das Produkt Spectrum verwendet.

Lange Zeit war der Wirkstoff Metobromuron eine gut funktionierende Lösung zur Bekämpfung eines breiten Spektrums an Unkräutern, bei gleichzeitig hoher Kulturverträglichkeit (BRAND, 2010). Im Zuge dessen, dass Metobromuron ab 2004 nicht mehr am Markt verfügbar war, wick die Praxis auf den sehr ähnlichen Wirkstoff Linuron aus, welcher am 11. April 2003 von der EU erneut zugelassen wurde. Beide Stoffe gehören zur Gruppe der Phenylharnstoffe, welche das Photosystem II hemmen. Im Laufe der Zeit wurde festgestellt, dass Linuron reproduktionstoxisch und karzinogen ist, sowie zusätzlich das Hormonsystem des Menschen schädigt. Aufgrund dessen wurde die EU-Zulassung des Wirkstoffs Linuron zum 3. Juni 2017 widerrufen (DVO (EU) 2017/244). Nach einer Neubewertung wurde der Wirkstoff Metobromuron am 14. August 2014 erneut zugelassen (DVO (EU) 890/2014). Der neue Zulassungsinhaber Belchim beantragte aber für sein Mittel Proman keine Zulassung in Feldsalat (BVL, 2016). Durch den Wegfall von Linuron und dem Fehlen einer regulären Zulassung von Metobromuron klaffte eine Lücke, die das Unkraut voll ausnutzte. Eine Zulassung des Wirkstoffs Napropamid nach §18 PflSchG (bis 2012, danach Art. 51 VO (EG) Nr. 1107/2009) mit geringer Aufwandmenge (AWM) brachte nur eine kleine Linderung. Um weiterhin Metobromuron im Feldsalat einsetzen zu können, wird jedes Jahr vom BVL eine Notfallzulassung für 120 Tage ermöglicht (BVL, 2017). Die Aussaat des Feldsalates erfolgt von Mitte Februar bis Mitte Oktober, also rund 240 Tage im Jahr. Da nur die Hälfte der Anbauzeit Metobromuron eingesetzt werden darf, muss in der anderen Hälfte der Anbauzeit mit deutlich erhöhtem Handarbeitsaufwand gerechnet werden, um saubere Bestände zu erzielen. Die Notfallzulassung gilt nur für die Bundesrepublik Deutschland, ebenso der damit deutlich höhere Rückstandshöchstgehalt für Metobromuron. Dies führt zu Schwierigkeiten bei der Vermarktung ins Ausland (DLR, 2021). Bereits im zurückliegenden Jahrzehnt wurden in Baden-Württemberg am LTZ Augustenberg und in Sachsen-Anhalt bei der LLG Alternativen zu Metobromuron in Feldsalat gesucht, aber keine zufriedenstellende Lösung gefunden (BRAND, 2008 und BRAND, 2010). Auch andere Versuchsansteller widmeten sich bereits vor über zehn Jahren dem Problem, konnten aber auch mit Tankmischungen und Spritzfolgen das Problem nicht lösen (MERZ und LUEDTKE, 2010). Verschärft wird das Problem durch den Wegfall des Herbizids Devrinol FL (Napropamid) ab 30.06.2022, da zu diesem Datum die Aufbrauchfrist endet (BVL, 2021). Das Herbizid KerbFLO besitzt eine Zulassung (BVL, 2014), wird aber von der amtlichen Beratung nicht empfohlen (LTZ, 2021). Alle Varianten bekämpfen das giftige Kreuzkraut nur unzureichend, es muss von Hand aus den Beständen entfernt werden.

4 Material und Methoden

Da Freilandversuche sehr arbeits- und kostenintensiv sind, gliedert sich diese Arbeit in zwei Abschnitte. Im ersten Abschnitt wurden alle Herbizide in Topfversuchen getestet. Diese ermöglichten einen ersten Überblick über eine große Anzahl an Varianten (V), bei vertretbarem Aufwand. Im zweiten Abschnitt wurden die aussichtsreichsten Varianten aus Abschnitt eins im Freiland weiter geprüft.

4.1 Topfversuche

4.1.1 Versuchsaufbau

Die Pflanzenschutzmittel wurden in drei Konzentrationen getestet:

100 %: Diese Menge entspricht der maximal zugelassenen Aufwandmenge des Herbizids in einer beliebigen Kultur.

50 %: Da sehr hohe Aufwandmengen meist auf eine Kultur zugeschnitten sind, wurde mit dieser Variante getestet, ob eine Verringerung der Aufwandmenge eine bessere Verträglichkeit bieten würde. Viele Herbizide besitzen auch bei der Hälfte der Aufwandmenge noch eine ausreichende Wirkung, wenn das Unkraut optimal getroffen wird.

25 %: Diese stark verringerte Aufwandmenge diente der Bestätigung der 50% Varianten. Stirbt bei 25 % der Salat zuverlässig ab, ist bei 50 % kein Fehler unterlaufen. Jede Abstufung wurde einmal wiederholt.

Um eine möglichst praxisnahe Applikation der Pflanzenschutzmittel zu ermöglichen, wurde ein Spritzapparat gebaut. Der Apparat zog das Töpfchen auf einem Schlitten unter einer eingehausten, handelsüblichen Düse einer Feldspritze durch. Durch vier Lichtschranken und ein Mikroprozessor gesteuert, drückte eine Pumpe in dem Moment, in dem das Töpfchen unter der Düse durchfuhr, Spritzbrühe mit einem voreingestellten Druck durch die Düse. Am Ende des Zyklus lief der Schlitten automatisch in die Ausgangsposition zurück. Da sich ein Teil des Spritznebels an der Wandung niederschlug und abließ, war die Wassermenge nicht wie üblich über den Druck, Düsenkaliber und Fahrtgeschwindigkeit zu bestimmen. Stattdessen wurde die ausgebrachte Menge Spritzbrühe vor jedem Durchlauf wie folgt ermittelt:

Vier Quadrate mit acht Zentimeter Kantenlänge aus stark saugfähigem Papier wurden gewogen und dann nacheinander auf einem leeren Topf durch die Anlage gefahren. Durch erneutes Wiegen wurde festgestellt, wie viel Gramm Wasser die Papiere aufgesaugt haben. Mit nachstehender Formel lässt sich die Wassermenge, die tatsächlich auf dem Topf landete, berechnen:

$$\frac{l}{ha} = \left(\frac{M_{nass} - M_{trocken}}{256} \right) * 100.000$$

M_{nass} = Masse der vier feuchten Papiere in Gramm

$M_{trocken}$ = Masse der vier trockenen Papiere in Gramm

Die Apparatur benötigte zum ordnungsgemäßen Betrieb 500 ml Spritzbrühe. Die benötigte Menge Pflanzenschutzmittel, welche in 500 ml Wasser eingerührt werden musste, lässt sich wie folgt bestimmen:

$$PSM(ml) = \frac{V_{PSM}}{\left(\frac{V_{Wasser}}{0,5} \right)} * 1000$$

V_{PSM} = Pflanzenschutzmittel in Liter pro Hektar

V_{Wasser} = Wassermenge in Liter pro Hektar



Abbildung 1: Spritzapparat Draufsicht

Nach dem Anrühren saugte der Apparat die Spritzbrühe an und entlüftete sich. Luftblasen zwischen Pumpe und Düse hätten den raschen Druckanstieg beim Einschalten der Pumpe gedämpft und damit die Brühemenge auf dem Topf stark verringert. War die Anlage entlüftet, wurde der Topf in den Schlitten gesetzt und per Tastendruck der Spritzvorgang gestartet. Nachdem beide Töpfe einer Variante gespritzt waren, wurde alle Brühe aus den Leitungen gepumpt. Zur Schonung der Umwelt wurde möglichst wenig Pflanzenschutzmittel eingesetzt. Hierzu wurden 500 ml der 100 % Variante angerührt. Nach dem Spritzen waren davon noch 250 ml übrig. Diese wurden mit weiterem Wasser wieder auf 500 ml aufgefüllt, wodurch die Brühe mit 50 % Konzentration hergestellt wurde. Auf gleiche Art und Weise erfolgte das Anmischen der Brühe für die 25 % Variante. Nachdem ein Pflanzenschutzmittel abgeschlossen war, musste die Anlage gründlich gereinigt werden, um Rückstände zu vermeiden. Hierzu wurde ein Liter klares Wasser durch die Anlage gepumpt.



Abbildung 2: Spritzapparat im Abzug

Zum Schutz der Gesundheit des Anwenders sind die Hinweise des Herstellers zu beachten. Damit der trotz Einhausung austretende Spritznebel nicht in die Atemluft gelangt, war der Apparat so bemessen, dass er in einen Abzug passte und von außerhalb des Abzuges bedient werden konnte. Neben den Herbiziden wurden mit der Anlage auch alle anderen

Pflanzenschutzbehandlungen durchgeführt. Die entstandenen Reste wurden über den Chemikalienabfall der Hochschule entsorgt.

4.1.2 Kulturführung Topfversuche

Als Pflanzgefäße dienten 7 cm Terrakotta-Töpfe, welche mit gesiebttem Ackerboden vom Strenzfelder Versuchsfeld gefüllt wurden. Der Boden wurde aus den langjährigen Öko-Versuchen der Hochschule entnommen, um eventuelle Herbizidrückstände im Boden zu vermeiden.

Das Kultursubstrat wies folgende Nährstoffgehalte auf:

Tabelle 2: Nährstoffgehalte des Bodens (CAL-Methode):

pH-Wert	mg K/100g Boden	mg P/100g Boden	C in %	N in %	mg Mg/100g Boden	mg Na/100g Boden
7,05	16,48	11,14	1,6	0,15	8,85	1,84

Die Aussaat erfolgte am 6. April 2021 8 mm tief. Um Trichtereffekte zu vermeiden, wurden die Töpfe bis zum Rand mit Erde gefüllt. Nach der Aussaat wurden die Töpfe täglich mit einem Pumpsprüher bewässert. Um ein Befall mit Rhizoctonia vorzubeugen, wurde drei Tage nach der Aussaat auf alle Töpfe ein Liter pro Hektar des Mittels RhizoVital42 der Firma Belchim gespritzt. Die Dosierung erfolgte analog zu der 100 % Variante der Herbizide.

