

84

Berichte aus dem TFZ

Spritzbares Mulchmaterial im Gemüsebau

Projektpartner:



Amt für Ernährung,
Landwirtschaft und Forsten
Kitzingen-Würzburg



AMAZONE



Spritzbares Mulchmaterial im Gemüsebau



Spritzbares Mulchmaterial im Gemüsebau

Lisa Steinhuber
Dr. Michael Kirchinger
Janneke Rüger
Tobias Vogl
Dr.-Ing. Peter Emberger
Dr. Klaus Thuneke
Dr.-Ing. Daniela Dressler
Florian Stein
Dr. Andreas Becker
Claudia Taeger
Stefan Kiefer
Dr. Edgar Remmele

in Zusammenarbeit mit:



Amt für Ernährung,
Landwirtschaft und Forsten
Kitzingen-Würzburg



AMAZONE

Berichte aus dem TFZ 84

Straubing, Februar 2024

Titel: Spritzbares Mulchmaterial im Gemüsebau

Leiter Gesamtvorhaben und Teilprojekt TFZ:
Dr. Edgar Remmele

Leiter Teilprojekte Amazonen-Werke H. Dreyer SE & Co. KG und
Schmotzer Hacktechnik GmbH & Co. KG:
Stefan Kiefer

Leiter Teilprojekt Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Kitzingen-Würzburg (AELF KW):
Claudia Taeger, Dr. Andreas Becker

Leiter Teilprojekt Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG):
Stefan Kirchner, Gerd Sander

Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen:

TFZ: Lisa Steinhuber, Maximilian Gerauer, Angelika Bauer, Dr.-Ing. Peter Emberger,
Dr. Michael Kirchinger, Dr. Klaus Thuneke, Dr.-Ing. Daniela Dressler

AELF Kitzingen-Würzburg: Janneke Rüger, Tobias Vogl, Jan Keßler

Amazonen-Werke: Florian Stein

Schmotzer Hacktechnik: Thomas Bedenk

LWG: Martin Schulz

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt im Rahmen der Förderinitiative „Vermeidung und Verminderung von Pestiziden in der Umwelt“ unter dem Kennzeichen Az. 35896/01 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



© 2024

Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

Alle Rechte vorbehalten.

Kein Teil dieses Werks darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

Unter Verwendung mineralölfreier Druckfarben (Mineralölanteil < 1 %) gedruckt auf chlorfreiem Papier aus nachhaltiger, zertifizierter Waldbewirtschaftung.

ISSN: 1614-1008
Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)
Schulgasse 18, 94315 Straubing
E-Mail: poststelle@tfz.bayern.de
Internet: www.tfz.bayern.de

Redaktion: Dr. Michael Kirchinger, Anna Grundner
Gestaltung: Dr. Michael Kirchinger
Verlag: Eigenverlag
Erscheinungsort: Straubing
Fotos: AELF KW (Abbildung 5, Abbildung 6, Abbildung 8, Abbildung 9, Abbildung 10, Abbildung 11, Abbildung 12, Abbildung 33, Abbildung 38, Abbildung 54, Abbildung 57, Abbildung 81), Amazone (Abbildung 16, Abbildung 17, Abbildung 18), Julius Kühn-Institut (Abbildung 4), Keuskamp (Abbildung 15), restliche TFZ

Danksagung

Bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt bedanken wir uns für die Finanzierung des Vorhabens. Besonderer Dank gilt Frau Christiane Grimm für die stets sehr gute Zusammenarbeit und das entgegengebrachte Vertrauen.

Großer Dank gebührt den Praxisbetrieben Höhn, Sagstetter und Stangl für das Bereitstellen der Feldflächen zur Erprobung des Verfahrens und für die unkomplizierte Mithilfe bei der Durchführung der Versuche.

Weiterer Dank gilt Herrn Josef Apfelbeck vom Landesverband Bayerischer Feldgemüsebauern e. V., Herrn Korbinian Bogner vom Landesverband für den ökologischen Landbau in Bayern e. V., Herrn Heinz-Peter Frehn von der Bundesfachgruppe Gemüsebau, Frau Christiane Grimm von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Herrn Prof. Dr. Jens-Karl Wegener vom Julius-Kühn-Institut Abteilung Agrartechnik, Herrn Dr. Sebastian Weinheimer vom Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz sowie Herrn Dr. Jörn Wogram vom Umweltbundesamt für die wertvollen Hinweise und Anregungen bei der Mitwirkung im projektbegleitenden Beirat.

Für die gutachterliche Stellungnahmen zum Mulchverfahren gilt besonderer Dank Herrn Dr. Achim Gathmann und Herrn Dr. Roger Waldmann vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Herrn Clemens Hurt vom Bundesamt für Ernährungssicherheit in Österreich und Herrn Dr. Markus Kelderer vom Versuchszentrum Laimburg in Südtirol.

Die Autoren

Abstract (deutsch)

Beikrautregulierung ist im Gemüsebau eine gängige Praxis. Ziel dabei ist es, die Konkurrenz zwischen Kulturpflanze und Beikräutern zu reduzieren und so die Erntemenge zu erhöhen. Üblicherweise werden hierfür Herbizide oder Mulchfolien – vorwiegend noch aus Kunststoff – verwendet. Jedes Jahr verlieren allerdings zahlreiche Herbizide die Zulassung, sodass sie nicht mehr für einen Einsatz im Gemüsebau infrage kommen. Außerdem verfolgt die Europäische Kommission das Ziel, bis 2030 50 % der Herbizide einzusparen. Auch konventionelle Mulchfolien stehen stark in der Kritik. Zum einen werden diese aus Erdölprodukten hergestellt, zum anderen verursachen sie einen erheblichen Mikroplastikeintrag in die Böden. Um eine Alternative zu den bisherigen Verfahren zur Beikrautkontrolle aufzuzeigen, wurde im Projekt ABOW (gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, G2/N/18/09) ein spritzbares Mulchmaterial auf Basis nachwachsender Rohstoffe entwickelt. Dieses Zwei-Komponenten-Gemisch wurde in Dauerkulturen erfolgreich eingesetzt und es konnte dort eine grundsätzliche Machbarkeit gezeigt werden. Ziel dieses Projekts war es, das Mulchmaterial an repräsentativ ausgewählten Kultursorten im Gemüsebau zu testen. Neben der Beikraut regulierenden Wirkung und der Erfassung der Erntemengen wurden auch Umweltaspekte wie die Bodenaktivität der Mikroorganismen, die Analyse von Rückständen und der Einfluss auf den Wasserhaushalt untersucht. Während die Wirkung gegen Beikräuter in den meisten Versuchen sehr gut war, zeigte die Erhebung der Erntemengen teilweise deutliche Unterschiede zwischen den Varianten mit Mulchmaterial und der Kontrolle. Dies deutet darauf hin, dass das Mulchmaterial teilweise zu Wuchsdepressionen in manchen Gemüsebaukulturen führen könnte. Dagegen zeigten die Untersuchungen der Umweltwirkung keine negativen Beeinflussungen. Weder das Bodenleben noch Wildtiere wurden beeinflusst. Im zweiten Projektjahr wurde von den Amazonen-Werken ein Prototyp entwickelt, der als praxisfähiges Applikationsgerät das Mulchmaterial ausbringen sollte. Die Feldversuche konnten mit dem neu entwickelten Gerät gut umgesetzt werden. Abschließend wurden eine ökonomische Bilanz der entstehenden Kosten des Verfahrens sowie eine Treibhausgasbilanz erstellt. Die Kosten spritzbaren Mulchmaterials sind derzeit noch zu hoch, um mit konventionellen Verfahren konkurrieren zu können. Hier besteht allerdings noch Optimierungspotenzial.

Das Mulchmaterial zeigte gute Ansätze, die weiterverfolgt werden sollten. Aufgrund der hohen Streuung einiger Untersuchungen kann allerdings noch kein abschließendes Fazit zur Praxistauglichkeit getroffen werden.

Abstract (englisch)

Weed control is a common practice in olericulture. The intention is to reduce the competition between the crop and the weeds and thus to increase the amount harvested. Usually herbicides or mulch films – mainly still made of plastic – are used for this purpose. Every year, however, numerous herbicides lose their approval, so that they are no longer considered for use in olericulture. In addition, the European Commission is pursuing the goal of reducing the use of herbicides by 50% by 2030. Conventional mulch films are also heavily criticised. On the one hand, they are made from petroleum products, on the other hand, they cause a considerable microplastic input into the soil. In order to present an alternative to the existing methods of weed control, a sprayable mulch material based on renewable raw materials was developed in the ABOW project (funded by the Bavarian State Ministry of Food, Agriculture and Forestry, G2/N/18/09). This two-component mixture was successfully used in long-term crops, where it was shown to be basically suitable. The aim of this project was to test the mulch material on representatively selected crop varieties in olericulture. In addition to the weed-regulating effect and the recording of crop yields, environmental aspects such as the soil activity of microorganisms, the analysis of residues and the influence on the water balance were also investigated. While the effect against weeds was very good in most of the trials, the survey of crop yields showed partly clear differences between the variants with mulch material and the control. This indicated that the mulch material could partly lead to growth depression in some vegetable crops. In contrast, the environmental impact studies did not show any negative effects. Neither soil life nor wild animals were affected. In the second year of the project a prototype was developed by Amazonen-Werke, which was to be used as a practical application device to apply the mulch material. The field trials could be well implemented with the newly developed device. Finally, an economic balance of the costs incurred by the process and a greenhouse gas balance were drawn up. The costs of sprayable mulch material are currently still too high to compete with conventional methods. However, there is still potential for optimisation in this regard.

The mulch material showed good approaches that should be investigated further. Due to the high dispersion of some studies, however, no final conclusion can be made about their practical suitability.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	5
Abstract (deutsch)	7
Abstract (englisch)	8
Inhaltsverzeichnis	9
Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	17
1 Einleitung	19
2 Problemstellung	21
3 Zielsetzung	23
4 Stand des Wissens	25
4.1 Beikrautunterdrückung im Feldgemüsebau	25
4.2 Spritzbare Funktionsmaterialien	26
4.3 Anbauverfahren Gemüsekulturen	29
5 Material und Methoden	31
5.1 Rezeptur des Mulchmaterials	31
5.2 Applikationstechnik	32
5.2.1 Applikationsgerät SAM für Reihenkulturen	32
5.2.2 Machbarkeitsstudie eines praxisnahen Applikationsgeräts für Reihenkulturen	33
5.3 Vorversuche zur Ermittlung des optimalen Applikationszeitpunkts	34
5.4 Funktionalität des Mulchverfahrens	35
5.4.1 Beikrautbonitur durch Fotodokumentation mithilfe eines Fotorahmens	35
5.4.2 Ernteertrag	36
5.5 Feldversuche	36
5.5.1 Versuchsstandorte	36
5.5.2 Versuchsanlage	38
5.5.3 Kopfsalat	38
5.5.4 Kohlrabi	42
5.5.5 Karotte	43
5.5.6 Einlegegurke	49
5.6 Gewächshausversuche zur Validierung von Feldversuchsergebnissen ..	53
5.7 Umweltwirkungen	54
5.7.1 Biologischer aerober Abbau des Mulchmaterials	54

5.7.2	Auswaschung von Pflanzenöl in den Boden.....	56
5.7.3	Einfluss auf die Fauna.....	57
5.7.4	Rückstände des Mulchmaterials.....	57
5.7.5	Bodenleben.....	58
5.8	Ökonomische Einordnung.....	59
5.9	Energie- und Treibhausgasbilanz.....	63
5.10	Statistische Auswertung.....	66
6	Ergebnisse und Diskussion.....	67
6.1	Rezeptur des Mulchmaterials.....	67
6.2	Applikationstechnik.....	67
6.2.1	Prototyp eines Systems für die Applikation von Mulchmaterial „SAM“.....	67
6.2.2	Praxisnahes Applikationsgerät für den Gemüsebau.....	67
6.3	Vorversuche zum optimalen Applikationszeitpunkt.....	71
6.4	Feldversuche.....	73
6.4.1	Kopfsalat.....	73
6.4.2	Kohlrabi.....	93
6.4.3	Karotte.....	101
6.4.4	Einlegegurke.....	117
6.4.5	Fazit Beikraut hemmende Wirkung des Mulchmaterials.....	130
6.5	Gewächshausversuche.....	130
6.6	Umweltwirkungen.....	134
6.6.1	Rückstände des Mulchmaterials.....	134
6.6.2	Biologischer aerober Abbau des Mulchmaterials.....	134
6.6.3	Auswaschung von Pflanzenöl in den Boden.....	135
6.6.4	Einfluss auf Wildtiere.....	137
6.6.5	Bodenleben.....	138
6.7	Ökonomische Einordnung.....	140
6.8	Energie- und Treibhausgasbilanz.....	142
6.9	Rechtliche Einordnung.....	146
7	Zusammenfassung.....	147
	Quellenverzeichnis.....	153
	Anhang.....	159

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	System zur Applikation von Mulchmaterial (SAM) im Gemüsebau in der Seitenansicht.....	32
Abbildung 2:	Applikationsgerät SAM für Reihenkulturen in der Rückansicht (links), SAM im Feldeinsatz beim Ausbringen von Mulchmaterial zwischen Kopfsalatreihen (rechts)	33
Abbildung 3:	Systemmodell der Untersuchungen zum Beikrautmanagement im Freilandgemüsebau im Vorhaben MuNaRo – Eingangsgrößen, Einflussfaktoren und Zielgrößen (Schriftfarbe Hellgrau: Größen, die nicht näher untersucht werden)	35
Abbildung 4:	Versuchsstandorte in zwei unterschiedlichen Boden-Klima-Räumen [39] [40]	37
Abbildung 5:	Beetaufbau und Applikationsbereiche für Kopfsalat und Kohlrabi am Standort Niederbayern	39
Abbildung 6:	Beetaufbau und Applikationsbereiche für Kopfsalat und Kohlrabi am Standort Unterfranken	40
Abbildung 7:	Pflanzmaschine Hortech OVER (links); Detailaufnahme des Pflanzaggregats mit geöffnetem Pflanzbecher beim Ablegen der Salatpflanze und Andruckrollen (rechts).....	41
Abbildung 8:	Parzellen- und Dammaufbau sowie Applikationsbereiche im Versuch Karotte am Standort Niederbayern.....	44
Abbildung 9:	Parzellen- und Dammaufbau sowie Applikationsbereiche im Versuch Karotte am Standort Unterfranken.....	46
Abbildung 10:	Feuchtesensor der Marke Watermark im Karottendamm in Unterfranken nach dem Ausgraben	49
Abbildung 11:	Skizze der Versuchsfläche Einlegegurke, Niederbayern 2021	50
Abbildung 12:	Skizze der Versuchsfläche Einlegegurke, Niederbayern 2022	52
Abbildung 13:	Schematischer Aufbau des Abbaubarkeitsversuchs nach DIN EN ISO 17556:2019-09 [8] (Ergebnisse auch im Abschlussbericht des Projekts ABOW [28] veröffentlicht).....	55
Abbildung 14:	Aufbau des Abbaubarkeitsversuchs mit drei Versuchsreihen als Nullprobe (links), drei Versuchsreihen mit Mulchmaterial (Mitte) und drei Versuchsreihen als Referenz mit Stärkepulver (rechts).....	56
Abbildung 15:	Zersetzungsrate k und Stabilisierungsfaktor S für unterschiedliche Standorte bzw. Ökosysteme [27].....	58
Abbildung 16:	2-D-Gafik der Front-Heck-Gerätekombination für die Ausbringung des Mulchmaterials	68
Abbildung 17:	Flüssigkeitskreislauf mit Konstantdrucksystem.....	69
Abbildung 18:	3-D-Grafik des Front- und Heckanbaus des Applikationsgeräts	69