Ebenso drei Tage nach der Saat erfolgte die Applikation der Bodenherbizide.

Folgende Herbizide wurden eingesetzt:

Tabelle 3: Bodenherbizide für Topfversuche

Wirkstoff	Produkt	AWM 100 %	Nummer
Pendimethalin	StompAqua	4,40 l/ha	1
Chlortoluron	CTU700	3,00 l/ha	2
Ethofumesat	Oblix500	1,25 l/ha	3
Posulfocarb	Boxer	5,00 l/ha	4
Propyzamid	KerbFLO	3,75 l/ha	5
Metamitron	Goltix Gold	4,00 l/ha	6
Nullvariante	-	-	7
Flufenacet	Cadou	0,48 l/ha	8
Aclonifen	Bandur	4,00 l/ha	9
Clomazone	Centium	0,25 l/ha	10
S-Metolachlor	DualGold	1,25 l/ha	16
Metribuzin	Mistral	0,75 kg/ha	17
Metazachlor	Butisan	1,50 l/ha	18
Dimethenamid-P	Spectrum	1,40 l/ha	19

Die Bodenherbizide wurden ebenso wie das RhizoVital42 mit einer Wassermenge von 500 l/ha gespritzt. Am Tag des Spritzens wurde vor dem Spritzen bewässert, um ein zu starkes Einwaschen der Wirkstoffe in den Keimhorizont zu vermeiden.

Um ein Absterben durch den Schadpilz Rhizoctonia, statt durch das Herbizid, auszuschließen, wurde 8 Tage nach der Aussaat im BBCH 10 ein Liter pro Hektar des Fungizids ZoxisSuper gespritzt.

Die blattaktiven Herbizide wurden 10 Tage nach der Aussaat im BBCH Stadium 10 auf die Töpfe ausgebracht. Folgende Herbizide kamen zum Einsatz:

Tabelle 4: Blattherbizide für Topfversuche

Wirkstoff	Produkt	AWM 100 %	Nummer
Clopyralid	Lontrell600	0,20 l/ha	11
Pyridat	Lentagran	2,00 l/ha	12
Phenmedipham	BetasanaSC	4,00 l/ha	13
Fluoroxypyr	Tomigan200	1,00 l/ha	14
Mesotrione	Callisto	1,50 l/ha	15

Die Varianten wurden einheitlich nach folgendem System benannt:

Tabelle 5: Bezeichnung der Varianten

	Herbizid	Konzentration	Wiederholung
Beispiel	1	A	1
Erläuterung	Nummer nach Spalte 4 der Tabellen 3 und 4	A = 100% B = 50 % C = 25 %	Wiederholung durchnummeriert mit den Zahlen eins bis vier

Das in der Tabelle 5 gezeigte Beispiel codierte für 4,4 l/ha StompAqua in der ersten Wiederholung

Um eine praxisnahe Ausbringung zu realisieren, wurde für die Herbizide und das Fungizid eine Düse IDK 120-03 der Firma Lechler mit 1,5 bar Druck betrieben. Die Wasseraufwandmenge betrug 300 Liter Wasser pro Hektar.



Abbildung 3: Pflanzenkulturschrank

Feldsalat keimt optimal bei 13 °C. Schnelles Wachstum hingegen erfordert Temperaturen um 22 °C. Um diesen Parameter gut einhalten zu können wurde ein Pflanzenkulturschrank der Firma Binder verwendet. Er regelte automatisch die Temperatur und lies über eine Zeitschaltuhr eine automatische Beleuchtung zu. Sobald der Feldsalat am Auflaufen war, wurde die Temperatur schrittweise innerhalb von 3 Tagen hochgefahren. Die Beleuchtung wurde mit 33 % Leistung gefahren und leuchtete immer von 6 Uhr bis 20 Uhr. 29 Tage nach der Saat, am 5. Mai 2021, wurde bewertet, ob die Pflanzen trotz der Herbizide in einem zufriedenstellenden Maße gewachsen waren.

4.2 Freilandversuche

In den Topfversuchen wurde ermittelt, welche Herbizide in welcher Aufwandmenge den Feldsalat im Keimblattstadium überleben ließen. Da nahezu aller Feldsalat im Freiland angebaut wird, mussten sich die Herbizide auch im Freiland bewähren. Für den Freilandtest wurde die Frühljahrsausaat gewählt, da sie eine zügige Ernte und einen geringeren Bewässerungsbedarf hat als die Sommer- oder Herbstausaat.

4.2.1 Versuchsaufbau

4.2.1.1 Boden

Die Versuchsfläche lag in Bernburg-Strenzfeld auf den Ländereien der LLG. Es handelte sich um eine Löß-Schwarzerde auf Kalkstein. Die Bodenbedingungen sind in Tabelle 6 dargestellt:

Tabelle 6: Bodeneigenschaften im Freiland (LLG, 2021)

Bodenzahl	93
Bodenart	schluffiger Lehm
Humusgehalt	2,7%
Gesamtstickstoff	0,16%
nFK	220 mm
pH- Wert	> 7
Nährstoffgehalte	
Kalium	Klasse D
Phosphor	Klasse D
Magnesium	Klasse C

Die Fläche wurde im Oktober 2020 auf 27 cm Tiefe von der LLG gepflügt und fortan mittels Kreiselegge in regelmäßigen Abständen von ca. 2 bis 3 Wochen bearbeitet, um jeglichen Aufwuchs von Unkraut zu verhindern. Am 15. Mai 2021, zwei Tage vor der Aussaat, wurde mit Hilfe der Winkelmesserfräse auf 10 cm Tiefe gefräst. Am Tag der Aussaat wurde der Boden auf einer Tiefe von 5 cm mit einer Winkelmesserfräse diagonal zur Fahrtrichtung vom 15. Mai 2021 möglichst fein gemacht. Diese Bearbeitung sicherte, dass alle, trotz der Bearbeitung mit der Kreiselegge, gewachsene Altverunkrautung sicher abgetötet wurde und es zur Aussaat des Feldsalates genügend Feinerde gab. Vor der Aussaat wurden mittels Beetwalze die Parzellen vorgewalzt, um eine möglichst ebene Oberfläche und einen gut rückverfestigten Saathorizont zu erzielen.

4.2.2.2 Klima

Bernburg liegt im mitteldeutschen Trockengebiet, im Regenschatten des Harzes. Im Anbauzeitraum des Versuches, die Monate Mai und Juni, regnete es im Schnitt der Jahre 108 Liter pro Quadratmeter. Feldsalat hat den Anspruch über die gesamte Wachstumszeit gleichmäßig feucht gehalten zu werden. Daraus ergibt sich ein Zusatzwasserbedarf von rund 150 Liter pro Quadratmeter. Wie in Abbildung 4 zu sehen, beträgt die Tagesmitteltemperatur in den Monaten Mai und Juni 14 °C bis 17 °C.

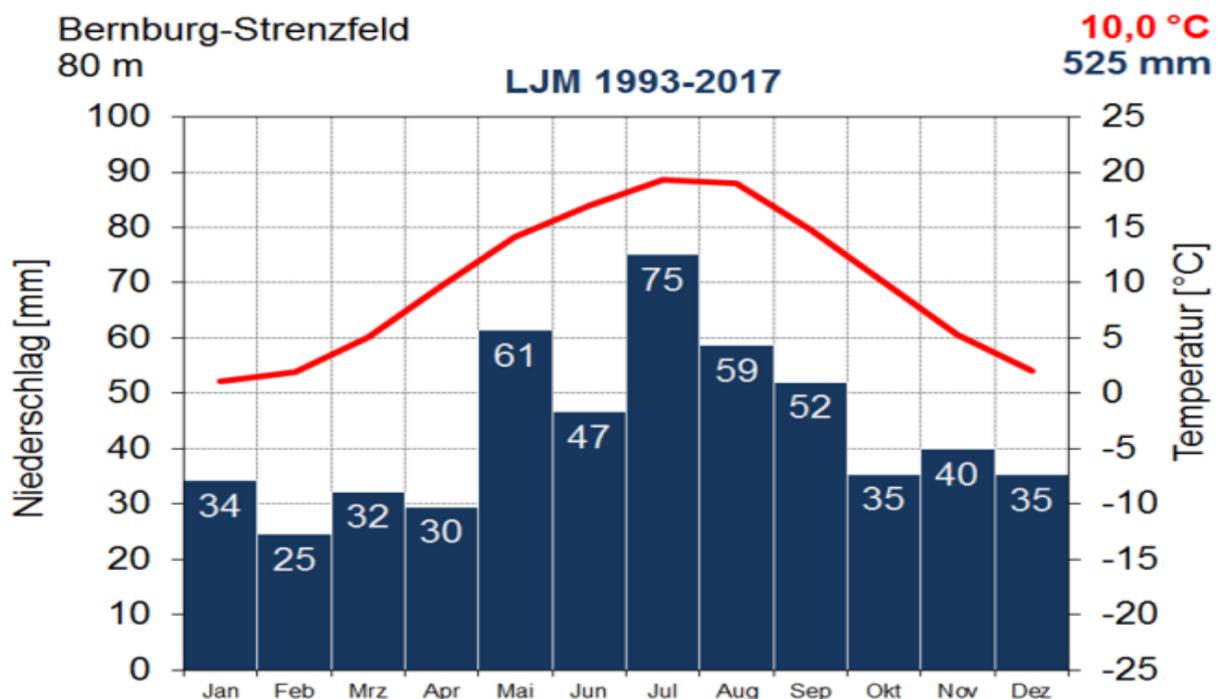


Abbildung 4: Klimadiagramm Bernburg (LLG, 2021)

4.2.2.3 Anordnung der Parzellen

Der Freilandversuch wurde als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen konstruiert. Aus den Versuchen unter 4.1 gingen folgende Herbizid-Aufwandmengen Kombinationen als möglicherweise tauglich hervor:

Tabelle 7: Im Freiland getestete Herbizide

Typ	Wirkstoff	Name	Stufe	Aufwandmenge	Bezeichnung
Bodenherbizid	Pendimethalin	StompAqua	100 %	4,4 l/ha	1AX
Bodenherbizid			50 %	2,2 l/ha	1BX
Bodenherbizid	Ethofumesat	Oblix500	50 %	0,625 l/ha	3BX
Bodenherbizid	Propyzamid	KerbFLO	50 %	1,875 l/ha	5BX
Bodenherbizid	Metamitron	Goltix Gold	50 %	2,0 l/ha	6BX
			25 %	1,0 l/ha	6CX
Bodenherbizid	Aclonifen	Bandur	100 %	4,0 l/ha	9AX
			50 %	2,0 l/ha	9BX
Blattherbizid	Clopyralid	Lontrel600	100 %	0,2 l/ha	11AX
			50 %	0,1 l/ha	11BX
Blattherbizid	Mesotrione	Callisto	100 %	1,5 l/ha	15AX
			50 %	0,75 l/ha	15BX
	Nullvariante	-	-	-	7AX

Das „X“ in Spalte 6 der Tabelle 7 dient als Platzhalter für die Nummerierung der Wiederholungen mit den Zahlen eins bis vier.

Im Laufe der Zeit zeigte sich im Freiland, dass die Variante 6C den Feldsalat weder im Wuchs ausbremste noch anderweitig störte. Gleichzeitig konnte beobachtet werden, dass Ackersenf, der trotz dem Fräsen des Saatbettes als Altverunkrautung wuchs, von den 700 g/ha stark heruntergebrannt wurde. Diese Beobachtungen führten kurzfristig zu einer weiteren Variante, in der zusätzlich zu dem einen Liter pro Hektar Goltix Gold im Voraufbau der Variante 6C im Nachaufbau ein weiterer Liter Goltix Gold gespritzt wurde. Dazu wurden die Parzellen 6C2 und 6C3 geteilt. Die neuen Varianten erhielten die Bezeichnungen „6C2.1 6C2.2“ sowie „6C3.1 6C3.2“. Mit einer Breite von 1,5 m und 8 m Länge verfügte eine Parzelle über eine Fläche von 12 m². Aus der Anzahl der Varianten aus Tabelle 7 mit vier Wiederholungen ergab sich eine Menge von 52 Parzellen. Zwischen den Wiederholungen wurden Wege von 2 m Breite angelegt. Zusammen mit diesen Wegen ergab sich eine

Versuchsfläche mit 19,5 m Breite und 38 m Länge. Durch die Blockrandomisierung ergab sich folgende Anordnung der Parzellen im Freiland:

Gebüsch												
1A4	11B4	5B4	9B4	6B4	15A4	1B4	6C4	15B4	11A4	3B4	9A4	7A4
								6C3				
3B3	9A3	11A3	1B3	15A3	6B3	1A3	11B3	6C3.1 6C3.2	15B3	9B3	5B3	7A3
			6C2									
11B2	3B2	1B2	6C2.1 6C2.2	11A2	7A2	1A2	5B2	9A2	15B2	6B2	9B2	15A2
3B1	9A1	7A1	6B1	1B1	15B1	11A1	9B1	1A1	11B1	5B1	15A1	6C1
Kräuter												

Abbildung 5: Parzellenplan Freiland

4.2.3 Kulturführung

4.2.3.1 Aussaat

Eine präzise Aussaat legt den Grundstein für eine ertragreiche Ernte. Vom Züchter Hazera wird für die Sorte Gala eine Aussaattiefe von 8 mm empfohlen (HAZERA, 2021-b). Bei einem Reihenabstand von 10 cm bis 12,5 cm beträgt die Aussaatstärke 640 keimfähige Körner pro Quadratmeter (HAZERA, 2021-a). Die Aussaat erfolgte am 17. Mai 2021 mit einer Parzellendrillmaschine der Firma Hege, welche von einem Parzellenschlepper Hege 76 getragen wurde. Die Doppelscheibenschare der Maschine waren mit Druckrollen zur Tiefenführung ausgerüstet. Auf der Parzellenbreite von 150 cm waren fünf Reihen angeordnet, was zu einem Reihenabstand von 30 cm führte. Wäre die empfohlene Saatstärke auf eine deutlich verringerte Anzahl an Reihen gesät worden, wäre der Standraum für die Einzelpflanze zu gering geworden, was zum Aufstängeln und deformierten Pflanzen, sowie einem höheren Krankheitsdruck durch schlechteres Abtrocknen geführt hätte. Deshalb musste die Saatstärke angepasst werden:

$$\frac{1}{\left(\frac{\text{Reihenabstand in Meter}}{\text{Körner pro Quadratmeter}}\right)} * 100 = \text{Kornabstand in der Reihe in cm}$$

Bei der normalen Aussaat betrug der Kornabstand 1,25 cm.

Aus dem Kornabstand in der Reihe ließ sich die benötigte Saatstärke bei einem beliebigen Reihenabstand ausrechnen, um denselben Kornabstand zu erhalten:

$$\frac{1}{\left(\frac{\text{Reihenabstand in Meter}}{\text{Kornabstand in cm}}\right)} * 100 = \text{Saatstärke in Körner/m}^2$$

Bei dem vergrößerten Reihenabstand betrug die Saatstärke 266,67 Körner/m².

Für jede Parzelle musste die Saatgutmenge vor der Aussaat exakt abgewogen werden, da die Dosiereinrichtung der Hege-Parzellendrillmaschine so aufgebaut war, dass diese eine beliebige Menge Saatgut auf einer festen Länge gleichmäßig verteilte. Ein Abdrehen wie bei den praxisüblichen Maschinen war hingegen nicht notwendig. Die Saatgutmenge wurde mit folgender Rechnung bestimmt:

$$\left(\frac{\text{Keimfähige Körner pro Quadratmeter} * \text{Tausendkornmasse der keimfähigen Körner}}{1000}\right) * (\text{Parzellenbreite} * \text{Säelänge}) = \text{Einwaage in Gramm}$$

Die Sälänge ist die Länge, auf der die Sämaschine das Saatgut verteilte. Da das Saatgut eine gewisse Zeit brauchte, um durch die Maschine zu rieseln und das Auslösen des Mechanismus per Hand nie exakt gleich war, war die Sälänge 1,5 Meter größer als die Parzellenlänge. Dieses Maß hat sich in der jahrelangen Praxis des Versuchsbetriebes als praktikabel erwiesen. Das Saatgut hatte eine Tausendkornmasse von 2,23 g damit ergab sich eine Einwaage von 8,49 g je Parzelle.

4.2.3.2 Düngung

Aus Tabelle 6 geht hervor, dass der Boden sehr gut mit den Grundnährstoffen versorgt war, eine Düngung also nicht durchgeführt werden musste. Eine am 17. Mai 2021 gezogene Nmin-Probe ergab 25 kg/ha Nmin in einer Tiefe von 0 bis 15 cm. Der sich daraus ergebende Düngebedarf von 60 kg/ha Stickstoff wurde in zwei Gaben aufgeteilt. Die erste Gabe in Höhe von 30 kg/ha wurde am 22. Mai 2021 mit einem Parzellendüngerstreuer der Firma Hege gestreut. Die zweite Düngergabe erfolgte am 21. Juni 2021 in gleicher Weise. Zur Düngung

wurde praxisüblich Kalkammonsalpeter mit 27 % Stickstoff verwendet. Die Berechnung der Düngermenge erfolgte über folgende Formel:

$$\text{Düngermenge in g} = \frac{\text{Stickstoffmenge in kg/ha}}{27} * \text{Parzellenbreite} * \text{Säelänge} * 10$$

Pro Gabe wurde für jede Parzelle rund 158 g Kalkammonsalpeter eingewogen.

4.2.3.3 Pflanzenschutz

Für den chemischen Pflanzenschutz kam eine Schubkarren-Parzellenspritze der Firma Schachtner zum Einsatz. Gespritzt wurde mit der Standardeinstellung der LLG:

Tabelle 8: Daten Parzellenspritze

Geschwindigkeit	3,1 km/h
Druck	1,8 bar
Wassermenge für 4 Parzellen	3,2 Liter
Düsentyp	Teejet AIXR11003
Wassermenge pro Hektar	516 Liter

Analog zur Aussaat und der Düngung wurde auch beim Spritzen die Wassermenge und die Pflanzenschutzmittelmenge mit einem Überhang von 0,5 m über den Parzellenrand hinweg kalkuliert. Zur Beschleunigung der Arbeit und um Fehler zu verringern, wurde immer die Brühemenge für eine Variante für alle vier Parzellen angemischt:

$$\text{PSM Menge in ml pro Füllung} = \frac{\text{AWM in l/ha}}{10} * 57$$

Für das Anmischen waren die Hinweise der Hersteller zu beachten und die nötige PSA zu tragen. Beim Spritzen war besonders darauf zu achten, dass die Geschwindigkeit von 3,1 km/h genau eingehalten wurde und nach dem Befüllen die Leitungen vollständig entlüftet waren, um ein gleichmäßiges Spritzbild zu erzielen. Nach jeder Variante wurde die Spritze gemäß den Empfehlungen der LLG mit 0,5 Liter Wasser gespült. Gespritzt wurde zu folgenden Terminen:

Tabelle 9: Pflanzenschutzmaßnahmen

Pflanzenschutzmittel	AWM	Datum	BBCH
RhizoVital	1 l/ha	20. Mai 2021	03
Bodenherbizide	siehe Tabelle 7	20. Mai 2021	03
Zoxis Super	1 l/ha	24. Mai 2021	10
Blattherbizide	siehe Tabelle 7	7. Juni 2021	12
Karate Zeon	0,075 l/ha	10. Juni 2021	13
Signum	1,5 kg/ha	17. Juni 2021	17

Die Varianten mit 1,0 l/ha Goltix Gold im Nachauflauf wurden am 10. Juni 2021 gespritzt. Die benötigte Menge an Wasser und Pflanzenschutzmittel wurde entsprechend der kleineren zu behandelnden Fläche heruntergerechnet. Als Schutz gegen Hasenfraß wurde die gesamte Fläche mit einem Steckzaun eingezäunt. Da im Rahmen dieser Arbeit die Wirkung der Herbizide auf den Salat untersucht werden sollte, durfte dieser nicht durch andere Faktoren im Wuchs gehemmt werden. Deshalb wurde alles Unkraut, das trotz der Herbizide aufblühte, per Hand gejätet.