Abbildung 19: Bestimmung des optimalen Saat- bzw. Pflanzzeitpunkts – Varianten mit einer Schichtdicke von 3 mm auf feinkrümeligem, nachverdichtetem Untergrund.....	71
Abbildung 20: Bestimmung des optimalen Saat- bzw. Pflanzzeitpunkts – Varianten mit einer Schichtdicke von 3 mm auf grobkrümeligem, lockerem Untergrund	72
Abbildung 21: Bestimmung des optimalen Saat- bzw. Pflanzzeitpunkts – Varianten mit einer Schichtdicke von 1 mm auf feinkrümeligem, nachverdichtetem Untergrund.....	72
Abbildung 22: Bestimmung des optimalen Saat- bzw. Pflanzzeitpunkts – Varianten mit einer Schichtdicke von 1 mm auf grobkrümeligem, lockerem Untergrund	73
Abbildung 23: Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2021, Satz 1, 62 Tage Kulturdauer ..	74
Abbildung 24: Reste des Mulchmaterials an Bodenstücken anhaftend, 83 Tage nach der Applikation im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2021, Satz 1	75
Abbildung 25: Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen Kopfgewichts der vier Varianten im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2021, Satz 1, 62 Tage Kulturdauer	75
Abbildung 26: Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2021, Satz 2, 40 Tage Kulturdauer ..	76
Abbildung 27: Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen Kopfgewichts der vier Varianten im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2021, Satz 2, 40 Tage Kulturdauer	77
Abbildung 28: Ausbringung des spritzbaren Zwei-Komponenten-Mulchmaterials auf Basis Nachwachsender Rohstoffe zwischen Kopfsalatreihen mit dem Applikationsgerät SAM	79
Abbildung 29: Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Kopfsalat, Unterfranken, 2021, Satz 1, 70 Tage Kulturdauer ...	80
Abbildung 30: Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen Kopfgewichts der vier Varianten im Versuch Kopfsalat, Unterfranken, 2021, Satz 1, 70 Tage Kulturdauer	81
Abbildung 31: Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Kopfsalat, Unterfranken, 2021, Satz 2, 38 Tage Kulturdauer ...	82
Abbildung 32: Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen Kopfgewichts der vier Varianten im Versuch Kopfsalat, Unterfranken, 2021, Satz 2, 38 Tage Kulturdauer	83
Abbildung 33: Wuchsverhalten Kopfsalat und Beikrautbesatz in den fünf Varianten im Versuch Niederbayern, 2022 zu vier Boniturterminen.....	84
Abbildung 34: Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter in den verschiedenen Wachstumsphasen im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2022, n = 4	85

Abbildung 35:	Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen marktfähigen Kopfgewichts und des Anteils marktfähiger Köpfe der fünf Varianten im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2022, 34 Tage Kulturdauer	86
Abbildung 36:	Ungleichmäßige Schichtdicke des Mulchmaterials als Folge der Bodenbearbeitung mit einer Prismenwalze (links) und ungleichmäßige Höhenablage der Salatjungpflanzen in eine durch zu tief eingestellte Andruckrollen zerstörte Mulchschicht (rechts)	88
Abbildung 37:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter in den verschiedenen Wachstumsphasen im Versuch Kopfsalat, Unterfranken, 2022, n = 4	89
Abbildung 38:	Beikrautaufwuchs in den fünf Varianten im Versuch Kopfsalat, Unterfranken, 2022 zu vier Boniturterminen	90
Abbildung 39:	Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen marktfähigen Kopfgewichts und des Anteils marktfähiger Köpfe der fünf Varianten im Versuch Kopfsalat, Unterfranken, 2022, 44 Tage Kulturdauer	91
Abbildung 40:	Anzahl Beikräuter der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Kohlrabi, Niederbayern, 2021, Satz 1	94
Abbildung 41:	Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen Knollengewichts sowie des Anteils an Knollen mit Durchmesser größer als 8 cm der vier Varianten im Versuch Kohlrabi, Niederbayern, 2021, 51 Tage Kulturdauer	95
Abbildung 42:	Reste des Mulchmaterials auf der Bodenoberfläche 92 Tage nach der Applikation, vor der Bodenbearbeitung im Versuch Kohlrabi, Niederbayern, 2021, Satz 1, Variante 3	96
Abbildung 43:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Kohlrabi, Unterfranken, 2021, Satz 1	97
Abbildung 44:	Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen Knollengewichts sowie des Anteils an Knollen > 8 cm der vier Varianten im Versuch Kohlrabi, Unterfranken, 2021, Satz 1, 72 Tage Kulturdauer	98
Abbildung 45:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Kohlrabi, Unterfranken, 2021, Satz 2	100
Abbildung 46:	Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen Knollengewichts sowie des Anteils an Knollen > 8 cm der vier Varianten im Versuch Kohlrabi, Unterfranken, Versuchsjahr 2021, Satz 2, 50 Tage Kulturdauer	100
Abbildung 47:	Mittelwerte und Standardabweichungen Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Karotte, Niederbayern, 2021, Satz 1	102
Abbildung 48:	Mittelwerte und Spannweiten der Frischmasse – gesamt und marktfähig – der vier Varianten im Versuch Karotte, Niederbayern, 2021, 78 Tage Kulturdauer, Mulchmaterial auf den Dammseiten	103

Abbildung 49: Karottendämme an der Dammseite appliziert mit Mulchmaterial – am Tag der Applikation – Versuch Karotte, Unterfranken, 2021	104
Abbildung 50: Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Karotte, Unterfranken, 2021, Satz 1, Mulchmaterial auf den Dammseiten	105
Abbildung 51: Mittelwerte und Spannweiten der Frischmasse – gesamt und marktfähig – der vier Varianten im Versuch Karotte, Unterfranken, 2021, 111 Tage Kulturdauer, Mulchmaterial auf den Dammseiten	106
Abbildung 52: Draufsicht auf das zerstörte Mulchmaterial auf der Dammkrone nach der Saat mit einem Säschar, Versuch Karotte, Niederbayern, 2022, Parzelle 3.2.....	107
Abbildung 53: Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter in den verschiedenen Wachstumsphasen im Versuch Karotte, Niederbayern, 2022, n = 4	108
Abbildung 54: Beikraut aufwuchs in den vier Varianten im Versuch Karotte, Niederbayern, 2022 zu vier Boniturterminen.....	109
Abbildung 55: Gesamtsicht des Versuchs Karotte, Niederbayern, 2022	110
Abbildung 56: Mittelwerte und Spannweiten der Frischmasse – gesamt und marktfähig – der vier Varianten im Versuch Karotte, Niederbayern, 2022, 52 Tage Kulturdauer, Mulchmaterial auf der Dammkrone.....	111
Abbildung 57: Beikraut aufwuchs in den vier Varianten im Versuch Karotte, Unterfranken, 2022 zu vier Boniturterminen	112
Abbildung 58: Verzögerte Pflanzenentwicklung in der Kontrollvariante Versuch Karotte, Unterfranken, 2022, weiße Markierung: Parzelle 2.3	113
Abbildung 59: Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter in den verschiedenen Wachstumsphasen im Versuch Karotte, Unterfranken, 2022, n = 4	114
Abbildung 60: Saugspannung in den Varianten und Bodentemperatur im Versuch Karotte, Unterfranken, 2022	115
Abbildung 61: Mittelwerte und Spannweiten der Frischmasse – gesamt und marktfähig – der vier Varianten im Versuch Karotte, Unterfranken 2022, 138 Tage Kulturdauer, Mulchmaterial auf den Dammseiten	116
Abbildung 62: Saat Einlegegurke in die konventionelle Mulchfolie in Variante 4 (links) und Saat in das zwei Tage zuvor ausgebrachte Mulchmaterial in Variante 3 (rechts), jeweils mit einem pneumatischen Einzelkornsäugerät	118
Abbildung 63: Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Einlegegurke, Niederbayern, 2021	119
Abbildung 64: Luftaufnahme der Versuchsfläche Einlegegurke, Niederbayern, 2021 zur Beurteilung des Pflanzenbestands in den einzelnen Parzellen.....	120

Abbildung 65:	Applikation des Mulchmaterials in 3 mm Schichtdicke als Folienersatz in drei Bahnen.....	121
Abbildung 66:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter in den verschiedenen Wachstumsphasen im Versuch Einlegegurke, Niederbayern, 2022, n = 4.....	123
Abbildung 67:	Rissbildung und Beikrautdurchwuchs 8 Tage nach der Applikation, Versuch Einlegegurke, Niederbayern, 2022	124
Abbildung 68:	Kartoffeldurchwuchs im Versuch Einlegegurke, Niederbayern, 2022 in Variante MuNaRo 3 mm, 31 Tage nach der Applikation.....	124
Abbildung 69:	Mittelwerte und Spannweiten des Anteils gekeimter Gurkensamen pro Gurkenbahn 23 Tage nach Aussaat (drei Gurkenbahnen pro Parzelle)	125
Abbildung 70:	Mittelwerte und Spannweiten der Oberflächentemperatur der Folienabdeckung und des MuNaRo-Materials nach 23 und 31 Tagen nach Aussaat im Versuch Einlegegurke, Niederbayern, 2022, n = 36 ..	126
Abbildung 71:	Beikrautbewuchs in Parzelle 4.3 im Versuch Einlegegurke, Niederbayern, 2022, 59 Tage nach der Applikation	127
Abbildung 72:	Lückiger Pflanzenbestand und stark zerstörte Mulchschicht zum Boniturzeitpunkt 5 im Versuch Einlegegurke, Niederbayern, 2022	128
Abbildung 73:	Luftaufnahme der Versuchsfläche Einlegegurke, Niederbayern, 2022 vom 26.07.2022 zur Beurteilung des Pflanzenbestands in den einzelnen Parzellen	129
Abbildung 74:	Mittelwerte und Standardfehler der mittleren Kopfgewichte der Salatköpfe bei unterschiedlicher Bewässerung, Gewächshausversuch, n = 9	131
Abbildung 75:	Keimung und Wachstum der Gurkenpflanzen, links in der Nullvariante, rechts in einer 5 mm starken Mulchmaterialschiicht zu vier Boniturzeitpunkten, Gewächshausversuch.....	132
Abbildung 76:	Fotobonitur des Gurkenversuchs mit Abdeckvlies mit den Varianten Nullvariante mit unbehandeltem Vlies, mit Mulchmaterial getränktes Vlies und getränktes Vlies mit zusätzlichem Regenereignis.....	133
Abbildung 77:	Freigesetzte Menge Kohlenstoffdioxid aufsummiert über 50 Tage aus dem Abbau von Mulchmaterial und Stärke (Referenz)	135
Abbildung 78:	GC-Messung einer Probe mit zugesetzten 5 mg Rapsöl – Peak der methylierten Ölsäure bei 12,5 min	136
Abbildung 79:	GC-Messung einer Bodenprobe, entnommen unter einer mit Mulchmaterial abgedeckten Fläche	136
Abbildung 80:	GC-Messung einer Bodenprobe, entnommen unter einer nicht mit Mulchmaterial abgedeckten Fläche	137
Abbildung 81:	Typische Aufnahmen von Vögeln und größeren Wirbeltieren mit Wildtierkameras in unterschiedlichen Feldversuchen im Jahr 2021	138
Abbildung 82:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Zersetzungsrate k und des Stabilisierungsindex S des Tea-Bag-Index zur Abschätzung des	

	Einflusses des Mulchmaterials auf das Bodenleben für alle Feldversuche (t; Inkubationszeit der Teebeutel)	139
Abbildung 83:	Sensitivität der Kosten für das Ausbringen des MuNaRo-Materials in Kopfsalat in Abhängigkeit der relativen Änderung der Material-, Arbeitskraft- und Maschinenkosten gegenüber den Modellfallannahmen	141
Abbildung 84:	Prozentuale Verteilung der THG-Emissionen (links) und des kumulierten nicht erneuerbaren Energieaufwands (rechts) des Mulchmaterials.....	143
Abbildung 85:	Massenzusammensetzung des Mulchmaterials MuNaRo.....	143
Abbildung 86:	Differenz der THG-Emissionen und des nicht erneuerbaren Energieaufwands zwischen dem MuNaRo-Verfahren und den herkömmlichen Anbauvarianten von Kopfsalat, Karotte und Einlegegurke	145

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Rezeptur des Mulchmaterials	31
Tabelle 2:	Versuchsvarianten zum optimalen Applikationszeitpunkt vor Saat oder Pflanzung in das Mulchmaterial.....	34
Tabelle 3:	Versuchsvarianten Kopfsalat und Kohlrabi im Versuchsjahr 2021 in Niederbayern und Unterfranken	38
Tabelle 4:	Versuchsvarianten Kopfsalat im Versuchsjahr 2022 in Niederbayern und Unterfranken	41
Tabelle 5:	Versuchsvarianten Karotte im Versuchsjahr 2021 an den Standorten Niederbayern und Unterfranken	43
Tabelle 6:	Versuchsvarianten Karotte im Versuchsjahr 2022 an den Standorten Niederbayern und Unterfranken	43
Tabelle 7:	Versuchsvarianten Einlegegurke Niederbayern.....	49
Tabelle 8:	Verfahrensschritte beim Sommeranbau von Kopfsalat (Frischmarktware) mit MuNaRo im Vergleich zu etablierten Varianten der Kulturführung	59
Tabelle 9:	Verfahrensschritte beim Anbau von Karotten (Frischmarktware) in Dammkultur mit MuNaRo-Applikation auf den Dammseiten im Vergleich zu etablierten Varianten der Kulturführung	60
Tabelle 10:	Verfahrensschritte beim Anbau von Einlegegurke (Verarbeitung), im Vergleich zu etablierten Varianten der Kulturführung	60
Tabelle 11:	Allgemeine Annahmen für die Berechnung der Verfahrenskosten	62
Tabelle 12:	Spezifische Annahmen für Kopfsalat, Karotte und Einlegegurke für die Berechnung der Verfahrenskosten	63
Tabelle 13:	Zuordnung der Bestandteile des Mulchmaterials zu den jeweiligen Datensätzen aus der Ökobilanzdatenbank ecoinvent 3.7.1 [51].....	65
Tabelle 14:	Allgemeine Annahmen für die Berechnung der THG- und Energiebilanz	66
Tabelle 15:	Ergebnisse der Sichtbonitur des Kopfsalats zum Zeitpunkt der Ernte in Niederbayern (Versuchsjahr 2021 – Satz 2, 40 Tage Kulturdauer)	78
Tabelle 16:	Ergebnisse der Sichtbonitur des Kopfsalats zum Zeitpunkt der Ernte in Niederbayern (Versuchsjahr 2022, 34 Tage Kulturdauer)	87
Tabelle 17:	Ergebnisse der Sichtbonitur des Kopfsalats zum Zeitpunkt der Ernte in Unterfranken (Versuchsjahr 2022, 44 Tage Kulturdauer)	92
Tabelle 18:	Sichtbonitur zum Zeitpunkt der Ernte im Versuch Kohlrabi, Niederbayern, Satz 1 (Vermarktungsfähig größer 80 mm, nicht vermarktungsfähig kleiner 80 mm, Laubfarbe von hell = 1 bis dunkel = 9, Gesamteindruck von schlecht = 1 bis sehr gut = 9).....	95

Tabelle 19:	Sichtbonitur zum Zeitpunkt der Ernte im Versuch Karotte, Niederbayern (Laubfarbe von hell = 1 bis dunkel = 9, Gesamteindruck von schlecht = 1 bis sehr gut = 9, Verunkrautung von wenig = 1 bis stark = 9) 103
Tabelle 20:	Auszug aus dem Bericht zu den Nährstoffanalysen von Blattproben im Versuch Einlegegurken..... 120
Tabelle 21:	Mehrkosten des MuNaRo-Verfahrens im Vergleich zu je zwei herkömmlichen Verfahrensvarianten für Kopfsalat (Ko), Karotte (Ka) und Einlegegurke (Gu) 140

1 Einleitung

Eine nachhaltige Lebensmittelerzeugung „vom Hof auf den Tisch“ ist ein wesentliches Ziel der Farm-to-Fork-Strategie der Europäischen Kommission [14]. Dies bedeutet unter anderem, bis 2030 den Einsatz gefährlicher Pflanzenschutzmittel um 50 % zu reduzieren und damit das Artensterben einzudämmen und die Biodiversität bei der Landnutzung zu stärken. Dieses Ziel kann vor allem durch Maßnahmen im Acker- und Gemüsebau erreicht werden, da dort entsprechende Mengen Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden.

In Deutschland wurde im Jahr 2021 im Freiland auf rund 129.700 Hektar Gemüse (eigene Berechnungen nach GARMING 2022 [17], Datenbasis Statistisches Bundesamt) angebaut. Zur Beseitigung von Beikräutern werden im konventionellen Feldgemüsebau Herbizide eingesetzt, um zum einen das Saat- bzw. Pflanzbett zu bereiten und zum anderen während der Vegetationszeit die Konkurrenz zwischen Kulturpflanzen und Beikräutern um Nährstoffe und Wasser zu verringern. Im Jahr 2020 waren im Gemüsebau 61 Pflanzenschutzmittel gegen Unkräuter zugelassen [4]. Welche konkreten Mengen an Herbiziden im Gemüseanbau ausgebracht werden, ist nicht bekannt. Hintergrundinformationen geben jedoch die Erhebungen „NEPTUN-Gemüsebau“ des „Netzwerks zur Ermittlung der Pflanzenschutzmittelanwendung in unterschiedlichen landwirtschaftlich relevanten Naturräumen Deutschlands“ [39], veröffentlicht vom Julius-Kühn-Institut. Eine Hochrechnung für die Gemüsekulturen Salat, Kohlrabi, Möhren, Einlegegurken sowie Zucchini (in Summe 16 % der konventionellen Gemüseanbaufläche in Deutschland) ergibt, dass deutschlandweit pro Jahr in diesen Kulturen rund 53 Tonnen Herbizide (eigene Berechnung von Becker, A. und Frank, J. 2020) ausgebracht werden. Als Alternative zum Herbizideinsatz werden Beikräuter häufig mechanisch bekämpft, z. B. durch Hacken, oder physikalisch am Aufwuchs gehindert, z. B. durch Ausbringen von Mulchfolien.

2 Problemstellung

Herbizide können schädigend auf Ökosysteme wirken und auch die Gesundheit des Menschen beeinträchtigen. Der weltweit am meisten verbreitete, in über 750 Produkten zur Beikrautregulierung enthaltene Herbizidwirkstoff Glyphosat und auch dessen Abbauprodukt stehen beispielsweise im Verdacht, kanzerogen zu wirken [21] [41]. Ziel muss daher sein, den Einsatz von Herbiziden zu verringern oder besser ganz zu unterlassen. Dies gilt insbesondere im Feldgemüseanbau für den Frischmarkt, wo der Handlungsdruck im Vergleich zu anderen Sparten von Landwirtschaft und Gartenbau noch höher erscheint. In diesem Absatzsegment schließt bereits der Lebensmitteleinzelhandel über eigene Negativlisten immer mehr Wirkstoffe aus. Zudem reagiert der Verbraucher bei der Nachfrage von Frischgemüse besonders sensibel auf die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln. Daher ist die „herbizidfreie Produktion“ ein besonders positives Vermarktungsargument, mit dem sich Produzenten von anderen Wettbewerbern unterscheiden können.

Die physikalische ist ebenso wie die mechanische Beikrautbekämpfung zeit- und kostenintensiv. Mulchfolien bestehen zudem in der Regel aus fossilen Rohstoffen und hinterlassen große Mengen Plastikmüll, der aufgrund seiner starken Verschmutzung häufig einem Recycling nicht zugeführt werden kann. Sie sind überdies sehr windanfällig und müssen daher beschwert oder eingegraben werden. Verfahrensbedingt besteht die Gefahr, dass Folienreste in der Umwelt zurückbleiben. Die auf Basis von Mineralöl hergestellten Mulchfolien durch solche auf der Grundlage biogener Rohstoffe, die gegebenenfalls auch biologisch abbaubar sind, zu ersetzen, ist daher eine nur zum Teil zufriedenstellende Lösung.

Ein neuer verfahrenstechnischer Lösungsansatz liegt in der Verwendung einfach aufzubringender, z. B. spritzbarer Folien bzw. Mulchmaterialien, die biogenen Ursprungs sind und sich nach Ende ihrer Funktionszeit biologisch abbauen. Im Idealfall ist die Beikrautunterdrückende Wirkung des Mulchmaterials ausreichend, um auf weitere Bekämpfungsmaßnahmen verzichten zu können. Gegebenenfalls kann das Mulchmaterial ermöglichen, mechanische Maßnahmen, wie Hacken, mit höherer Schlagkraft durchführen zu können. Ersetzt das Mulchmaterial Mulchfolien, kann das sonst übliche Abrollen und Eingraben der Folie entfallen und ebenso das Abnehmen der Folie nach Ende der Kulturzeit. Es entsteht kein Plastikfolienmüll, der in der Regel nur thermisch verwertet werden kann. Ein positiver Nebeneffekt des Mulchmaterials auf die Evaporation, insbesondere in Trockengebieten, ist zudem denkbar.

3 Zielsetzung

Ziel des geplanten Vorhabens ist es, ein neuartiges Mulchverfahren für den Feldgemüseanbau zu entwickeln, das die Verwendung von Herbiziden überflüssig macht. Dabei soll ein bereits in der Grundzusammensetzung entwickeltes aus zwei Komponenten bestehendes spritzbares Mulchmaterial auf Basis nachwachsender Rohstoffe [28] Anwendung finden. Zunächst sollen mithilfe von Vorversuchen geeignete Rezepturen für das Mulchmaterial ausgewählt und dann iterativ während des Untersuchungszeitraums hinsichtlich ihrer Beikraut unterdrückenden Wirkung, Applizierbarkeit, aeroben Abbaubarkeit und Kosten optimiert werden. Beim Mulchmaterial handelt es sich um eine Zwei-Komponenten-Mischung aus erneuerbaren Rohstoffen. Die zwei Flüssigkeitskomponenten werden kurz vor dem Ausbringen innig miteinander vermengt und mit einem Spritzgerät flüssig ausgebracht. Das Mulchmaterial geliert schnell auf der Erdoberfläche, härtet nach einer vorbestimmbaren Zeitspanne aus und ist damit nicht windanfällig. Durch die Abdeckung sollen Beikräuter in ihrer Keimung gehemmt und bereits gekeimte Pflanzen im weiteren Wachstum gehindert werden. Das Mulchmaterial baut sich im weiteren Verlauf wieder biologisch ab. Die Geschwindigkeit des Abbaus ist von der Rezeptur des Mulchmaterials, aber auch von Umgebungsbedingungen (z. B. Temperatur, Feuchtigkeit) abhängig. Für die streifenförmige Ausbringung des Mulchmaterials in Reihen- und Dammkulturen soll ein Applikationsgerät, z. B. als Anbaugerät für den Traktor, für die Versuche optimiert und eine Machbarkeitsstudie für ein Seriengerät erstellt werden. Das Gesamtverfahren soll in Zusammenarbeit mit gärtnerischen Betrieben entwickelt, optimiert und demonstriert werden. In praxisnahen Feldversuchen werden die Rezeptur des Mulchmaterials, die Schichtdicke, die Kombination des Mulchverfahrens mit mechanischer Beikrautbekämpfung, die Gemüsekulturen, z. B. Reihenkulturen Salat (ca. sechs Wochen Kulturzeit) und Kohlrabi (ca. zwölf Wochen Kulturzeit), die Dammkultur Karotte (ca. zwölf Wochen Kulturzeit) sowie Freilandgurke (16 bis 20 Wochen Kultur- und Erntezeit), die Kulturverfahren sowie der Standort bzw. der Boden-Klima-Raum (z. B. Standort mit geringen Niederschlägen auf Sand- und Lehmboden sowie Standort mit mittleren Niederschlägen auf Lößboden) variiert. Die Prüfung von Wechselwirkungen mit den Kulturarten, mit der Fauna und die Prüfung der Abbaubarkeit sowie eine ökonomische Analyse des neuen Verfahrens zur Beikrautunterdrückung sind ebenfalls Teile der Auswertung der Versuchsergebnisse. Eine Einordnung des neuartigen Mulchverfahrens in den Rechtsrahmen, z. B. hinsichtlich Pflanzenschutzgesetz und Düngeverordnung, soll abschließend diskutiert werden. Über einen projektbegleitenden Beirat mit bundesweiten Vertretern aus Praxis, Beratung und Wissenschaft soll der Wissenstransfer in die Praxis über die üblichen wissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Publikationen hinaus sichergestellt werden.

4 Stand des Wissens

Im Folgenden werden der Kenntnisstand zu spritzbaren Funktionsmaterialien, zu den Verfahren der Beikrautunterdrückung im Gemüsebau sowie zu den Anbauverfahren der im Projekt bearbeiteten Kulturen aufgeführt.

4.1 Beikrautunterdrückung im Feldgemüsebau

Der Anbau von Gemüse auf landwirtschaftlichen Flächen nahm von 2010 bis 2021 in Deutschland um ca. 22 % zu. 2021 wurde im Freiland auf einer Fläche von 129.700 Hektar (eigene Berechnungen nach GARMING 2022 [17], Datenbasis Statistisches Bundesamt) Gemüse angebaut. Dabei wurden rund 14 % der gesamten Gemüseanbaufläche ökologisch bewirtschaftet [17]. Der Trend zum ökologischen Anbau ist stark steigend; die Anbauflächen haben gegenüber 2012 um 72 % zugenommen [17].

Der Beikrautaufwuchs konkurriert mit den jeweiligen Gemüsekulturen um Licht, Wasser und Nährstoffe. Daher ist die Unkrautregulierung im Feldgemüsebau eine wichtige Maßnahme zur Ertrags- und Qualitätssicherung. Zur Beseitigung von Beikräutern werden im konventionellen Feldgemüsebau Herbizide eingesetzt, um zum einen das Saat- bzw. Pflanzbett zu bereiten und zum anderen während der Vegetationszeit die Konkurrenz zwischen Kulturpflanzen und Beikräuter, um Nährstoffe und Wasser zu verringern.

Die chemische Beikrautunterdrückung mit Herbiziden ist im Gemüsebau weit verbreitet. Im Jahr 2020 waren im Gemüsebau 61 Pflanzenschutzmittel gegen Unkräuter zugelassen [4]. In Deutschland (ohne Ausfuhr) wurden 2020 43.088 t Herbizide (Zubereitungen) bzw. 14.619 t Wirkstoff abgegeben (BVL 2022). Die exakte Menge an Herbiziden, die im Gemüseanbau ausgebracht wurde, ist allerdings nicht bekannt. Nähere Informationen geben jedoch die Erhebungen „NEPTUN-Gemüsebau“ des „Netzwerks zur Ermittlung der Pflanzenschutzmittelanwendung in unterschiedlichen landwirtschaftlich relevanten Naturräumen Deutschlands“ (NEPTUN), veröffentlicht vom Julius Kühn-Institut [39]. Herbizide wirken schädigend auf Ökosysteme und können auch die Gesundheit des Menschen beeinträchtigen. Das prominenteste Beispiel hierfür ist der Wirkstoff Glyphosat, der in über 750 Produkten zur Beikrautregulierung enthalten ist. Glyphosat sowie dessen Abbauprodukte stehen im Verdacht, kanzerogen zu wirken [21] [41]. Im Feldgemüseanbau ist der Einsatz von Glyphosat eher selten. Allerdings kommen Wirkstoffe wie beispielsweise Pendimethalin, enthalten im Handelsprodukt Stomp®Aqua, oder Flufenazet, in Cadou® SC, sowie die Wirkstoffe Propyzamid, Aclonifen, Clomazone, Metribuzin, Dimethenamid-P, Bromoxynil und Metazachlor [39] zum Einsatz, die es zu vermeiden gilt. Eine Herbizidbehandlung ist allerdings in der Regel im konventionellen Anbau das kostengünstigste Verfahren zur Unkrautbekämpfung [32].

Eine Möglichkeit der Unkrautbekämpfung im Gemüsebau vor der Saat oder Pflanzung stellt die Bereitung eines „falschen Saatbetts“ dar. Dabei wird zwei bis drei Wochen vor der eigentlichen Bestellung durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen ein Saatbett erstellt, aber nicht weiter bewirtschaftet. Aufgelaufene Beikräuter werden durch die flache Boden-

bearbeitung beseitigt und im Boden schlummernde Beikrautsamen zur Keimung angeregt, um diese dann in einer weiteren Bodenbearbeitungsmaßnahme zu entfernen. Mechanische Unkrautbekämpfung im Bestand kann entweder per Handhacke oder maschinell durchgeführt werden. Im maschinellen Einsatz werden dabei Hackmaschine, Fräse, Striegel und Häufelgeräte verwendet. Bei den mechanischen Verfahren zur Beikrautregulierung ist derzeit ein starker Trend zur Automatisierung bis hin zur Robotik erkennbar. RTK-Technologie (*Real Time Kinematic*) vereinfacht eine exakte Steuerung von Geräten, z. B. entlang von Pflanzenreihen. Zudem ermöglicht Kamertechnik die Verfolgung von Pflanzenreihen sowie die Erkennung von Kulturpflanzen oder auch Beikräutern [24].

Außerdem können Beikräuter physikalisch am Wuchs gehindert werden. Beispiele dafür sind Mulchfolien, wobei auch Mulchvliese und Mulchpapiere eingesetzt werden können. Die mechanische und die physikalische Unkrautbekämpfung sind jedoch zeit- und kostenintensiv. Neben der Unterdrückung von Beikraut bieten Mulchmaterialien einen Schutz vor Verschmutzung und ermöglichen schnellere Erwärmung sowie höhere Wasserhaltefähigkeit im Boden. Mulchfolien bestehen überwiegend aus fossilen Rohstoffen und hinterlassen große Mengen Plastikmüll, der aufgrund seiner starken Verschmutzung häufig einem Recycling nicht zugeführt werden kann. Sie sind zudem sehr windanfällig und müssen daher beschwert oder eingegraben werden. Verfahrensbedingt besteht die Gefahr, dass Folienreste in der Umwelt zurückbleiben. Die auf Basis von Mineralöl hergestellten Mulchfolien durch solche auf der Grundlage biogener Rohstoffe, die gegebenenfalls auch biologisch abbaubar sind, zu ersetzen, ist daher eine nur zum Teil zufriedenstellende Lösung.