4.2.3.4 Bewässerung

Für ein gleichmäßiges und zügiges Wachstum des Feldsalates ist eine kontinuierliche Wasserversorgung unabdingbar. Da auch in Bernburg der natürliche Niederschlag nicht ausreichte, wurde künstlich bewässert. Zur Bewässerung wurde der Trommeleinzugsregner „Leader 32“ der Firma Ebinger GmbH mit einem Impulsregner verwendet. Da der Regner eine maximale Wurfweite von 16 Meter besaß, wurden immer die Wiederholungen eins und zwei, so wie drei und vier zusammen bewässert. Die benötigte Wurfweite sank damit auf neun Meter. Die Verringerung der Wurfweite wurde durch eine feinere Zerstäubung des Wassers erreicht, was gleichzeitig für eine schonendere Bewässerung der kleinen Salatpflänzchen und später für weniger Schmutz am Salat sorgte. Ab der Saat wurde die oberste Bodenschicht permanent feuchtgehalten. Dazu wurden jeden Tag rund vier Liter Wasser pro Quadratmeter berechnet. Da der Regner stark windanfällig war, konnte nur früh morgens und spät am Abend beregnet werden, da hier die Windgeschwindigkeit am niedrigsten war. Die Versuchsflächen der LLG besitzen kein Wasseranschluss, weshalb das Bewässerungswasser vom Betriebshof der LLG per Fasswagen mit zwei Kubikmeter Fassungsvermögen zur Fläche transportiert wurde. Auf demselben Anhänger war eine benzinbetriebene Motorpumpe und die Regnertrommel befestigt (siehe Abbildung 6). Das

Zugfahrzeug stellte die Hochschule Anhalt zur Verfügung. Regnete es, wie z. B. am 5./6. Juni 2021 von Natur aus genug, so wurde nicht bewässert, bis der Boden wieder oberflächlich abgetrocknet war.



Abbildung 6: Bewässerungstechnik

4.2.4 Ernte

Feldsalat ist erntereif, wenn die Blattrosetten eine sortentypische Größe erreicht haben. Im Versuch war dies bei der Mehrzahl der Parzellen durch die anhaltend warme Witterung schon am 30. Juni, 51 Tage nach der Saat, der Fall. Durch die Behandlung mit dem Fungizid Signum musste eine Wartezeit von 14 Tagen eingehalten werden, wodurch die Ernte erst am 2. Juli 2021 stattfinden konnte. Zur Ertragsmessung wurde in jeder Parzelle ein Meter Reihe bestimmt, welcher die Parzelle hinsichtlich Bestandsdichte, Qualität und Wuchs am besten repräsentierte. Der Salat auf diesem Meter Reihe wurde per Hand geschnitten und zweimal intensiv mit klarem Wasser gewaschen, um anhaftende Erde zu entfernen. Nach dem Waschen wurde der Salat in einer Salatschleuder vom Waschwasser befreit und gewogen. Im Anschluss wurde der Salat sortiert: alle Pflanzen, die nicht den üblichen Qualitätsanforderungen entsprachen, also verformt, verfärbt oder anderweitig unschön waren, wurden aussortiert. Das Gewicht der sortierten Probe wurde ein weiteres Mal erfasst.

5 Ergebnisse

Für eine bessere Übersichtlichkeit werden die Ergebnisse, getrennt nach Topf- und Freilandversuch, als Tabelle dargestellt.

5.1 Ergebnisse Topfversuche

Die Topfversuche wurden jeden Werktag bewertet, die schlussendliche Auswertung fand am 5. Mai 2021, 22 Tage nach der Aussaat, statt.

Tabelle 10: Ergebnisse Topfversuche

Wirkstoff	Aufwandmenge in g/ha Wirkstoff	Variante	Beschreibung	Qualifiziert für das Freiland
Pendimethalin	2002	1A	Ein einzelnes verkrümmtes Pflänzchen	Nein
	1001	1B	zahlreiche Pflanzen, sukkulentenartiges Aussehen, zügiger Wuchs	Ja
	500,5	1C	zahlreiche Pflanzen, sukkulentenartiges Aussehen, zügiger Wuchs	Ja
Chlortoluron	2100	2A	Aufgegeilter Wuchs, starke Ausdünnungen, Verbräunungen an den Rändern, starke Wuchshemmung	Nein
	1050	2B	Aufgegeilter Wuchs, Verbräunungen an den Rändern, Wuchshemmung	Nein
	525	2C	Aufgegeilter Wuchs, Verbräunungen an den Rändern, teils im Wuchs gehemmt	Nein

Ethofumesat	625	3A	sukkulentenartiges Aussehen, teils ausgedünnt, verkürztes Hypokotyl	Nein
	312,5	3B	normales Aussehen, zügiger Wuchs	Ja
	156,25	3C	normales Aussehen, zügiger Wuchs	Ja
Prosulfocarb	4000	4A	Stark verzögerter Auflauf, Ausdünnungen	Nein
	2000	4B	Stark verzögerter Auflauf, Ausdünnungen	Nein
	1000	4C	Stark verzögerter Auflauf, Ausdünnungen	Nein
Propyzamid	1500	5A	Teilweise Ausdünnungen, verdicktes Hypokotyl	Nein
	750	5B	normaler Wuchs	Ja
	375	5C	normaler Wuchs	ja
Metamitron	2800	6A	Aufgegeilter Wuchs, verkleinerte Keimblätter	Nein
	1400	6B	normaler Wuchs, leicht verkleinerte Keimblätter	Ja
	700	6C	sehr zügiger Wuchs	Ja
Flufenacet	240	8A	kein Auflaufen	Nein
	120	8B	kein Auflaufen	Nein
	60	8C	kein Auflaufen	Nein
Aclonifen	2400	9A	zügiger Wuchs	ja
	1200	9B	zügiger Wuchs	ja
	600	9C	zügiger Wuchs	ja
Clomazone	90	10A	normaler Wuchs, hell- gelbgrüne Färbung	nein
	45	10B	normaler Wuchs, hell- gelbgrüne Färbung	nein
	22,5	10C	normaler Wuchs, schwache hell-gelbgrüne Färbung	nein

Clopyralid	120	11A	leicht gekrümmter Wuchs, sehr große Keimblätter	Ja
	60	11B	leicht gekrümmter Wuchs, sehr große Keimblätter	Ja
	30	11C	leicht gekrümmter Wuchs	Ja
Pyridat	900	12A	2 Tage nach dem Spritzen abgestorben	Nein
	450	12B	2 Tage nach dem Spritzen abgestorben	Nein
	225	12C	2 Tage nach dem Spritzen abgestorben	Nein
Phenmedipham	640	13A	3 Tage nach dem Spritzen abgestorben	Nein
	320	13B	3 Tage nach dem Spritzen abgestorben	Nein
	160	13C	3 Tage nach dem Spritzen abgestorben	Nein
Fluoroxypyr	180	14A	starke Verkrümmungen, schließlich abgestorben	Nein
	90	14B	starke Verkrümmungen	Nein
	45	14C	starke Verkrümmungen	Nein
Mesotrione	150	15A	normaler Wuchs	Ja
	75	15B	normaler Wuchs	Ja
	37,5	15C	normaler Wuchs	Ja
Metribuzin	525	16A	kein Auflaufen	Nein
	262,5	16B	kein Auflaufen	Nein
	131,5	16C	kein Auflaufen	Nein
S-Metolachlor	1200	17A	kein Auflaufen	Nein
	600	17B	stark verzögerter Auflauf	Nein
	300	17C	verzögerter Auflauf, „klebt am Boden“	Nein
Metazachlor	750	18A	kein Auflaufen	Nein
	375	18B	kein Auflaufen	Nein
	187,5	18C	kein Auflaufen	Nein

Dimethenamid- p	1008	19A	kein Auflaufen	Nein
	504	19B	kein Auflaufen	Nein
	252	19C	kein Auflaufen	Nein

Um die Aussagen in der Spalte 4 der Tabelle 10 zu verdeutlichen, folgen vier Beispielbilder:



Abbildung 7: sukkulentartiger Wuchs (V. 1B)

Abbildung 8: normaler Wuchs (V. 7A)

Der in Abbildung 7 zusehende sukkulentenartige Wuchs kennzeichnete sich durch ein verdicktes Hypokotyl und dickfleischig aussende Keimblätter. Als Vergleichsmaßstab diente der Topf der Nullvariante wie er in Abbildung 8 dargestellt ist: ein etwa 1 cm langes Hypokotyl und typisch ausgeprägte Keimblätter. In Abbildung 9 ist das Ergebnis eines verzögerten und lückenhaften Auflaufens zu sehen: die Pflanzen sind klein, verkümmert oder gar nicht erst aufgelaufen. In Abbildung 10 sind die Aufhellungen durch den Wirkstoff Clomazone zu sehen.



Abbildung 9: verzögerter Auflauf (V. 4C)



Abbildung 10: Aufhellungen (V. 10 A)

Entgegen dem Urteil in Spalte 5 der Tabelle 10 wurden folgende Varianten nicht in das Freiland übernommen:

3C und 5C: Die Wirkstoffe hatten selbst bei 50 % AWM nur noch eine eingeschränkte Wirkung auf das Unkraut erwarten lassen. 25 % AWM erschienen hier nicht sinnvoll.

9C, 11C und 15C: Da neben der 100 % Variante auch die 50 % Variante im Topf funktionierte war davon auszugehen, dass es der 25 % Variante nicht bedarf.