4.2 Spritzbare Funktionsmaterialien

Spritzbare Folien bzw. Funktionsschichten wurden beispielsweise für die Gebäudetechnik [29], aber auch für landwirtschaftliche Anwendungen entwickelt. Es wurde z. B. an spritzbaren Silofolien [45] bzw. Siloabdeckmaterialien und an sprühfähigen Mulchfolien für gartenbauliche Freilandkulturen [35] gearbeitet. Die tatsächliche Praxiseignung der Produkte zur Beikrautunterdrückung im Freilandgemüsebau konnte jedoch noch nicht umfassend demonstriert werden. Am Markt verfügbare Produkte sind bisher nicht bekannt.

Die Forschungseinrichtung Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) der australischen Regierung entwickelte ein sprühfähiges, abbaubares Polymer. In Gewächshausversuchen wurde der Einfluss des Materials auf den Wasserhaushalt und die Auswirkungen auf den Keimlingsaufgang in Baumwolle getestet [26]. In einem Feldversuch zum Baumwollanbau wurde die spritzbare, abbaubare Polymermembran in Bezug auf Ertrag, Wasserproduktivität und Bodentemperatur mit einer Kontrollvariante ohne Mulchauflage und mit einer Variante mit einer Abdeckung mit oxo-abbaubarem Kunststoff verglichen [3]. Die grundsätzliche Funktionalität dieses Mulchmaterials im Baumwollanbau wurde nachgewiesen. Außerdem reduziert eine Polymerschicht von 50 g/m² die Verdunstung des Wassers aus dem Boden um bis zu 35 %.

Über den Einsatz von Folien aus biologisch abbaubaren Werkstoffen und deren Einsatz im Gemüsebau berichtete WEBER (2003) [48]. Produktinformationen und eine Umweltbe-

wertung, unter anderem zu abbaubaren Mulchfolien, wurden im Verbundvorhaben „Erstellung von Produktinformationen und eines Kalkulationsprogramms zur Nutzung abbaubarer Mulchfolien sowie die Erstellung einer Ökobilanz für Biokunststofftöpfe und Mulchfolien aus nachwachsenden Rohstoffen“ zusammengestellt [23].

An der Entwicklung und Erprobung multifunktionaler, sprühfähiger und biologisch abbaubarer Folien auf Basis Nachwachsender Rohstoffe im land-, forstwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturpflanzenbau [18] wurde in einem Projektverbund geforscht. In einem Teilprojekt wird eine biologisch abbaubare sprühfähige Mulchfolie aus Nachwachsenden Rohstoffen zur Steigerung der Nachhaltigkeit beim integrierten Pflanzenschutz intensiver gartenbaulicher Freilandkulturen entwickelt. Die Mulchfolie soll unter anderem optisch aktive Eigenschaften besitzen, die auf Insekten abweisend wirken [35]. In einem weiteren Vorhaben der Hochschule Hof wurden verschiedene Folien aus mikrokristalliner Zellulose und Lignin als Füllstoff hergestellt und getestet [33] [46].

Die Fachhochschule Kiel entwickelte eine Abdeckung für Silagen basierend auf nicht modifizierter Stärke hergestellt aus Mais, Weizen oder Gerste und Fruchtwachsen. Mittels Extrusion soll der Stärkeschaum auf das Silo aufgetragen werden [36] [37]. PÉRONNE et al. arbeiteten an einer aufspritzbaren Siloabdeckung, die bis zu 80 % aus Algen besteht. Die Abdeckung soll nach dem Gebrauch mit der Silage verfütterbar sein [34]. Ein von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V. gefördertes Gemeinschaftsprojekt beschäftigte sich mit einer biologisch abbaubaren und sprühfähigen Folie auf Basis Nachwachsender Rohstoffe im landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturpflanzenbau. Verschiedene Substanzgruppen wurden von den Projektpartnern überprüft. So wurde an Mulchfolien auf Basis von Gelatine, Hydroxycellulose, Xanthan, Chitosan und Stärke geforscht. Am vielversprechendsten erwiesen sich Materialmischungen auf Basis der Polysaccharide Xanthan und Chitosan oder mit Hydroxyethylzellulose [16] [18] [30]. Auch in anderen Industriezweigen wird nach biologisch abbaubaren Folien geforscht. Ein Beispiel aus der Verpackungsindustrie ist die Entwicklung und Charakterisierung von Schutzfolien für Fahrzeuge. Hauptbestandteil des Materials ist das Protein Kollagen, das chemisch mit Glyoxal vernetzt wurde. Die faserhaltige Kollagenmasse lässt sich auf die Fahrzeuge aufsprühen und nach Gebrauch durch wasserbasierte warme Lösungen wieder abwaschen [44].

Das Thüringische Institut für Textil- und Kunststoffforschung e. V. entwickelt spritzbare, abbaubare Beschichtungsfilme auf Basis von Polysacchariden [15] [49] [50]. In einem vom BMWi geförderten Forschungsvorhaben wurde an der „Entwicklung biologisch abbaubarer, sprühfähiger Flüssigsilofolie auf Polysaccharidbasis zur Konservierung und Lagerung landwirtschaftlicher Produkte“ gearbeitet [45].

Auch wurde bereits an Methoden gearbeitet, die spritzbares Material nicht biogenen Ursprungs umfassen. Das Patent DE102009049284A1 [9] beschreibt z. B. eine spritzbare Folie bzw. Funktionsschicht und das Verfahren selbst für Anwendungen im Bereich der Gebäudetechnik.

Am Technologie- und Förderzentrum (TFZ) wurde in mehreren Projektphasen [42] [43] [47] eine aufspritzbare Silageabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe [38] entwickelt, die einen gasdichten Abschluss der Silage über mehrere Monate ermöglicht und im gealterten Zustand aerob und anaerob abbaubar ist. Dieses Abdeckverfahren ersetzt eine dreilagige Folienabdeckung und wurde in praxisnahen Versuchen demonstriert. Bei dem Material handelt es sich um eine Zwei-Komponenten-Mischung, die nach Homogenisierung aufspritzt wird, danach schnell geliert und aushärtet.

Am TFZ wurde in einem Forschungsvorhaben „Alternatives Beikrautmanagement im Obst- und Weinbau mit ökologisch unbedenklichen Substanzen und einem alternativen Mulchverfahren auf Basis Nachwachsender Rohstoffe – ABOW“ [28] ein aus zwei Komponenten bestehendes spritzbares Mulchmaterial auf Basis Nachwachsender Rohstoffe entwickelt, das im Weinbau und Obstbau eine Beikraut unterdrückende Wirkung erzielen soll. Neben der Entwicklung und Prüfung von Rezepturen für das Mulchmaterial wurde außerdem ein Prototyp eines Applikationsgeräts unter Berücksichtigung regionaltypischer Bewirtschaftungsformen aufgebaut. Die Eignung des Mulchverfahrens soll in praxisnahen Versuchen über zwei Jahre an verschiedenen Standorten und an unterschiedlichen Kulturen untersucht werden. Die Anforderungen an das neuartige Mulchverfahren für die Anwendung in den Dauerkulturen Wein und Obst unterschieden sich deutlich von den Anforderungen für die Anwendung in den Gemüsekulturen mit kurzen Kulturzeiten [28].

Am Markt sind zwar keine spritzbaren Materialien als Folienersatz bekannt, allerdings sind bereits mehrere Produkte im Bereich der Anspritzbegrünung in Anwendung. Die Firma Internationale Geotextil GmbH (IGG) vertreibt in Deutschland die Komponenten für eine Nassansaat. Dieses Prinzip basiert auf der Vermischung von Zellulosefasern mit einem Bodenfestiger (Polybutadien) und einem Kleber (Polyacrylamid), die durch Anspritzen auf die Fläche gebracht wird. Aufgrund der Klebrigkeit von Polybutadien und Polyacrylamid wird der Boden verdichtet und das Saatgut fixiert. Der Abbau der Klebstoffe erfolgt nach Angaben der Firma sehr langsam, ca. 10–15 % pro Jahr durch die UV-Strahlung der Sonne [25].

Im Gegensatz zu den aufspritzbaren Materialien als Folienersatz sind bereits abbaubare Mulchfolien am Markt, die von einigen Unternehmen vertrieben werden. Diese zersetzen sich jedoch unterschiedlich schnell, je nachdem ob sie z. B. mit Erde bedeckt sind oder nicht. Durch den ungleichmäßigen Abbau resultieren häufig Folienfetzen. Diese Teilstücke bleiben oft ähnlich den konventionellen Plastikfolien für lange Zeit am Feld liegen und sind für den Laien nicht von klassischen Folien zu unterscheiden, was zusätzlich als Imageproblem im Gemüseanbau angesehen wird.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass ein großes Interesse an biologisch abbaubaren Mulchmaterialien und abbaubaren Folien auf Basis Nachwachsender Rohstoffe besteht und diverse Forschungseinrichtungen an Problemlösungen arbeiten. Eine bisher nicht zufriedenstellend gelöste Herausforderung ist die Steuerbarkeit des Abbaus biologisch abbaubarer Folien, die von unterschiedlichen, häufig nicht beeinflussbaren Faktoren (Wasser, Temperatur) abhängig ist. Aus verfahrenstechnischer Sicht ist mit dem Ziel der Beikrautunterdrückung ein Spritzverfahren zur Ausbringung des Materials wünschenswert.

4.3 Anbauverfahren Gemüsekulturen

Aufgrund unterschiedlicher Kulturdauer und Anbauverfahren werden für die Feldversuche im Vorhaben die Gemüsekulturen Kopfsalat, Kohlrabi, Karotte und Einlegegurke ausgewählt und im Folgenden näher beschrieben.

In Deutschland wurde im Jahr 2021 auf 1.317 ha **Kopfsalat** kultiviert und im Durchschnitt der Jahre 2019 bis 2021 wurden 327 dt Kopfsalat je Hektar Anbaufläche geerntet [5]. Üblicherweise wird Kopfsalat in Beeten in Reihen gepflanzt. Der Anbau erfolgt über das Jahr zu mehreren Zeitpunkten, „in Sätzen“. Kopfsalat hat eine kurze Kulturdauer von sechs Wochen im Sommer und ca. acht Wochen bei den frühen Sätzen im März bis April. Je nach Saison erfolgt eine Abdeckung mit Vlies zur Verfrühung der Ernte. Die Wasserversorgung erfolgt bei Bedarf in der Regel durch Überkopfberegnung. Zur Beikrautbekämpfung bei der Beetvorbereitung wird im konventionellen Anbau üblicherweise ein Herbizid eingesetzt. Während der Kulturzeit wird der Bereich zwischen den Reihen durch Hacken unkrautfrei gehalten. Die Ernte von Kopfsalat erfolgt per Hand.

2021 wurde in Deutschland auf 1.867 ha **Kohlrabi** erzeugt. Der durchschnittliche Ertrag in den Jahren 2019 bis 2021 betrug 316 dt /ha [5]. Der Anbau erfolgt in Reihen in Beeten. Kohlrabi wird in mehreren Sätzen gepflanzt und hat eine mittlere Kulturdauer von zwölf Wochen. Zur Verfrühung werden die Beete mit Vlies abgedeckt. Beregnet wird meist über Kopf. Herbizide werden zur Beetvorbereitung eingesetzt. Während der Kulturzeit werden die Flächen zwischen den Reihen mechanisch gehackt. Kohlrabi wird mit der Hand geerntet.

Karotten wurden 2021 auf einer Fläche von 14.923 ha angebaut. Der Dreijahresdurchschnittsertrag (2019 bis 2021) belief sich auf 601 dt/ha [5]. Üblicherweise werden Karotten auf Dämmen gesät. Die Beregnung erfolgt über Kopf. Zur Beikrautunterdrückung werden in der Regel Herbizide eingesetzt. Geerntet wird maschinell mit einem Klemmbandroder.

In Deutschland wurden 2021 auf einer Anbaufläche von 1.887 ha [5] **Einlegegurken** angebaut. Der durchschnittliche Ertrag im Dreijahresmittel von 2019 bis 2021 betrug 899 dt/ha. Einlegegurken werden in Direktsaat in schwarze Mulchfolie gesät. Durch die Folie wird die Feuchtigkeit besser im Boden gehalten, der Boden erwärmt sich schneller und der Unkrautdruck wird durch dieses Verfahren verringert. Die Pflanzen werden zur Verfrühung häufig mit Vlies abgedeckt. Eine Bewässerung erfolgt nach Bedarf über unter der Folie verlegte Tropfschläuche. Eine Herbizidbehandlung zwischen den Folienstreifen erfolgt üblicherweise einmal im frühen Wachstumsstadium. Die Ernte der Einlegegurken beginnt Mitte/Ende Juni und muss je nach Witterung und erwünschter Sortierungsgröße alle zwei bis vier Tage per Hand mithilfe eines sogenannten Gurkenfliegers erfolgen [19].

5 Material und Methoden

5.1 Rezeptur des Mulchmaterials

Die Grundrezeptur wurde im Forschungsvorhaben Alternatives Beikrautmanagement im Obst- und Weinbau mit ökologisch unbedenklichen Substanzen und einem alternativen Mulchverfahren auf Basis Nachwachsender Rohstoffe „ABOW“ [28] entwickelt und nach Vorversuchen für das Vorhaben MuNaRo zunächst ohne Anpassungen übernommen. Das Mulchmaterial besteht aus den zwei Komponenten A und B, wobei die Komponente A im weiteren Berichtsverlauf als „Ölphase“ und die Komponente B als „Wasserphase“ bezeichnet wird.

Tabelle 1: Rezeptur des Mulchmaterials

Komponente	Bestandteil	Funktion	Anteil in Masse-%
A	Rapsöl	Basis	30,8
	Natriumalginat	Geliermittel	1,3
	Calciumsulfat	Gelierhilfsmittel	1,5
	Zellulosefasern	Füllstoff	2,4
B	Stärke	Bindemittel	12,5
	Wasser	Lösungsmittel	45,6
	Glycerin	Weichmacher	4,6
	Natriumphosphat	Steuerung der Gelierung	0,3
	Natriumbenzoat	Konservierungsmittel	1,1
	Sorbitol	Feuchthaltemittel	2,3

Als Geliermittel wird Natriumalginat und als Gelierhilfsmittel Calciumsulfat eingesetzt. Um die Geschwindigkeit des Gelierprozesses zu steuern, wird Natriumphosphat verwendet. Der Zusatz von Natriumbenzoat soll die Schimmelbildung unterdrücken. Natriumbenzoat ist als Lebensmittelzusatzstoff (E 211) deklariert und wird zur Konservierung von Lebensmitteln, aber auch von Kosmetika eingesetzt. Alle verwendeten Rezepturkomponenten sind aus Lebensmittelsicht unbedenklich. Zumindest die Bestandteile Rapsöl, Stärke, Zellulosefaser und Glycerin werden als „Nachwachsende Rohstoffe“ eingeordnet. Sie machen in Summe über 50 Masseprozent der Rezeptur aus; wird der „erneuerbare Rohstoff“ Wasser als Bestandteil der Rezeptur noch hinzugerechnet, erhöht sich der Anteil auf nahezu 96 Masseprozent erneuerbare Bestandteile [28].