Die Variante 1A wurde trotz des schlechten Abschneidens in der ersten Wiederholung im Freiland ausgesät, da die zweite Wiederholung gleich der Variante 1B abschnitt.

5.2 Ergebnisse Freilandversuche

Im Freiland waren die Ergebnisse eindeutig. Entweder konnte sich der Salat gut entwickeln oder er wurde so stark geschädigt, dass keine Ernte möglich war. Die bei der unter 4.2.4 beschriebenen Ernte erhaltenen Erträge wurden auf ein Hektar mit einer Reihenweite von 12,5 cm hochgerechnet. Die Salaterträge sind in folgendem Diagramm dargestellt:

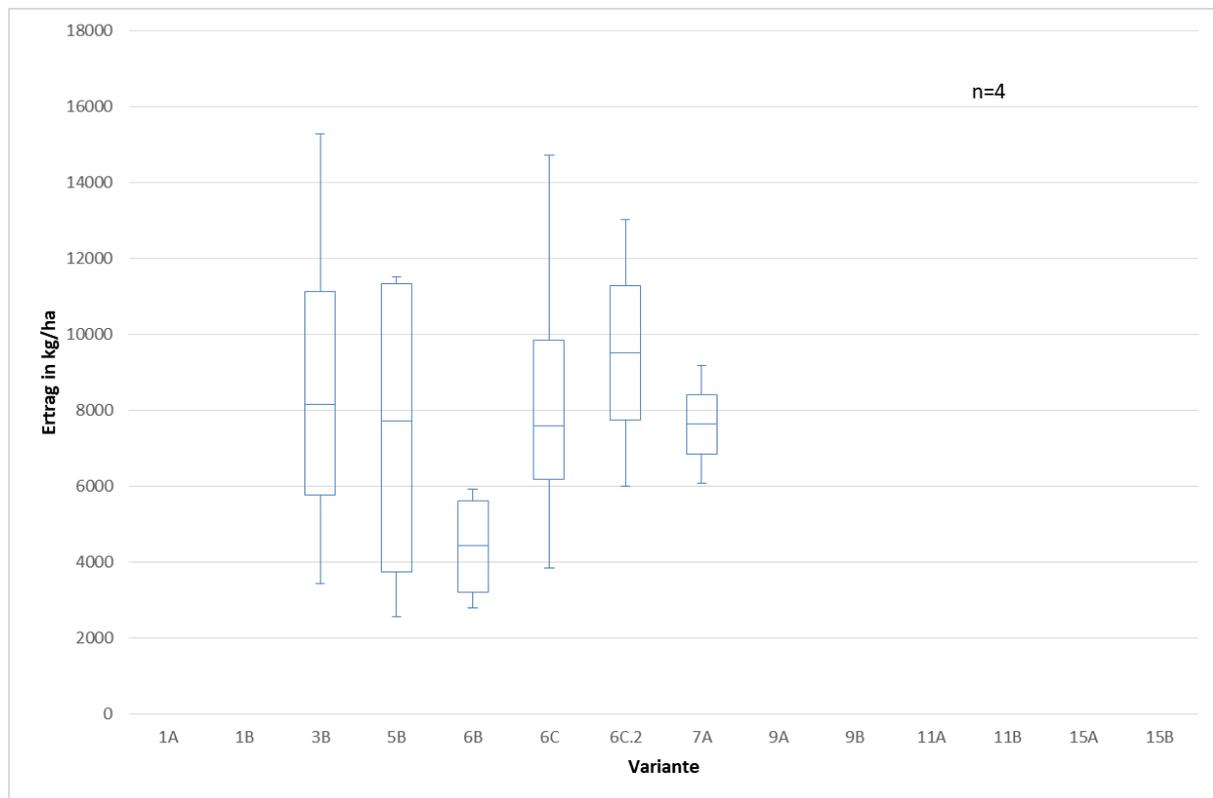


Abbildung 11: Ertrag im Freiland

Variante 1A (2002 g/ha Pendimethalin im VA): Die Pflanzen liefen nur zu etwa 50% auf und starben schon etwa eine Woche nach dem Auflaufen wieder ab. Die Wirkung auf die Unkräuter war gut, lediglich kurz vor Ende des Versuchs liefen wenige Franzosenkrautpflanzen auf.

Variante 1B (1001 g/ha Pendimethalin im VA): Die Pflanzen liefen vollständig auf, stockten aber im Wuchs und starben rund 10 Tage nach dem Auflaufen wieder ab. Neben Hirsen konnten sich auch etliche Storchenschnabelpflanzen etablieren.

Variante 3B (312,5 g/ha Ethofumesat im VA): Der Salat wuchs ungehemmt. Allerdings war die Wirkung auf die vorkommenden Unkräuter nicht ausreichend. Ohne Jäten wäre der Salat rasch von schwarzem Nachtschatten und weißem Gänsefuß überwuchert worden.

Variante 5B (750 g/ha Propyzamid im VA): Der Salat wuchs ungehemmt. Das Herbizid erfasste viele Unkräuter, hatte allerdings in der gewählten Aufwandmenge deutliche Lücken bei Amarant und Löwenzahn, welcher nur durch häufiges Jäten begegnet werden konnte.

Variante 6B (1400 g/ha Metamitron im VA): Die Pflanzen liefen leicht verzettelt auf und waren immer im Wuchs ein wenig gebremst, was sich auch im Ertrag (siehe Abbildung 11) niederschlug. Eine Verminderung des Unkrautdrucks war sichtbar, allerdings mussten trotzdem Löwenzahn, Kamille und schwarzer Nachtschatten gejätet werden.

Variante 6C (700 g/ha Metamitron im VA): Die Pflanzen wuchsen nahezu ungehemmt, allerdings war auch die Wirkung auf die Unkräuter schlecht. So setzen sich vor allem weißer Gänsefuß und Amarant durch.

Variante 6C.2 (2x 700 g/ha Metamitron je einmal im VA und einmal NA): Die Pflanzen wuchsen nahezu ungehemmt. Die zweite Behandlung brannte viele kleine Unkräuter, vor allem weißen Gänsefuß, ab. Sie verursachte aber auch an den größten Salatpflanzen teils leichte braune Ränder, die sich aber wieder zum Großteil verwuchsen

Variante 7A: der Salat entwickelte sich zur vollen Zufriedenheit.

Variante 9A (2400 g/ha Aclonifen im VA): Der Salat lief normal auf. Beim Schieben der Laubblätter geriet das Wachstum ins Stocken. Innerhalb weniger Tage blichen die Laubblätter vollständig aus (siehe Abbildung 12), die Keimblätter blieben noch circa eine Woche grün um dann auch abzusterben.



Abbildung 12: verblichene Laubblätter durch 1200 g/ha Aclonifen

Variante 9B (1200 g/ha Aclonifen im VA): Die Beobachtungen waren analog zur Variante 9A, ebenfalls gleich war die durchschlagende Wirkung gegen die Unkräuter.

Variante 11A (120 g/ha Clopyralid im NA): Nach der Behandlung begann der sonst tadellos gewachsene Salat sich zu verdrehen und stellte das Wachstum ein, starb aber bis zum Ende nicht ab (siehe Abbildung 13). Die Wirkung gegen Kamille und eine vorkommende Diestel war wie erwartet gut, die restlichen Unkräuter mussten gejätet werden.

Variante 11B (60 g/ha Clopyralid im NA): Die Beobachtungen waren analog zu denen der Variante 11A.



Abbildung 13: Schäden durch 60 g/ha Clopyralid

Variante 15A (150 g/ha Mesotrione): Nach der Behandlung hellten die Pflanzen auf (siehe Abbildung 14), schoben noch ein Blattpaar um dann zügig abzusterben. Die Wirkung auf die Unkräuter war gut.



Abbildung 14: Aufhellungen durch 150 g/ha Mesotrione

Variante 15B (75 g/ha Mesotrione): Die Beobachtungen unterschieden sich nicht von denen der Variante 15A.

6 Diskussion

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse aus den Topf- und Freilandversuchen für jedes Herbizid zusammengefasst und bewertet.

Pendimethalin (V. 1): Pendimethalin war im Produkt StompAqua in vielen Kulturen zugelassen. In den Töpfen hat sich gezeigt, dass die im Mais zugelassenen AWM von 4,4 l/ha deutlich zu viel waren. Auch bei 2,2 l/ha zeigte der Salat noch eine Reaktion in Form von verdicktem Wuchs, aber ohne langsamer zu wachsen. Im Freiland zeigte sich, dass der Wirkstoff den Salat zum Absterben brachte. StompAqua ist in den getesteten AWM keine Option. Auch die stärkste Verdünnungsstufe wurde als zu stark schädigend bezeichnet (BRAND, 2010). Der Wirkstoff Pendimethalin hemmt die Zellteilung, in dem er die richtige Anordnung der Mikrotubuli und Mikrofibrillen stört (BASF, 2021-a). Dies könnte zu dem sukkulentenartigen Wuchs (siehe Abbildung 7) im Topf geführt haben.

Chlortoluron (V. 2): Als CTU700 war Chlortoluron in Wintergetreide gegen Schadgräser zugelassen, der Wirkstoff Chlortoluron hemmt als Phenylharnstoff die Photosynthese. Chlortoluron ist strukturell verwandt mit dem gut funktionierenden Metobromuron (NUFARM,2021-b und BVL,2016), die sich daraus ergebenden Hoffnungen wurden schon in den Töpfen zerschlagen.

Ethofumesat (V. 3): Der in Zuckerrüben eingesetzte Wirkstoff Ethofumesat hat die Schwerpunkte Vogelmiere und Klettenlabkraut. Bei voller Aufwandmenge zeigten sich im Topf Schäden, die verminderten AWM zeigten sich im Topf wie im Freiland (hier nur 50 % Variante getestet) als gut verträglich. Allerdings ist selbst von 50% der AWM keine gute Unkrautbekämpfungsleistung außerhalb der Schwerpunkte mehr zu erwarten.