5.2 Applikationstechnik

5.2.1 Applikationsgerät SAM für Reihenkulturen

Im Rahmen des Projekts ABOW wurde das Applikationsgerät SAM (System für die Applikation von Mulchmaterial) für Versuche im Obst- und Weinbau entwickelt [28] und im Rahmen des Projekts MuNaRo für den Einsatz in Reihenkulturen adaptiert.

Der Rahmen des Geräts wurde aus Aluminiumprofilen gefertigt und das Gerät für den Heck- oder Frontanbau konzipiert. Für die Applikation in Gemüsekulturen wurde eine Ausbringung in bis zu drei Reihen umgesetzt. Die Energieversorgung des Applikationsgeräts wird über ein Stromaggregat mit einer Leistung von 3 kW gewährleistet. Die Förderung der beiden Komponenten A und B erfolgt über zwei Schlauchpumpen. Mithilfe zweier Frequenzumformer sind die Pumpendrehzahlen stufenlos regelbar. Die Steuerung erfolgt über einen Touchscreen am Schaltschrank und eine in LabVIEW programmierte Software. Das Gerät wiegt mit vollen Tanks ca. 700 kg. Den Aufbau des Geräts zeigt Abbildung 1.

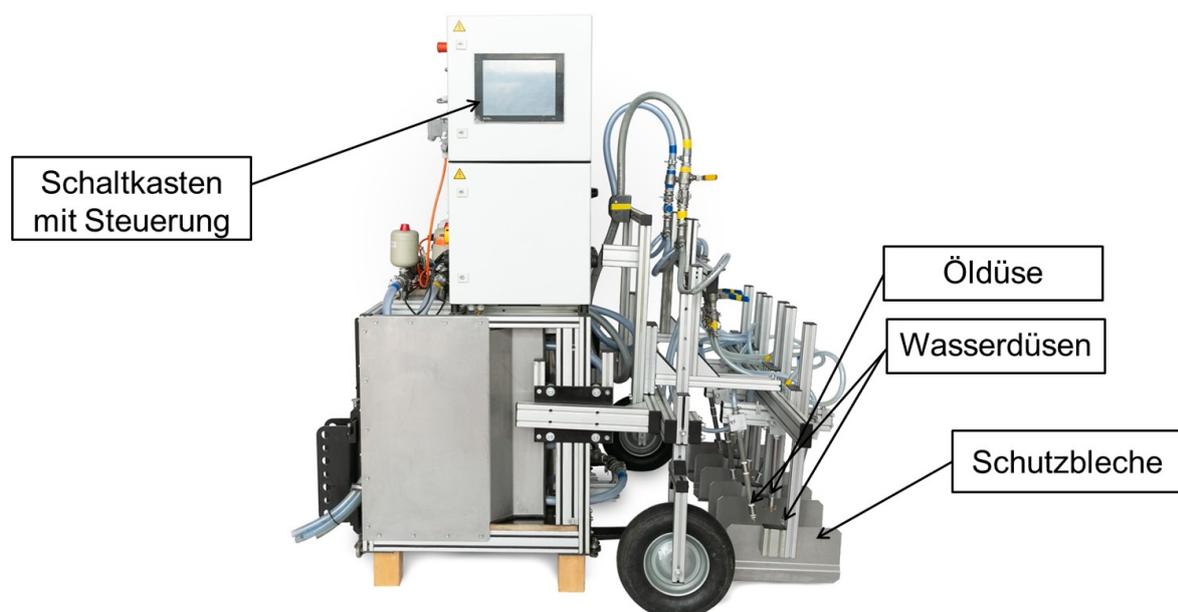


Abbildung 1: System zur Applikation von Mulchmaterial (SAM) im Gemüsebau in der Seitenansicht

Die Spurweite der Tasträder ist an die Schlep্পerspур anpassbar. Der mögliche vertikale Verschiebungsspielraum der Halterung für die Düsensysteme beträgt 100 cm. Dabei ist eine horizontale Verschiebung bis maximal 75 cm möglich. Jedes Düsen-set ist einzeln durch Hähne absperrbar. Ein Düsen-set besteht aus zwei Düsen – eine für die Ausbringung der Wasserkomponente und eine für die Ölkomponente – und die Vermischung der Komponenten erfolgt im Sprühstrahl. Zur Abschirmung der empfindlichen Kulturpflanzen wurden Schutzbleche angebracht, die ebenfalls verstellbar sind. Durch die Verstellmög-

lichkeiten ist das Gerät individuell an die Damm- und Beetkulturen anpassbar. In Abbildung 2 ist links das Applikationsgerät in der Rückansicht gezeigt sowie rechts beispielhaft im Einsatz in der Kultur Kopfsalat abgebildet.



Abbildung 2: Applikationsgerät SAM für Reihenkulturen in der Rückansicht (links), SAM im Feldeinsatz beim Ausbringen von Mulchmaterial zwischen Kopfsalatreihen (rechts)

Im Vorhaben wurden unterschiedliche Düsen für das Applikationsgerät getestet. In umfangreichen Versuchsreihen wurden die Durchflussmengen der beiden Materialkomponenten unter verschiedenen Einflüssen bestimmt.

5.2.2 Machbarkeitsstudie eines praxisnahen Applikationsgeräts für Reihenkulturen

Auf Basis der Erfahrungen aus dem ersten Versuchsjahr mit dem Applikationssystem SAM erstellten Amazone und Schmotzer eine Machbarkeitsstudie für ein praxisnahes Applikationsgerät. Der Prototyp wurde im Winter 2021/2022 aufgebaut, erprobt sowie optimiert und kam im zweiten Versuchsjahr 2022 bei den Feldversuchen zum Einsatz.

In ersten Testreihen wurden die Ausbringmengen für die beiden Komponenten A und B unter verschiedenen Einflüssen ermittelt und die Geräteeinstellungen für die Praxisversuche optimiert. In Abstimmung mit dem Projektpartner Amazone wurde die Düse AGRO-TOP APG als am besten geeignete ausgewählt.

5.3 Vorversuche zur Ermittlung des optimalen Applikationszeitpunkts

Bei den Verfahren zur Beikrautunterdrückung mit dem Mulchmaterial in der Reihe muss das Material zuerst ausgebracht werden und erst im Anschluss wird die Kultur gesät oder gepflanzt. Dabei ist der richtige zeitliche Abstand zwischen Applikation und Saat oder Pflanzung entscheidend, da die Mulchschicht ansonsten zu stark beschädigt werden könnte. Um den optimalen Saat- bzw. Pflanzzeitpunkt zu bestimmen, wurde Mulchmaterial in den Schichtdicken 1 und 3 mm auf Erde in Anzuchtboxen gespritzt. In den Boxen wurde Erde mit unterschiedlicher Struktur (feinkrümelig, grobkrümelig, locker und nachverdichtet) sowie unterschiedlicher Bodenfeuchte (feucht und trocken) vorbereitet. Die Boxen lagerten bei den zwei Temperaturen 10 °C und 20 °C, um die Jahreszeiten Frühjahr und Sommer zu simulieren. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der eingestellten Parameter.

Tabelle 2: Versuchsvarianten zum optimalen Applikationszeitpunkt vor Saat oder Pflanzung in das Mulchmaterial

Variante Nr.	Bodenzustand	Bodenfeuchte vor Applikation	Durchschnittstemperatur bei Lagerung in °C
Schichtdicke 3 mm			
3.1	feinkrümelig und nachverdichtet	feucht	10
3.2	feinkrümelig und nachverdichtet	feucht	20
3.3	feinkrümelig und nachverdichtet	trocken	10
3.4	feinkrümelig und nachverdichtet	trocken	20
3.5	grobkrümelig und locker	feucht	10
3.6	grobkrümelig und locker	feucht	20
3.7	grobkrümelig und locker	trocken	10
3.8	grobkrümelig und locker	trocken	20
Schichtdicke 1 mm			
1.1	feinkrümelig und nachverdichtet	feucht	10
1.2	feinkrümelig und nachverdichtet	feucht	20
1.3	feinkrümelig und nachverdichtet	trocken	10
1.4	feinkrümelig und nachverdichtet	trocken	20
1.5	grobkrümelig und locker	feucht	10
1.6	grobkrümelig und locker	feucht	20
1.7	grobkrümelig und locker	trocken	10
1.8	grobkrümelig und locker	trocken	20

5.4 Funktionalität des Mulchverfahrens

Die Funktionalität des Mulchverfahrens wird an erster Stelle anhand seiner Beikraut unterdrückenden Wirkung untersucht. Zusätzlich werden der Ertrag und die Beschaffenheit der Gemüsekulturen dokumentiert. Darüber hinaus werden Rückstände des Mulchmaterials auf und im Boden bonitiert sowie die Abbaubarkeit des Materials unter aeroben Bedingungen unter Laborbedingungen getestet.

Das entwickelte Verfahren mit dem spritzbaren Mulchmaterial ist ein komplexes System, das von vielen Faktoren beeinflusst werden kann. Abbildung 3 zeigt den Ertragsanbau von Gemüse modellhaft als Input-Output-System mit den spezifischen Eingangsgrößen, Einflussfaktoren und Zielgrößen.

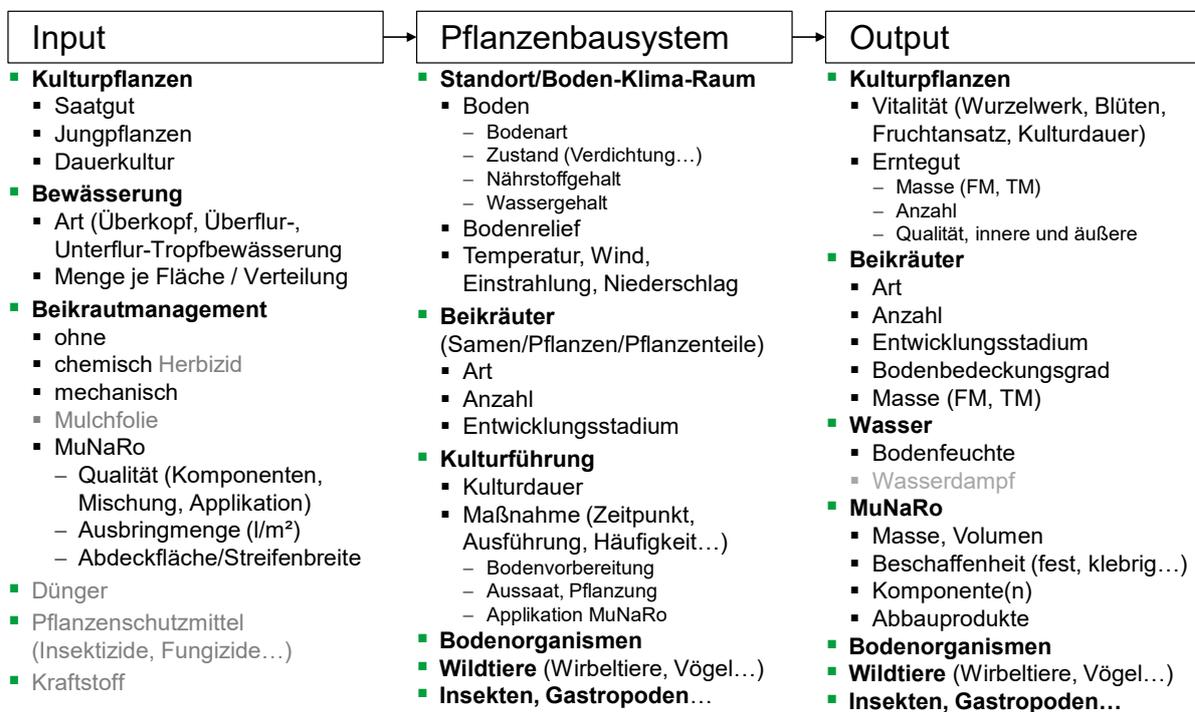


Abbildung 3: Systemmodell der Untersuchungen zum Beikrautmanagement im Freilandgemüsebau im Vorhaben MuNaRo – Eingangsgrößen, Einflussfaktoren und Zielgrößen (Schriftfarbe Hellgrau: Größen, die nicht näher untersucht werden)

5.4.1 Beikrautbonitur durch Fotodokumentation mithilfe eines Fotorahmens

Bei der Beikrautbonitur wird ein Zählrahmen (Maße 15 cm × 23 cm) in Anlehnung an den Göttinger Zähl- und Schätzrahmen eingesetzt, um die Größe der fotografierten Bildausschnitte gleich zu halten. Am Foto-Schätzrahmen ist eine Kamerahalterung mit integrierter Wasserwaage angebracht. Für die Auswertung werden sieben Fotos pro Parzelle angefertigt, wodurch eine Fläche von insgesamt 0,242 m² dokumentiert wird. Die Fotodokumentation wurde üblicherweise im zweiwöchigen Rhythmus durchgeführt.

Für die Quantifizierung der Beikraut unterdrückenden Wirkung wird der Bodenbedeckungsgrad herangezogen. Er beschreibt anhand einer Fotografie das Verhältnis grüner Pixel zu nicht grünen Pixeln in Prozent. Die Auswertung des Grünanteils erfolgt mithilfe der Fotosoftware Fiji. Aus sieben Bildern wird ein Mittelwert für den Bodenbedeckungsgrad berechnet. Da insbesondere bei Kohlrabi und Einlegegurke häufig Blätter der Kulturarten in die Boniturfläche hineinragen, wird bei diesen Kulturen nicht ausschließlich der Bodenbedeckungsgrad, sondern auch die Anzahl Beikräuter je Fläche ermittelt und auf eine Anzahl bezogen auf einen Quadratmeter hochgerechnet.

Da sich der Bodenbedeckungsgrad nicht immer als aussagekräftig erwiesen hat, wurde insbesondere im Versuchsjahr 2022 zur Beikrautbonitur auch die Anzahl der Beikräuter in unterschiedlichen Wuchsstadien ermittelt. Besonderheiten bei der Beikrautbonitur im Versuch mit Einlegegurken sind in Abschnitt 5.5.6 beschrieben.

5.4.2 Ernteertrag

Der Ernteertrag wird bei Kopfsalat aus der Ernte von 42 Köpfen je Parzelle bestimmt. Dabei erfolgt nach Erfassung des Gesamtgewichts der 42 Köpfe die Errechnung des durchschnittlichen Kopfgewichts. In der Versuchsauswertung Kohlrabi wird die marktfähige Frischmasse aus 24 Knollen je Parzelle bestimmt. In der Kultur Karotte wird die marktfähige Frischmasse des Ernteguts von 6 m Dammlänge je Parzelle ausgewogen. Im Versuch Einlegegurke konnte aus organisatorischen Gründen, während der betrieblichen Bearbeitung mit dem Gurkenflieger keine Ertragsermittlung durchgeführt werden.

Die Einschätzung der Marktfähigkeit des Gemüses erfolgte anhand der Standards der Landesanstalt für Wein- und Gartenbau [2] sowie in Rücksprache mit den Versuchsbetrieben.