Prosulfocarb (V. 4): Der Fettsäuresynthesehemmer Prosulfocarb aus der HRAC Gruppe 15 zeigte sich selbst bei nur 25% als völlig unverträglich. Das Ergebnis früherer Versuche (BRAND, 2008) konnte bestätigt werden. Boxer wurde beim Anbau von Kartoffeln gegen ein breites Spektrum an Unkräutern angewandt und kommt beim Anbau von Wintergetreide als verstärkende Komponente gegen Ungräser zum Einsatz.

Propyzamid (V. 5): Der Wirkstoff Propyzamid wird vor allem im Winterraps zur Resistenzvorbeugung gegen Ackerfuchsschwanz eingesetzt, aber auch in verschiedenen Kräutern und Obst bestand eine Zulassung (CORTEVA, 2021-a). In Salaten und Endivien waren 3,75 l/ha bereits genehmigt (BVL, 2014). Im Topfversuch war diese Menge zu hoch, im Freiland war die 50% Variante erfolgreich: Bis auf Amarant und Löwenzahn wurde eine

gute Wirkung bei sehr guter Verträglichkeit erzielt. Entgegen der nicht ausgesprochenen Empfehlung des LTZ Augustenberg (LTZ, 2021) könnte sich KerbFLO für Feldsalat eignen.

Metamitron (V. 6): Der Wirkstoff Metamitron wird schon seit Jahrzehnten im Zuckerrübenanbau verwendet und bildet dort die Bodenkomponenten der Tankmischungen. Metamitron weist als Triazin aber eine nicht unerhebliche Blattwirkung auf, welche in den Varianten 6C.2 genutzt wurde, um aufgelaufene Unkräuter herunterzubrennen. 1400 g/ha Wirkstoff im Voraufbau sorgten für eine Ertragsminderung durch einen etwas gebremsten Wuchs. Das Ergebnis unterschied sich vollkommen von dem früherer Versuche (BRAND, 2008 und BRAND, 2010), die den Wirkstoff als völlig untauglich einstufen, wobei beide allerdings höhere Mengen einsetzen.

Flufenacet (V. 8): Der der HRAC Gruppe 15 zugeordnete Wirkstoff Flufenacet wird vor allem beim Anbau von Wintergetreide gegen Ungräser mit bis zu 240 g/ha eingesetzt (BAYER, 2021-a). Selbst in der stark reduzierten Variante mit nur 60 g/ha Wirkstoff ist kein Salat in den Töpfen aufgelaufen.

Aclonifen (V. 9): Der leuchtend gelbe Wirkstoff Aclonifen stört die Carotinoidsynthese. Er stellt im Kartoffelanbau die Basis von metribuzinfreien Strategien dar und wird auch beim Anbau von Fenchel und Möhren eingesetzt (BAYER, 2021-b). Im Topf zeigte sich Aclonifen als gut verträglich, selbst bei der vollen Aufwandmenge des als aggressiv bekannten Herbizids. Im Freiland lief der Salat zügig auf und die gute Verträglichkeit schien sich zu bestätigen, bis die Pflanzen das erste Laubblatt bilden wollten. Die Laubblätter blichen wenige Tage nach dem Schieben vollständig aus, während die Keimblätter grün blieben (siehe Abbildung 12). Die Pflanzen verharrten knapp eine Woche in diesem Stadium bis auch die Keimblätter abstarben. Da die Reaktionen in der 50 % Variante eben so drastisch ausfielen, wird eine Besserung bei nur 1 l/ha (25 %) wahrscheinlich nicht zu erwarten sein.

Clomazone (V. 10): Der Wirkstoff Clomazone wird im Winterrapsanbau gegen Raukearten eingesetzt. Die Wirkung als Carotinoidsynthese-Hemmer war im Topf als hellgrüne Färbung des Salates zu sehen. Da der Handel keinerlei Verfärbung toleriert, wurde Clomazone nicht weiterverfolgt.

Clopyralid (V. 11): Dieser Wirkstoff wird vor allem zur Bekämpfung von Disteln in Zuckerrüben und Kamille in Winterraps verwendet (LFL, 2021). Der Wirkstoff Clopyralid gehört zur Gruppe der Wuchsstoffe. Im Topfversuch zeigten die Pflanzen nur kurze Zeit Verkrümmungen, um dann normal weiter zu wachsen. Im Freiland wurde der Salat auch bei verminderter AWM stark geschädigt (siehe Abbildung 13). Clopyralid eignet sich nicht zur Unkrautbekämpfung in Feldsalat.

Pyridate (V. 12): Das Kontaktherbizid war neben vielen anderen Kulturen auch in Baldrian zugelassen (BCP, 2021). Die Hoffnungen, die sich aus der Zugehörigkeit des Feldsalates zur Gruppe der Baldriangewächse ergab, wurden nicht erfüllt. Auch in der geringsten AWM starb der Feldsalat im Topf sehr schnell ab.

Phenmedipham (V. 13): Der Wirkstoff Phendmedipham behindert das Photosystem II und wirkt als Kontaktherbizid. Neben seinem Ursprung, den Zuckerrüben, kam Phenmedipham vertrieben als Betasana auch in Erdbeeren zum Einsatz. Phenmedipham wirkt nur über das Blatt und besitzt keine Bodenwirkung (UPL, 2021). In den Topfversuchen hat sich gezeigt, dass Photosynthesehemmer die Photosynthese benötigen, um zu wirken: Im nur mäßig beleuchteten Kulturschrank wuchsen die Pflanzen auch nach der Behandlung. Im Zuge einer Reinigung mussten die Töpfe etwa vier Stunden im sonnenlichterfüllten Labor stehen. Kurz darauf starben alle Varianten ab.

Fluoroxypyr (V. 14): Der Wirkstoff gilt als Spezialist gegen Klettenlabkraut in Getreide und erfasst auch Winden gut (LFL, 2020-a). Wie auch beim Clopyralid handelt es sich beim Fluoroxypyr um einen Wuchsstoff, ebenso gering war auch die Verträglichkeit.

Mesotrione (V. 15): Dieser fast ausschließlich im Mais eingesetzte Wirkstoff Mesotrione, hemmt die Carotinoïdsynthese. Neben der Anwendung im Mais ist er als Callisto auch in Mohn und Öllein zugelassen (SYNGENTA, 2020-c). Im Topf zeigte sich Mesotrione als verträglich. Im Freiland schoben die Pflanzen noch ein Blattpaar teilweise heraus, um dann aufzuhellen (siehe Abbildung 14). Dann stellten die Pflanzen das Wachsen ein und starben schlussendlich vollständig ab.

Metribuzin (V. 16): Metribuzin wird beim Anbau von Kartoffeln eingesetzt und stört das Photosystem II Selbst in der 25 % Variante im Topf wurde der Feldsalat vollständig am Auflaufen gehindert.

S-Metolachlor (V. 17): Im Mais sorgt der Wirkstoff S-Metolachlor für eine lange Wirkung gegen Hirsearten, erfasst aber sonst kaum andere Unkräuter (SYNGENTA, 2020-a). In den Topfversuchen liefen nur in der 25 % Variante stark verzögert Pflanzen auf. Diese bildeten kein sichtbares Hypokotyl, sondern „klebten“ mit ihren Keimblättern an der Bodenoberfläche. Damit schied S-Metolachlor aus.

Metazachlor (V. 18): Der Wirkstoff Metazachlor trägt beim Anbau von Winterraps die Hauptlast bei der Unkrautbekämpfung. Er hemmt die Synthese von überlangen Fettsäuren und wirkt auf Feldsalat sehr effektiv: selbst in der 25 % Variante (187,5 g/ha Wirkstoff) lief keine einzige Pflanze auf. Dieses Ergebnis unterschied sich von den früheren Versuchen,

dort wurde Metazachlor in Form des Mittels Butisan mit 0,5 l/ha (250 g/ha Wirkstoff) als möglicherweise brauchbar beschreiben (BRAND2008 und BRAND, 2010).

Dimethenamid-P (V. 19): Das Wirkstoff Dimethenamid-P, welcher der HRAC Gruppe 15 zugeordnet ist, ist im Produkt Spectrum in vielen Kulturen zugelassen. Dimethenamid-P eignet sich nicht für Feldsalat, da schon bei 25 % der maximalen AWM keine einzige Pflanze aufgelaufen war.

Die Varianten, welche im Freiland beerntbar waren, wiesen innerhalb der Wiederholungen teils sehr starke Ertragsschwankungen auf, was trotz der geringen Stichprobenzahl auf eine ungenaue Versuchsdurchführung schließen lässt. Bei genauer Betrachtung lassen sich mehrere Punkte finden, die es zu verbessern gilt:

Die Fläche der Töpfe war zu klein, wodurch sich Ungleichmäßigkeiten sehr stark auswirkten. Hätte mehr Platz zur Verfügung gestanden, wäre eine Aussaat in Schalen mit 10 cm Kantenlänge besser gewesen. Das Bewässern der Töpfe mittels Pumpsprüher musste sehr vorsichtig und langsam erfolgen, um nicht mit einem Zuviel an Wasser möglicherweise Wirkstoffe in den Keimhorizont einzuwaschen.

Das Saatbett im Freiland war in Teilen zu grob, wodurch die Saattiefe nicht richtig eingehalten werden konnte und die Saatgutabdeckung ungleichmäßig war. Auch das Walzen vor der Saat konnte diesen Mangel nicht gänzlich ausräumen. Besser wäre ein Fräsen mit einer Gemüsebau-Beetfräse gewesen, welche durch ihren angetriebenen Nachläufer für ein optimales Saatbett sorgt.

Die Aussaat mit der Doppelscheibenschar-Maschine formte 3 cm tiefe Rillen, in welche sie das Saatgut 8 mm tief ablegte. Diese Ablage erfolgte nicht ganz gleichmäßig und die Wände der Rillen wurden durch das Bewässern nach und nach abgeschwemmt, was zu Trichtereffekten geführt haben könnte. Dadurch, dass der Salat in einer Senke wuchs, war er deutlich stärker den Dreckspritzern beim Bewässern ausgesetzt. Auch das Ernten des Salates aus der Rille heraus war erschwert. Besser wäre es gewesen, die Druckrollen der Schare abzuschrauben, um die Rillenbildung zu vermeiden. Ideal wäre eine Feldsalatsämaschine gewesen, welche das Saatgut über Lochscheiben vereinzelt und mit Parallelogramm geführten Scharen das Saatgut exakt im Boden ablegt.