5.5 Feldversuche

Die Versuche wurden an vier Gemüsekulturen an zwei Standorten in Bayern durchgeführt. Variiert wurden der Zeitpunkt der Applikation, die Schichtdicken, die Streifenbreiten sowie der Applikationsbereich (zwischen den Reihen, in der Reihe).

5.5.1 Versuchsstandorte

Die Feldversuche wurden in zwei unterschiedlichen Boden-Klima-Räumen [40] durchgeführt. Die Lage der Versuchsbetriebe in diesen Boden-Klima-Räumen illustriert Abbildung 4.

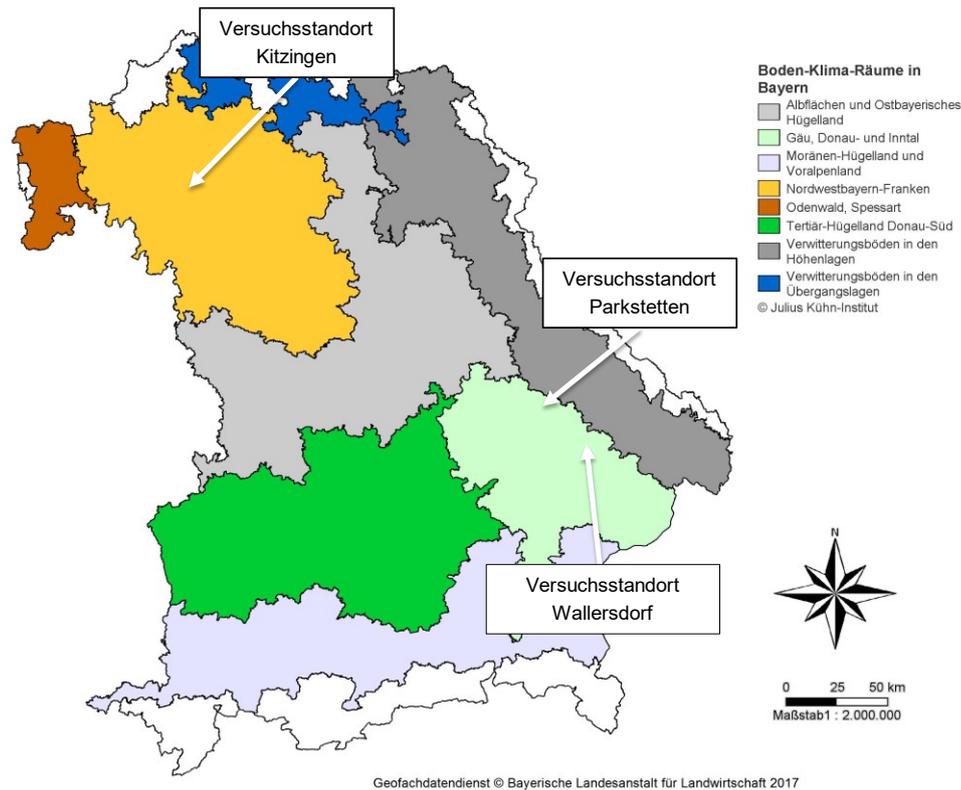


Abbildung 4: Versuchsstandorte in zwei unterschiedlichen Boden-Klima-Räumen [39] [40]

Der Betrieb am Standort Unterfranken befindet sich im Boden-Klima-Raum Nordwestbayern-Franken, während die Betriebe am Standort Niederbayern im Raum Gäu, Donau- und Inntal liegen.

Der unterfränkische Betrieb befindet sich auf den Fränkischen Platten, während die niederbayerischen Betriebe in der Gäubodenregion im Gebiet Tertiärhügelland, Iller-Lech-Platte und Donautal liegen. Die mittlere Temperatur auf den Fränkischen Platten liegt bei 8,8 °C (1951–2018) und die durchschnittliche Niederschlagsmenge bei 663 mm. Die nutzbare Feldkapazität liegt an knapp 80 Tagen im Jahr unter 30 %, wodurch Trockenstress in den Kulturen hervorgerufen wird. Die durchschnittliche Temperatur im Tertiärhügelland, der Iller-Lech-Platte und Donautal, Standort der Betriebe in Niederbayern, liegt mit 8,3 °C (1951–2018) etwas niedriger, während die Niederschläge mit 808 mm über denen im Gebiet der fränkischen Platten liegen. Die nutzbare Feldkapazität ist an 21 Tagen im Jahr unter 30 % [1].

Laut VDLUFA-Bodenuntersuchung ist die Bodenart am Standort Kitzingen als lehmiger Sand bis lehmiger Schluff einzuordnen. Am Standort Parkstetten ist der Boden als stark sandiger Lehm bis Lehm zu beschreiben, während der Boden am Versuchsstandort Wallersdorf aus sandigem Lehm bis Ton besteht.

Im Jahr 2021 wurden am Versuchsstandort Kitzingen insgesamt fünf Versuche durchgeführt, zwei Versuche mit Kopfsalat, zwei mit Kohlrabi und einer mit Karotten. In Niederbayern auf dem Versuchsstandort Parkstetten, wurden Versuche mit zwei Sätzen Kopfsalat und einem Satz Kohlrabi angelegt. Auf dem Betrieb am Standort Wallersdorf wurde jeweils ein Versuch in der Kultur Karotte und in der Kultur Einlegegurke durchgeführt.

2022 erfolgte in Kitzingen je ein Versuch mit Kopfsalat und Karotte, in Parkstetten ein Versuch mit Kopfsalat und in Wallersdorf ein Versuch mit Karotte und Einlegegurke.

5.5.2 Versuchsanlage

Die Versuche wurden mit vier Wiederholungen je Variante randomisiert angelegt. Die Anordnung der Parzellen erfolgte als Block- oder Streifenanlage. Es wurde darauf geachtet, dass die Versuchsflächen keine Hangneigung aufweisen und von außen nicht beschattet sind.

Verglichen werden die Versuchsvarianten mit der Nullvariante „Variante 1“, ohne jegliche Beikrautbekämpfung, und der Kontrolle „Variante 2“, betriebsübliche Beikrautbekämpfung, z. B. mit Herbizideinsatz.

5.5.3 Kopfsalat

Versuchsjahr 2021

Ziel der Versuche in der Kultur Kopfsalat war es, den Einfluss der Schichtdicke auf die Beikraut unterdrückende Wirkung des Mulchmaterials zu ermitteln. Tabelle 3 beschreibt die Versuchsvarianten, die für Kopfsalat und Kohlrabi, siehe auch Abschnitt 5.5.3, übereinstimmen.

Tabelle 3: Versuchsvarianten Kopfsalat und Kohlrabi im Versuchsjahr 2021 in Niederbayern und Unterfranken

Variante	Beschreibung
1	Nullvariante – ohne Beikrautregulierung
2	Kontrolle – betriebsübliche Beikrautbekämpfung mit Herbizideinsatz
3	MuNaRo, Schichtdicke 1 mm, Streifenbreite 20 cm, zwischen den Reihen nach der Pflanzung
4	MuNaRo, Schichtdicke 2 mm, Streifenbreite 20 cm, zwischen den Reihen, nach der Pflanzung

Niederbayern Sätze 1 und 2

Die Versuchsstandorte für die beiden Sätze befinden sich nahe Parkstetten-Scheften. Die Vorkultur war Weizen mit Leguminosen als Zwischenfrucht. Auf den benachbarten Flächen von Satz 1 wurden Salat und Soja angebaut, von Satz 2 Salat. Als Problembeikräuter wurden vom Betriebsleiter Melde (*Atriplex*) und weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*) angegeben, vereinzelt gäbe es Distelnester.

Eine Parzelle besteht aus einem 1,40 m breiten Beet auf einer Länge von 13 m, wie in Abbildung 5 dargestellt.

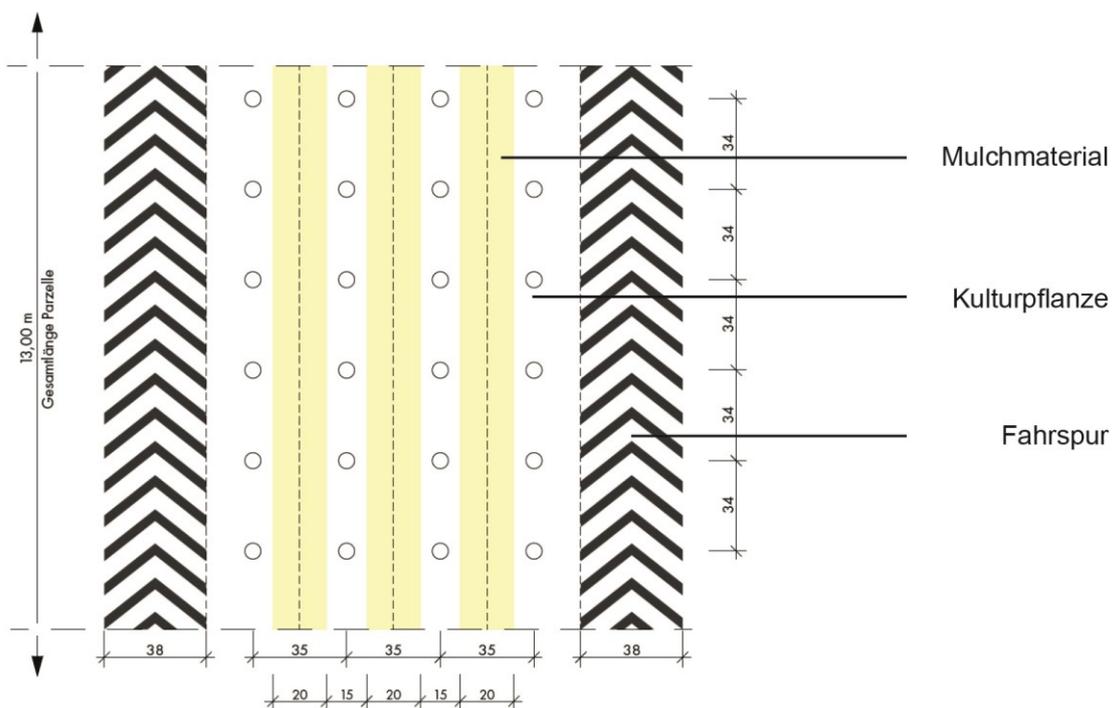


Abbildung 5: Beetaufbau und Applikationsbereiche für Kopfsalat und Kohlrabi am Standort Niederbayern

Unterfranken Sätze 1 und 2

Der Versuchsstandort für beide Sätze befindet sich nahe Albertshofen bei Kitzingen. Die Vorkultur von Satz 1 war Karotte, auf den benachbarten Flächen wurden unterschiedliche Salatsorten angebaut. Satz 2 wurde nach Kohlrabi angebaut, auf den benachbarten Flächen wurden Kopfsalat und Kohlrabi gepflanzt. Das dominierende Unkraut auf der Versuchsfläche war nach Angaben des Betriebsinhabers das Jakobs-Kreuzkraut (*Jacobaea vulgaris*), auch Greiskraut genannt.

Eine Parzelle besteht aus einem 1,60 m breiten Beet auf einer Länge von 13 m wie in Abbildung 6 dargestellt.

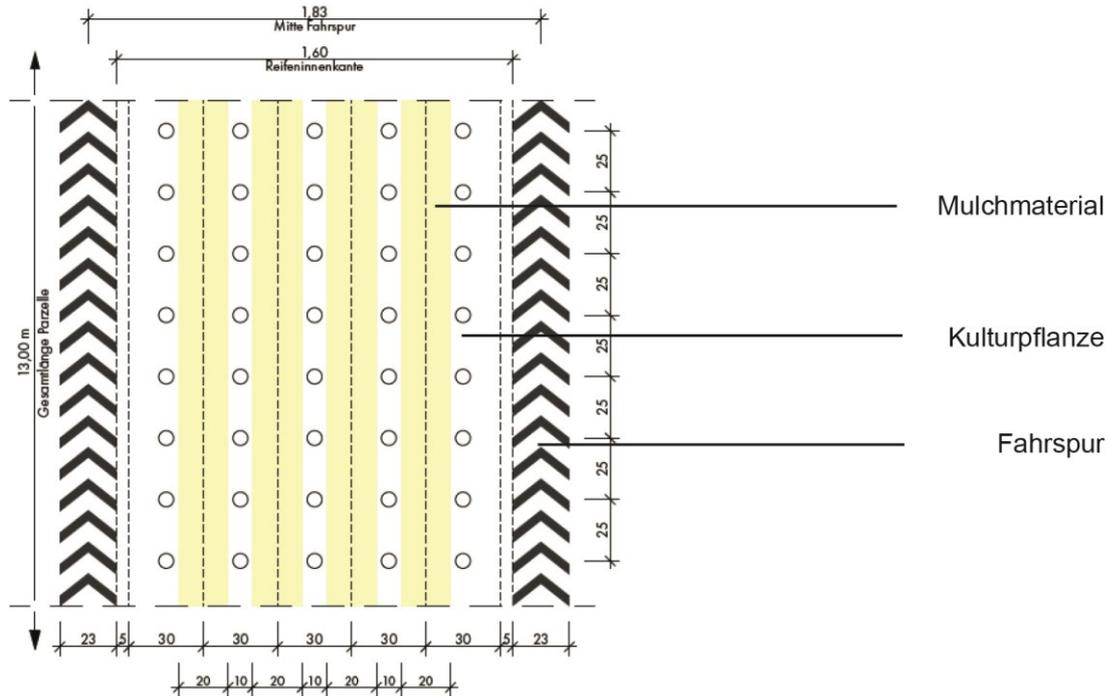


Abbildung 6: *Beetaufbau und Applikationsbereiche für Kopfsalat und Kohlrabi am Standort Unterfranken*

Versuchsjahr 2022

Tabelle 4 gibt einen Überblick zu den Versuchsvarianten im Jahr 2022. Im Unterschied zum Versuchsjahr 2021 wurde 2022 das Mulchmaterial in der Reihe einen Tag vor der Pflanzung aufgebracht. Zwischen den Reihen war Hacken vorgesehen, um dort auflaufende Beikräuter zu bekämpfen. Für die Pflanzung der Salatsetzlinge in das Mulchmaterial wurde eine Becherpflanzmaschine verwendet. Zum Einsatz kam eine Maschine des Herstellers Hortech vom Typ OVER-4-Plus mit Fahrrahmen zur Ablage in vier Pflanzreihen (Abbildung 7). Die Maschine hat Pflanzbecher, die in den Boden einstecken und dann die Jungpflanzen absetzen. Zum Schluss drücken Rollen die Jungpflanzen fest an, um den Bodenschluss herzustellen. Die Setzlinge wurden in das bereits zuvor ausgebrachte und erhärtete Mulchmaterial eingesetzt. Bei der Ablage der Setzlinge mit der Pflanzmaschine durchsticht der Becher die Mulchschicht, schiebt das Mulchmaterial zur Seite und legt die Salatpflanzen ab.

Tabelle 4: Versuchsvarianten Kopfsalat im Versuchsjahr 2022 in Niederbayern und Unterfranken

Variante	Beschreibung
1	Nullvariante – ohne Beikrautregulierung
2	Kontrolle – betriebsübliche Beikrautbekämpfung mit Herbizideinsatz
3	MuNaRo, Schichtdicke 3 mm, Streifenbreite 20 cm in der Reihe
4	MuNaRo, Schichtdicke 1,5 mm, Streifenbreite 20 cm in der Reihe
5	MuNaRo, Schichtdicke 3 mm, Streifenbreite 12 cm in der Reihe



Abbildung 7: Pflanzmaschine Hortech OVER (links); Detailaufnahme des Pflanzaggregats mit geöffnetem Pflanzbecher beim Ablegen der Salatpflanze und Andruckrollen (rechts)

Niederbayern 2022

Der Standort befindet sich östlich der Bundesstraße 20 im Gemeindebereich Parkstetten. Auf der Fläche wurde zuvor bereits Salat kultiviert, das Feld war nicht beschattet und wies keine Hangneigung auf.

Eine Parzelle besteht aus einem 1,60 m breiten Beet auf einer Länge von 11 m. Insgesamt wurden fünf Varianten mit je vier Wiederholungen angelegt. Hieraus resultierten 20 Parzellen, die in zwei Beeten mit jeweils zehn Parzellen angelegt wurden. Die allgemeinen Kulturparameter sind in Anhang 5 zu finden.

Um einen Einfluss des Mulchmaterials auf Gastropoden abzuschätzen, wurden vor und nach der Applikation jeweils über Nacht Holzbretter ausgelegt, um Anzahl und Verteilung der Schnecken in den Parzellen und damit einen möglichen Einfluss des Mulchmaterials

auf Schnecken festzustellen. In vier mit Mulchmaterial behandelten Parzellen und in je zwei Parzellen der Null- und Kontrollvariante wurden Bretter ausgelegt. Am Morgen des darauffolgenden Tages wurden die Bretter hinsichtlich Schneckenspuren untersucht.

Spezielle problematische Beikräuter wurden vom Betriebsleiter für die Fläche nicht angegeben.

Unterfranken 2022

Der Standort befindet sich östlich von Albertshofen am Lohweg. Eine Vorkultur gab es nicht, der Acker lag brach. Als Nachkultur war Winterweizen vorgesehen. Auf den Nebenfächern wurden Kopfsalat und Karotten angebaut. Eine Beschattung oder Hangneigung war nicht gegeben. Eine Parzelle ist 1,60 m breit und weist eine Länge von 11 m auf, in der Parzelle waren jeweils vier Pflanzreihen angelegt. Jeweils fünf Parzellen wurden zusammenliegend auf insgesamt vier Beete verteilt. Laut dem Betriebsleiter war Amaranth (*Amaranthus*) das Problemkraut auf der Versuchsfläche.

Die allgemeinen Kulturdaten sind in Anhang 6 zu finden.

Zur Ernte wurden an allen Standorten aus jeder Parzelle mittig 42 Kopfsalate entnommen, die beiden äußeren Pflanzreihen blieben stehen, um Randeffekte weitgehend auszuschließen. Das Wachstum der Salatköpfe wird mithilfe von Fotos dokumentiert. Alle geernteten Kopfsalate werden gewogen und ein Gesamtgewicht ermittelt. Das Erntegut wurde zudem nach Marktfähigkeit sortiert. Nur Salate mit mindestens 400 g Frischgewicht sind nach den Anforderungen des Versuchsbetriebs in Niederbayern marktfähig, beim Betrieb in Unterfranken erst ab 500 g. Die Bonitur nach Fülle, Geruch, Kopfbildung, Kopffestigkeit, Kopfschluss, Farbe, Sonnenbrand, Salatfäule, Falschem Mehltau, Trockenrand, Innenbrand und Blattläusen wurde stichprobenartig vor der Ernte in allen Parzellen durchgeführt und bewertet.

5.5.4 Kohlrabi

Versuche in der Kultur Kohlrabi wurden nur im Versuchsjahr 2021 durchgeführt. Da die Kulturführungen bei Kohlrabi und Kopfsalat identisch sind, wurden 2022 die Untersuchungen auf die empfindlichere Kultur Kopfsalat fokussiert.

Niederbayern Satz 1

Der Beetaufbau, die Applikationsbereiche sowie die Versuchsvarianten sind in Abbildung 5 und Tabelle 3 beschrieben. Grundsätzlich ist der Aufbau analog zu den Salatversuchen im Jahr 2021.

Der Standort befindet sich bei Parkstetten im Ortsteil Scheften. Die Vorkultur war Weizen mit Leguminosen als Zwischenfrucht. Auf der benachbarten Fläche wurde Kohl angebaut, am nördlichen Ende war ein Feldweg, hinter dem der Bach Kinsach verlief.

Die spezifischen Kulturdaten für den Versuch Kohlrabi am Standort Niederbayern sind in Anhang 7 dokumentiert.

Unterfranken Satz 1

Die Versuchsvarianten, der Beetaufbau und die Applikationsbereiche sind dem Anbau von Kopfsalat in Unterfranken entsprechend, siehe Abbildung 6 und Tabelle 3. Für den frühen Anbau ist eine Vliesabdeckung in Kohlrabi üblich.

Der Versuchsstandort liegt nahe Albertshofen bei Kitzingen. Die Vorkultur war Karotte. Auf den benachbarten Flächen wurden unterschiedliche Salatsorten angebaut.

Die spezifischen Kulturdaten für den Versuch Kohlrabi in Unterfranken Satz 1 sind in Anhang 8 dokumentiert.

Unterfranken Satz 2

Die Versuchsvarianten, der Beetaufbau und die Applikationsbereiche sind in Abbildung 6 und Tabelle 3 beschrieben. Der Standort befindet sich bei Albertshofen. Die Vorkultur war nicht bekannt. Das Feld war umgeben von Wegen, nach Süden schloss sich eine Wiese mit leichter Erhebung an. Die spezifischen Kulturdaten für den Versuch Kohlrabi Unterfranken Satz 2 sind in Anhang 9 dokumentiert.

5.5.5 Karotte

Die Versuchsvarianten in der Kultur Karotte im Versuchsjahr 2021 werden in Tabelle 5 und für das Jahr 2022 in Tabelle 6 beschrieben.

Tabelle 5: Versuchsvarianten Karotte im Versuchsjahr 2021 an den Standorten Niederbayern und Unterfranken

Variante	Beschreibung
1	Nullvariante – ohne Beikrautregulierung
2	Kontrolle – betriebsübliche Beikrautbekämpfung mit Herbizideinsatz
3	MuNaRo, Schichtdicke 3 mm, MuNaRo an der Dammseite
4	MuNaRo, Schichtdicke 2 mm, MuNaRo an der Dammseite

Tabelle 6: Versuchsvarianten Karotte im Versuchsjahr 2022 an den Standorten Niederbayern und Unterfranken

Variante	Beschreibung
1	Nullvariante – ohne Beikrautregulierung
2	Kontrolle – betriebsübliche Beikrautbekämpfung mit Herbizideinsatz
3	Unterfranken: MuNaRo, Schichtdicke 1 mm, MuNaRo an der Damm <u>seite</u> Niederbayern: MuNaRo, Schichtdicke 1 mm, MuNaRo an der Damm <u>krone</u>
4	Unterfranken: MuNaRo, Schichtdicke 2 mm, MuNaRo an der Damm <u>seite</u> Niederbayern: MuNaRo, Schichtdicke 2 mm, MuNaRo an der Damm <u>krone</u>

Niederbayern Satz 1

Der Standort für den Karottenversuch befindet sich nahe Wallersdorf, südlich des Ortsteils Haidfing. Die Vorkultur war Körnermais. Auf den angrenzenden Flächen wurden Kartoffeln und Zwiebeln gepflanzt.

Eine Parzelle umfasst zwei Karottendämme mit einer Breite von 1,50 m und einer Länge von 13 m, wie in Abbildung 8 dargestellt.

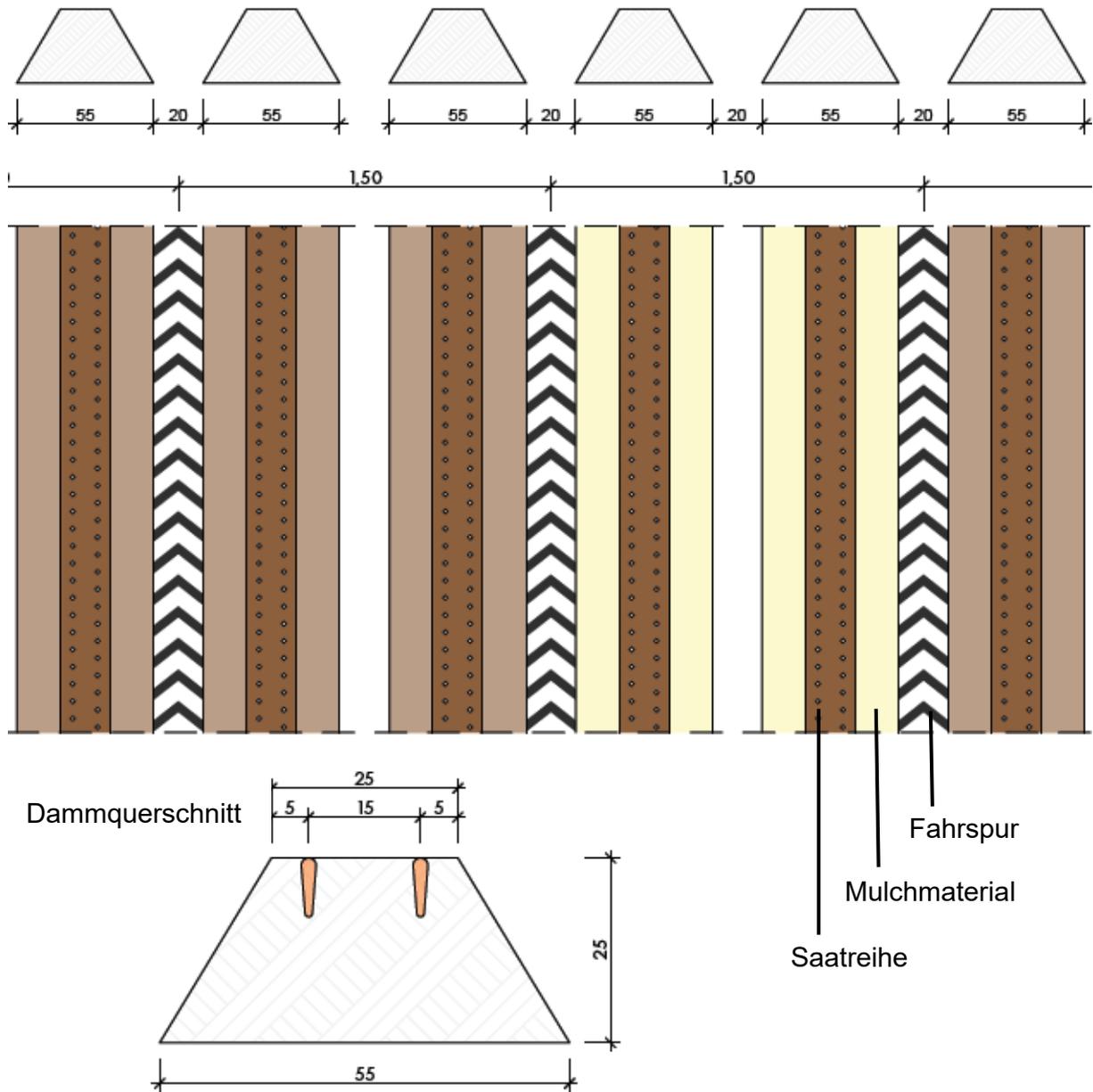


Abbildung 8: Parzellen- und Dammaufbau sowie Applikationsbereiche im Versuch Karotte am Standort Niederbayern

Die spezifischen Kulturdaten für den Versuch Karotte am Standort Niederbayern sind in Anhang 10 dokumentiert.

Auf der Fläche wurden insgesamt acht Dämme angelegt, die alle in den Versuch eingebunden waren. Die Versuchsfläche grenzte daher direkt an benachbarte Flächen an. Gegebenenfalls entstanden dadurch Randeffekte. Die Dämme am Rand der Versuchsfläche waren zudem lediglich 20 cm statt 25 cm breit.

Die Karottenernte für die Ertragsermittlung im Versuch erfolgte manuell. Anschließend wurden die restlichen Karotten mit dem Vollernter geerntet.

Unterfranken Satz 1

Der Versuchsstandort befindet sich in Albertshofen bei Kitzingen. Die Vorkultur war Kohlrabi. Eine Parzelle umfasst drei Karottendämme und ist 1,60 m breit und 10 m lang, wie in Abbildung 9 dargestellt.

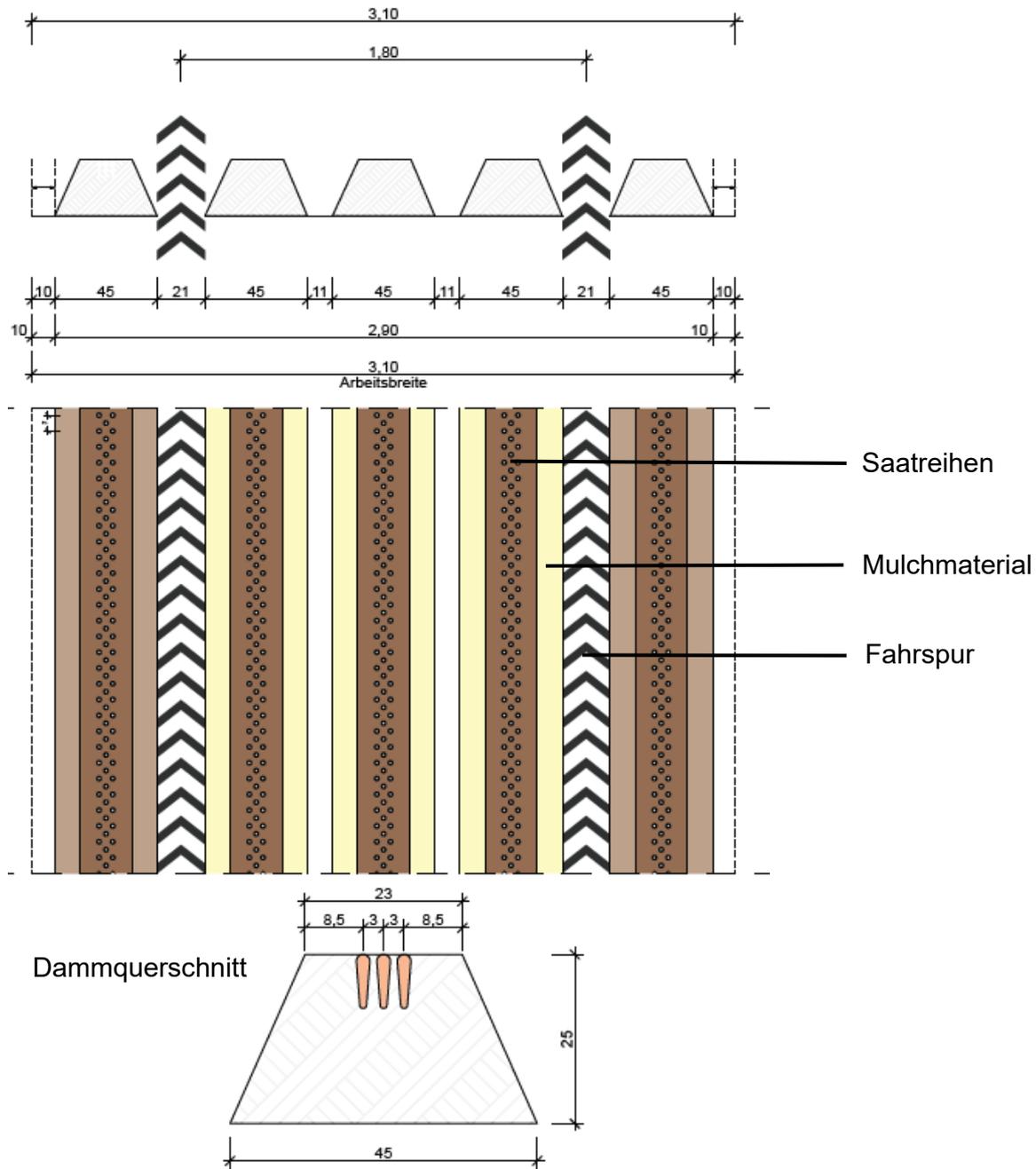


Abbildung 9: Parzellen- und Dammaufbau sowie Applikationsbereiche im Versuch Karotte am Standort Unterfranken

Betriebsüblich werden fünf Dämme pro Überfahrt gefräst, drei Dämme liegen innerhalb der Fahrspur und jeweils ein Damm außerhalb. Um Randeffekte möglichst gering zu halten, wurden für die Varianten die drei Dämme innerhalb der Fahrspur ausgewählt. Bonitiert wurde nur am mittleren der drei Dämme.