Die Bewässerung mit dem Impulsregner war sehr arbeits- und zeitaufwändig. Gleichzeitig war die Querverteilung des Wassers schlecht, was zu ungleichmäßigem Wuchs führte.



Abbildung 15: schlechte Querverteilung bei der Beregnung

Es wurde versucht, den Einfluss des Windes durch seitliches verschieben des Regners auszugleichen (siehe Abbildung 15, der Wind wehte von links nach rechts), was aber die schlechte Verteilung innerhalb des Halbkreises (die Ränder waren immer trockner als der Weg in der Mitte) nicht ausgleichen konnte. Besser wäre hier die Bewässerung mit einem Düsenwagen gewesen, welcher aber auf Grund von knappen finanziellen Mitteln nicht beschafft werden konnte.

Bei der Ernte unterlag die Auswahl der Probenahme fläche einem starken subjektiven Einfluss. Zur Verbesserung und Stabilisierung der Ergebnisse hätten mehrere Proben aus jeder Parzelle gezogen werden sollen oder die ganze Parzelle beerntet werden müssen. Die Ernte der ganzen Parzelle hätte aber große Probleme bei der Aufbereitung des Erntegutes ergeben. Wenn ein Herbizid eingesetzt werden soll, so muss dieser Einsatz wirtschaftlich sinnvoll sein. Da sich durch den Herbizideinsatz der Handarbeitsaufwand reduzieren soll, um Personalkosten zu sparen, bietet es sich an, beide Kosten gegenüberzustellen:

Herbizidkosten	100,00 €/ha
zusätzliche Überfahrten	50,00 €/ha
zusätzliche Kosten:	150,00 €/ha
Kosten pro Akh	11,80 €/h
Lohnend ab einer Einsparung von	12,71 Akh/ha

An dieser Beispielrechnung lässt sich erkennen, dass schon bei einer geringen Teilwirkung ein Herbizideinsatz sehr schnell wirtschaftlich sinnvoll wird. Üblicherweise beträgt der Handarbeitsaufwand im Feldsalatanbau ohne Herbizide etwa 400 Akh/ha oder rund 4720 €/ha da sich der Salat mit seinem engen Reihenabstand nur schwer mechanisiert hacken lässt.

7 Fazit

Der Anbau von Feldsalat gestaltet sich recht anspruchsvoll, wenn eine schnelle und qualitativ gute Ernte angestrebt wird. Neben einer besseren Saatbettbereitung bedarf es in Zukunft einer deutlich genaueren Sä- und Bewässerungstechnik.

Aus den anfänglich in den Töpfen in 54 Varianten getesteten 18 Wirkstoffen wurden nur 12 Varianten mit 7 Wirkstoffen als Freilandversuch weitergeführt. Im Freiland zeigten sich deutliche Ergebnisse welche Wirkstoffe verträglich sind, da bei den Unverträglichen der Salat abstarb. Als verträglich zeigten sich die folgenden Anwendungen:

- 750 g/ha Propyzamid im Voraufbau
- 312,5 g/ha Ethofumesat im Voraufbau
- 700 g/ha Metamitron im Voraufbau
- 700 g/ha Metamitron im Voraufbau gefolgt von 700 g/ha Metamitron im Nachaufbau

Da ohne Herbizideinsatz ein Großteil der Verunkrautung in Handarbeit entfernt werden muss, ist die Anwendung eines Herbizids auch schon bei einer geringen Teilwirkung wirtschaftlich sinnvoll. Die geplante Anhebung des Mindestlohns verbessert die wirtschaftliche Stellung des Herbizids gegenüber der Handarbeit weiter.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Feldsalat ist eine immer beliebtere Salatzutat, bei welcher der Handel absolute Unkrautfreiheit fordert. Die bisher verwendeten Herbizide haben entweder ihre Zulassung verloren oder beruhen auf Notfallzulassungen. In dieser Arbeit wurde untersucht, ob es neben den bereits verwendeten Herbiziden weitere Herbizide gibt, die im Feldsalat verträglich sind und sich für den praktischen Anbau eignen könnten.

Dazu wurde eine breite Palette von 18 verschiedenen Herbiziden, 13 Bodenherbizide und 5 blattaktive Herbizide, ausgewählt. Die Herbizide wurden in drei Konzentrationen (100%, 50% und 25% der maximal zulässigen Aufwandmenge) geprüft. Zuerst wurden einmal wiederholte Topfversuche angelegt, in denen der Salat bis zum Ende des Keimblattstadiums kultiviert wurde. Die Varianten, in welchen der Salat im Topf überlebte, wurden in einem Freilandversuch weiter getestet. Der Freilandversuch wurde als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen durchgeführt. Der Feldsalat wurde bis zur Ernte praxisüblich kultiviert und dann aus jeder Variante über eine Stichprobe der Ertrag und die optische Qualität erfasst.

Es zeigte sich, dass die meisten der geprüften Herbizide nicht für den Feldsalatanbau geeignet sind. Folgende Mittel haben den Salat weitgehend unbeschadet wachsen lassen:

Tabelle 11: weiter zu prüfende Varianten

Herbizid (Wirkstoff)	Aufwandmenge und Zeitpunkt
Oblix500 (500 g/l Ethofumesat)	0,625 l/ha VA
KerbFLO (400 g/l Propyzamid)	1,875 l/ha VA
Goltix Gold (700 g/l Metamitron)	1,0 l/ha VA
Golix Gold (700 g/l Metamitron)	1,0 l/ha VA und 1,0 l/ha NA

Wie in Tabelle 11 zu sehen, wurden Herbizide und Aufwandmengen gefunden, trotz derer der Feldsalat mit guten Erträgen (siehe Abbildung 11) zur Ernte kam. In weiteren Versuchen sollten diese Varianten bestätigt und auch Kombinationen getestet werden, um das Wirkspektrum zu erweitern und die Wirkung abzusichern. Um eine Zulassung oder Genehmigung nach Artikel 51 der VO (EG) Nr. 1107/2009 oder § 22 PflSchG zu ermöglichen sind ebenfalls Rückstandsmengenuntersuchungen durchzuführen. Für den Wirkstoff Propyzamid ist in der VO (EU) Nr. 1127/2014 bereits ein Grenzwert von 0,6 mg/kg festgelegt. Hier sollte geprüft werden, ob dieser eingehalten werden kann.

Literaturverzeichnis

ADAMA (2021-a)

ADAMA Deutschland GmbH: Produktinformation Crawler. Köln, 2021

ADAMA (2021-b)

ADAMA Deutschland GmbH: Produktinformation Goltix Gold. Köln, 2021

BASF (2021-a)

BASF SE: Gebrauchsanweisung StompAqua. Ludwigshafen, 2021

BASF (2021-b)

BASF SE: Gebrauchsanweisung Butisan. Ludwigshafen, 2021

BASF (2021-c)

BASF SE: Gebrauchsanweisung Spectrum. Ludwigshafen, 2021

BAYER (2021-a)

Bayer AG: Gebrauchsanweisung Cadou SC. Leverkusen, 2021

BAYER (2021-b)

Bayer AG: Gebrauchsanweisung Bandur. Leverkusen, 2021

BCP (2021)

Belchim Crop Protection Deutschland GmbH: Gebrauchsanweisung Lentagran WP. Brühl, 2021

BRAND (2008)

Thomas Brand: Unkrautbekämpfung in Feldsalat Versuch Heidelberg-Handschuhsheim 2008, Betreuungsdienst Nützlingleinsatz Baden e. V.. Heidelberg, 2008

BRAND (2010)

Thomas Brand: Herbizidversuche Feldsalat 2009. landinfo 3/2010, Karlsruhe, 2010

BVL (2014)

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit:
Zulassungserweiterung KerbFLO. Braunschweig, 2014

BVL (2015)

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit: Zulassungsbericht
Oblix 500. Braunschweig, 2015

BVL (2016)

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit: Zulassungsbericht
Proman. Braunschweig, 2016

BVL (2017)

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit: Notfallzulassung nach
Artikel 53 der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 für das Pflanzenschutzmittel Proman.
Braunschweig, 2017

BVL (2019)

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit: Ergebnisse der
Meldungen gemäß § 64 Pflanzenschutzgesetz für das Jahr 2019. Braunschweig,
2020

BVL (2021)

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit: Liste der
zugelassenen Pflanzenschutzmittel in Deutschland mit Informationen über beendete
Zulassungen. Braunschweig, 2021

CERTIS (2021)

Certis Europe B.V.: Gebrauchsanleitung Sumimax. Hamburg, 2021

CORTEVA (2021-a)

Corteva Agriscience Germany GmbH: Produktinformation KerbFLO. München, 2021

CORTEVA (2021-b)

Corteva Agriscience Germany GmbH: Produktinformation Lontrel 720SG. München,
2021

DESTATIS (2020)

Statistisches Bundesamt: Betriebe, Anbauflächen, Erträge und Erntemengen von Gemüse und Erdbeeren. Berlin, 2020

DLR (2021)

Dienstleistungszentren Ländlicher Raum Rheinland-Pfalz:
Pflanzenschutzinformationen Feldsalat. Neustadt an der Weinstraße, 2021

DÜV (2017)

Düngeverordnung veröffentlicht im Bundesgesetzblatt am 01.06.2017 , Anlage 4,
Tabelle 4, Spalte 3

DVO (EU) 2017/244

DVO (EU) 2017/244 vom 12.12.2017 Gründe 9 und 10

DVO (EU) 890/2014

DVO (EU) 890/2014 vom 14.08.2014

FARLAND und BURNSIDE (2008)

Janis Mc Farland, Orvin Burnside: The Triazine Herbicides. Elsevier Science,
Amsterdam 2008

FMC (2021)

Cheminova Deutschland GmbH & Co. KG: Gebrauchsanweisung Centium 36 CS.
Stade, 2021

GEO (2021)

Magazin Geo: Feldsalat: Diese Vitamine stecken drin. Hamburg, 2021

HAZERA (2021-a)

Hazera Seeds Germany GmbH: Feldsalat Deutschland, Edemissen, 2021

HAZERA (2021-b)

Telefonat mit der Hazera Anbauberatung am 22.09.2021

HRAC (2021)

Herbicide Resistance Action Committee: HRAC Mode of Action Classification.
Brüssel, 2021

KAHLAU et al. (2020)

Sabine Kahlau, Florian Schröder, Jörg Freigang, Bernd Laber, Gudrun Lange, Daniel Passon, Sabrina Kleeßen, Marc Lohse, Arno Schulz, Pascal von Koskull-Döring, Sebastian Klie, Sascha Gille: Aclonifen targets solanesyl diphosphate synthase, representing a novel mode of action for herbicides. Society of Chemical Industry, 2020

KOCH und AUGUSTIN (2012)

Heribert Koch und Bernd Augustin: Glyphosat - Nutzen und Risiken, DLR Rheinhausen-Nahe-Hunsrück. Neustadt an der Weinstraße 2012

LFL (2020-a)

Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft: Wirkspektren Präparate Getreidebau.
Freising, 2020

LFL (2020-b)

Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft: Wirkspektren Präparate Maisanbau.
Freising, 2020

LFL (2021)

Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft: Information zur Unkrautbekämpfung im
Rübenbau 2021. Freising, 2021

LLG (2021)

Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt: Faltblatt
Versuchsstandort Bernburg. Bernburg, 2021

LTZ (2021)

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg: Pflanzenschutz im
Erwerbsgemüsebau 2021. Karlsruhe, 2021

LWK Niedersachsen (2015)

Landwirtschaftskammer Niedersachsen: Wirkstoffgruppen nach HRAC und Wirkmechanismen. Oldenburg, 2015

MATTHES (2001)

Bernd MatThes: Die Wirkungsweise herbizidaler Chloracetamide, Konstanz, 2001

MERZ und LUEDTKE (2010)

Friedrich Merz und Hartmut Luedtke: Ist Patoran FL in der Unkrautbekämpfung von Feldsalat zu ersetzen? landinfo 3/2010, Karlsruhe, 2010

NUFARM (2021-a)

Nufarm Deutschland GmbH: Produktbeschreibung U46 D-Fluid. Köln, 2021

NUFARM (2021-b)

Nufarm Deutschland GmbH: Produktbeschreibung Lentipur 700. Köln, 2021

PLUMPE et ali. (1988)

Erik Verg, Gottfried Plumpe, Heinz Schultheis: Meilensteine 125 Jahre Bayer. Köln, 1988

RÖMPP (2021)

RÖMPP Online: Sulcotrion, Thiemeverlag, 2021

RP Gießen (2020)

Regierungspräsidium Gießen: Übersicht über Herbizid- Wirkstoffklassen. Gießen, 2020

SYNGENTA (2020-a)

Syngenta: Produktinformation DualGold. Maintal, 2020

SYNGENTA (2020-b)

Syngenta: Produktinformation Boxer. Maintal, 2020

SYNGENTA (2020-c)

Syngenta: Gebrauchsanweisung Callisto. Maintal, 2020

UPL (2021)

UPL Deutschland GmbH: Gebrauchsanweisung BetasanaSC. Brühl, 2021

Danksagung

Danken möchte ich meinen Betreuerinnen Frau Prof. Dr. Deubel und Frau Matthes für die richtungsweisende Begleitung und für das unermüdliche Beantworten meiner vielen Fragen.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Gaberle der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt für die unkomplizierte Bereitstellung der Freilandversuchsfläche, der Technik zur Bestellung, Pflege und Bewässerung sowie seinem Mitarbeiter Herr Wiesner für die tatkräftige Unterstützung bei den Freilandversuchen bedanken. Ebenso bei Frau Dr. Kusterer für die Bewältigung der bürokratischen Hürden des Freilandversuches.

Ein großer Dank geht auch an die Firmen BASF SE, Syngenta Agro GmbH, Belchim Crop Protection Deutschland GmbH und die Pfalzmarkt eG für das schnelle und unkomplizierte Bereitstellen von Produktproben und Saatgut.

Das größte Dankeschön geht an meine Mutter und Teresa Hanauska für ihre Zeit und Mühe als Korrekturleserinnen und für die vielen Hinweise zur Verbesserung.

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen (einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software) benutzt habe.

Bernburg, den 15.11.2021



Linart Raatz

Anlagen

Anlage 1

Variante	Wiederholung	Ertrag in kg/ha		Relativ zum Mittelwert/Median	
1A	1	0	Mittelwert	0	
	2	0			
	3	0	Median	0	
	4	0			
1B	1	0	Mittelwert	0	
	2	0			
	3	0	Median	0	
	4	0			
3B	1	3440	Mittelwert	8760	
	2	6560			
	3	9760	Median	8160	
	4	15280			
5B	1	2560	Mittelwert	7380	
	2	4160			
	3	11520	Median	7720	
	4	11280			
6B	1	5520	Mittelwert	4400	
	2	3360			
	3	5920	Median	4440	
	4	2800			
6C	1	3840	Mittelwert	8440	
	2	6960			
	3	8240	Median	7600	
	4	14720			
6C.2	1	13040	Mittelwert	9520	127%
	2	6000	Median	9520	151%
7A	1	6080	Mittelwert	7640	102%
	2	9200	Median	7640	121%
	3	0	Nicht gewertet	0	0
	4	0			
9A	1	0	Mittelwert	0	0
	2	0			
	3	0	Median	0	0
	4	0			
9B	1	0	Mittelwert	0	0
	2	0			
	3	0	Median	0	0
	4	0			
11A	1	0	Mittelwert	0	0
	2	0			
	3	0	Median	0	0
	4	0			
11B	1	0	Mittelwert	0	0
	2	0			
	3	0	Median	0	0
	4	0			
15A	1	0	Mittelwert	0	0
	2	0			
	3	0	Median	0	0
	4	0			
15B	1	0	Mittelwert	0	0
	2	0			
	3	0	Median	0	0
	4	0			
			Mittelwert	7512	Bezieht sich auf beerntete Parzellen
			Median	6320	

Anlage 2

Parzelle	Erntemenge roh	Verkaufsfähige Ware	Anteil Verkaufsfähig	Ertrag kg pro ha, bei 12,5cm RA	Bemerkung
1A1	0	0	0	0	Abgestorben
1A2	0	0	0	0	Abgestorben
1A3	0	0	0	0	Abgestorben
1A4	0	0	0	0	Abgestorben
1B1	0	0	0	0	Abgestorben
1B2	0	0	0	0	Abgestorben
1B3	0	0	0	0	Abgestorben
1B4	0	0	0	0	Abgestorben
3B1	45	43	96%	3440	Kleine Pflanzen, teils Verbräunungen
3B2	84	82	98%	6560	teils leicht verfärbt
3B3	135	122	90%	9760	Unkrautbesatz, Verbräunungen
3B4	198	191	96%	15280	leichte Verbräunungen
5B1	33	32	97%	2560	Kleine Pflanzen, teils Verbräunungen
5B2	56	52	93%	4160	Verbräunungen
5B3	158	144	91%	11520	lätschge Blätter
5B4	146	141	97%	11280	Unkrautbesatz, Verbräunungen
6B1	70	69	99%	5520	Blattränder
6B2	44	42	95%	3360	Kleine Pflanzen, teils Verbräunungen
6B3	79	74	94%	5920	lätschge Blätter
6B4	38	35	92%	2800	Verbräunungen
6C1	49	48	98%	3840	Ränder, teil braun
6C2	92	87	95%	6960	Verbräunungen
6C2.1 6C2.2	106	103	97%	8240	teils Blattränder
6C3	206	184	89%	14720	leicht Verbräunungen lätsche Blätter
6C3.1 6C3.2	181	163	90%	13040	teils strak verbräunte Blattränder
6C4	80	75	94%	6000	Starke verbräunungen
7A1	77	76	99%	6080	Blattränder
7A2	123	115	93%	9200	Verbräunungen
7A3	0	0	0%	0	Aussaatfehler
7A4	0	0	0%	0	Aussaatfehler
9A1	0	0	0%	0	Abgestorben
9A2	0	0	0%	0	Abgestorben
9A3	0	0	0%	0	Abgestorben
9A4	0	0	0%	0	Abgestorben
9B1	0	0	0%	0	Abgestorben
9B2	0	0	0%	0	Abgestorben
9B3	0	0	0%	0	Abgestorben
9B4	0	0	0%	0	Abgestorben
11A1	0	0	0%	0	Massivst geschädigt/Abgestorben
11A2	0	0	0%	0	Massivst geschädigt/Abgestorben
11A3	0	0	0%	0	Massivst geschädigt/Abgestorben
11A4	0	0	0%	0	Massivst geschädigt/Abgestorben
11B1	0	0	0%	0	Massivst geschädigt/Abgestorben
11B2	0	0	0%	0	Massivst geschädigt/Abgestorben
11B3	0	0	0%	0	Massivst geschädigt/Abgestorben
11B4	0	0	0%	0	Massivst geschädigt/Abgestorben
15A1	0	0	0%	0	Abgestorben
15A2	0	0	0%	0	Abgestorben
15A3	0	0	0%	0	Abgestorben
15A4	0	0	0%	0	Abgestorben
15B1	0	0	0%	0	Abgestorben
15B2	0	0	0%	0	Abgestorben
15B3	0	0	0%	0	Abgestorben
15B4	0	0	0%	0	Abgestorben
		MIN	89%	2560,00	Werte beziehe sich auf beerntete Parzellen
		MAX	0,99	15280,00	
		Mittelwert	95%	7512,00	
		Median	95%	6320,00	