Die spezifischen Kulturdaten für den Versuch Karotte am Standort Unterfranken sind in Anhang 11 dokumentiert.

Niederbayern 2022

Der Standort befindet sich südlich von Haidfing zwischen Saubach und Haidfing. Die Vorkultur war Winterweizen und nach dem Versuch folgten Gemüsekulturen. Auf den Nebenfächern im Westen wurden Pastinaken sowie Petersilienwurzeln, im Osten Karotten gepflanzt. Zwischen den Pastinaken und der Versuchsfläche befand sich ein Weg, auf dem Getreide wuchs und Disteln blühten. Beschattung sowie Hangneigung lagen nicht vor.

Eine Parzelle besteht aus 3,00 m Breite bzw. vier Karottendämmen auf einer Länge von 13 m. Die beiden mittleren Dämme einer Parzelle bilden die bonitierte Kernparzelle. Insgesamt gab es vier Varianten mit je vier Wiederholungen, daraus resultieren 16 Parzellen. Im Unterschied zu den anderen Versuchen wurde hier das Mulchmaterial auf der Dammkrone und nicht auf den Dammseiten appliziert.

Die Versuchsparameter sind in Anhang 12 zu finden.

Um die Randeffekte zur Nachbarfläche zu minimieren, wurde ein Damm an der westlichen Seite des Versuchsfelds aufgeschüttet. Jede Parzelle bestand aus vier Dämmen. Bonitiert wurde nur der mittlere, westlich gelegene Damm der Parzellen. Dieser wurde ausgewählt, um Randeffekte ausschließen zu können. Bonitiert wurde der Beikrautdruck, indem die Beikräuter in einem festgelegten Bereich auf der Dammkrone gezählt wurden. Die Anzahl der Beikräuter wurde jeweils in den drei Kategorien (Keimblattstadium, Wachstums-, Blüh-, Samenphase und ausgesamt/verwelkt) eingeordnet. Zusätzlich wurde mittels Fotorahmen der Maße 39,5 cm × 60 cm ein Foto des Boniturbereichs erstellt. Für das Auszählen der einzelnen Beikräuter wurde ein Streifen mit einer Quadratmeter Fläche (400 cm × 25 cm) ausgewählt.

Einen Tag vor der Ernte der Karotten wurden Laubfarbe, Gesamteindruck, Laubstabilität, Grünverfärbung am Rübenkopf, Schulterbeschaffenheit und die Riss- bzw. Rillenbildung bonitiert.

Am Tag der Ernte wurden pro Parzelle auf insgesamt sechs Metern Länge Karotten geerntet. Zur Auswertung wurden nur die Karotten der Boniturparzelle verwendet. Die Karotten wurden mittels Grabgabel seitlich am Damm gelockert und anschließend am Laub entnommen. Das Laub wurde am Feld entfernt. Die Karotten wurden anschließend zum Betrieb transportiert und in einer Gemüsewaschmaschine gesäubert. Das Erntegut wurde in zwei Kisten nach Marktfähigkeit sortiert. Diese wird bestimmt durch Länge, Größe und Aussehen der Karotte. Bei Beinigkeit oder geplatzten Rüben ist die Vermarktung nicht mehr gewährleistet. Anschließend wurde das Gewicht ermittelt für markt- und nicht marktfähiges Erntegut. Die durchschnittliche Rübenlänge wurde anhand einer Stichprobe von 20 Karotten (zehn marktfähige und zehn nicht marktfähige Rüben) ermittelt.

Nach der händischen Ernte wurde die gesamte Fläche mit dem Vollernter und anschließend mit einer Fräse bearbeitet. Die Restmaterialbonitur wurde fotografisch mittels Fotorahmen (39,5 cm × 60 cm) durchgeführt.

Unterfranken 2022

Der Standort befindet sich am Lohweg nordöstlich von Albertshofen. Die Vorkultur war Kohlrabi. Auf den Nebenflächen im Norden und Süden wurde Kohlrabi gepflanzt. Im Osten befand sich eine Blühfläche, in westlicher Richtung Mais. Nach der Möhrenernte sollte die Fläche brachliegen, im Frühjahr waren Gemüsekulturen vorgesehen. Eine Beschattung oder Hangneigung gab es nicht.

Eine Versuchsparzelle besteht aus drei Karottendämmen mit einer Länge von 10 m. Insgesamt gab es vier Varianten mit je vier Wiederholungen, daraus resultierten 16 Parzellen. Grundlage für die Anordnung war ein lateinisches Quadrat. Eine Spalte stellt eine Wiederholung dar. Die Kulturdaten sind in Anhang 13 zu finden. Im Unterschied zur Versuchsanstellung in Niederbayern 2022 werden hier, wie im Jahr 2021, die Dammseiten mit dem Mulchmaterial behandelt.

Betriebsüblich werden fünf Dämme pro Überfahrt gefräst, drei Dämme liegen innerhalb der Fahrspur und je ein Damm außerhalb. Um Randeffekte möglichst gering zu halten, wurden die drei Dämme innerhalb der Fahrspur ausgewählt. Bonitiert wurde nur am mittleren der drei Dämme.

Einen Tag vor der Ernte der Karotten wurden Laubfarbe, Gesamteindruck, Laubstabilität, Grünverfärbung am Rübenkopf, Schulterbeschaffenheit und die Riss- bzw. Rillenbildung bonitiert.

Am Tag der Ernte wurden pro Parzelle auf sechs Metern Karotten geerntet. Zur Erhebung der Erntedaten wurden nur die Ergebnisse des mittleren Damms verwendet. Die Karotten wurden mittels Grabgabel seitlich am Damm gelockert und anschließend am Laub entnommen. Das Laub wurde am Feld entfernt. Die Karotten wurden anschließend zum Betrieb transportiert und in einer Gemüsewaschmaschine gesäubert. Das Erntegut wurde in zwei Kisten nach Marktfähigkeit getrennt. Diese wird bestimmt durch Länge, Größe und Aussehen der Karotte. Bei Beinigkeit oder geplatzten Rüben ist die Vermarktung nicht mehr gewährleistet. Anschließend wurde das Gewicht ermittelt für markt- und nicht marktfähiges Erntegut. Die durchschnittliche Rübenlänge wurde anhand einer Stichprobe von 20 Karotten (zehn marktfähige und zehn nicht marktfähige Rüben) ermittelt.

Mögliche Auswirkungen des Mulchmaterials auf den Feuchtehaushalt im Boden sollten stichprobenartig durch eine Messung mit Feuchtesensoren im Boden abgeschätzt werden. Dazu wurden in diesem Versuch Watermark-Bodenfeuchtesensoren vergraben und mit dem Bodenfeuchtemessgerät Watermark Monitor 900M die Messwerte erfasst. Vor dem Einsetzen der Sensoren in den Boden wurden diese gemäß Herstelleranleitung konditioniert. Drei Sensoren wurden in einer Tiefe von 30 cm in der Dammseite im Bereich der Mulchschicht und drei weitere Sensoren in der Kontrollparzelle ohne Mulchschicht platziert. Ein Temperatursensor zur Erfassung der Bodentemperatur wurde zwischen Kontrollvariante 2.3 und Variante 3.3 mit 2 mm Mulchauflage in 30 cm Tiefe vergraben. Das Messsystem war vom 27.06.2022 bis zum 10.10.2022 im Einsatz, die Beobachtungszeit betrug 105 Tage.



Abbildung 10: Feuchtesensor der Marke Watermark im Karottendammbau in Unterfranken nach dem Ausgraben

5.5.6 Einlegegurke

Der Einlegegurkenversuch wurde in beiden Versuchsjahren an nur einem Standort in Niederbayern durchgeführt. Die Versuchsvarianten in der Kultur Einlegegurken werden in Tabelle 7 beschrieben.

Tabelle 7: Versuchsvarianten Einlegegurke Niederbayern

Variante	Versuchsjahr 2021	Versuchsjahr 2022
1	Nullvariante – ohne Beikrautregulierung	Nullvariante – ohne Beikrautregulierung
2	Kontrolle – betriebsübliche Beikrautbekämpfung mit Herbizideinsatz	Kontrolle – betriebsübliche Beikrautbekämpfung mit Herbizideinsatz
3	MuNaRo, Schichtdicke 3 mm, Streifenbreite 75 cm als Folienersatz in der Reihe, vor der Saat	MuNaRo, Schichtdicke 3 mm, Streifenbreite 60 cm als Folienersatz in der Reihe, vor der Saat
4	MuNaRo, Schichtdicke 3 mm, Streifenbreite 30 cm, links und rechts neben der Folie, vor der Saat	MuNaRo, Schichtdicke 3 mm, Streifenbreite 60 cm als Folienersatz in der Reihe, schwarz eingefärbt, vor der Saat
5	–	MuNaRo Schichtdicke 6 mm, Streifenbreite 60 cm als Folienersatz in der Reihe, vor der Saat

Versuchsjahr 2021

Der Versuchsstandort 2021 befindet sich nahe Wallersdorf, südlich des Ortsteils Haidlfing. Die Vorkultur war Zwiebel. Auf der benachbarten Fläche wurden Zuckerrüben angebaut.

Eine Parzelle besteht aus drei Gurkenbahnen, ist 4,5 m breit und 15 m lang. Eine Übersicht der Versuchsanlage zeigt Abbildung 11.

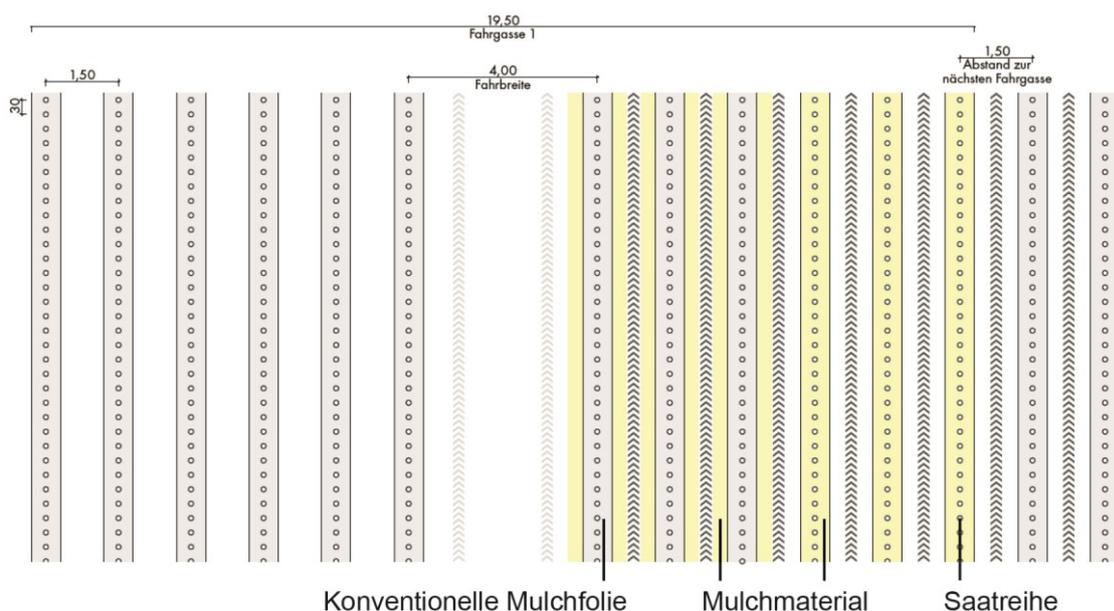


Abbildung 11: Skizze der Versuchsfäche Einlegegurke, Niederbayern 2021

Die spezifischen Kulturdaten für den Versuch Einlegegurke am Standort Niederbayern sind in Anhang 14 dokumentiert.

Für die Applikation des Mulchmaterials in Variante 3, bei der das Mulchmaterial die konventionelle Mulchfolie ersetzt, wurden je 15 m der zuvor verlegten Folienbahn herausgeschnitten. Dies ermöglichte, dass der Boden im Applikationsbereich eine glatte Oberflächenstruktur aufwies und dadurch nahezu ideale Bedingungen für die Applikation bot.

Bei der flächig wachsenden Kultur Einlegegurken ist der Bodenbedeckungsgrad als Maß für den Beikrautaufruch nicht aussagekräftig. Je Parzelle wurde daher die Anzahl Beikräuter auf einer zuvor abgesteckten Fläche von rund 1 m² bestimmt. Da sich die Varianten 3 und 4 von den Varianten 1 und 2 deutlich unterschieden, wurden unterschiedliche Boniturbereiche definiert. Für die Varianten 1 und 2 wurde mittig in der Fahrspur eine Fläche der Breite 0,9 m und einer Länge von 1,1 m abgesteckt. Die Fläche setzte sich zusammen aus Anteilen mit nicht abgedecktem Boden und mit konventioneller Mulchfolie abgedeckten Bereichen. In Variante 3 erfolgte die Bonitur auf der Mulchfläche in einer Breite von 0,75 m und einer Länge von 1,42 m. In Variante 4 wurde auf dem Mulchmaterial auf einem Streifen mit einer Breite von 0,3 m und einer Länge von 3,34 m bonitiert.

Da aus organisatorischen Gründen keine kontinuierliche Ertragserfassung durchgeführt werden konnte, wurde aufgrund der geringen Aussagekraft auf vereinzelte Erntebonituren verzichtet. Während des Versuchszeitraums wurden Gelbfärbungen der Gurkenblätter festgestellt. Um die Nährstoffversorgung der Gurkenpflanzen abschätzen zu können, wurden Blattproben genommen und analysiert sowie eine Wurzelbonitur durchgeführt. Es wurden 20 Blätter ab dem fünften Gurkentrieb je Parzelle entnommen und im Fachzentrum Analytik der LWG analysiert. Zusätzlich wurde bei einem Drohnenüberflug der Zustand der Versuchspartellen fotografisch dokumentiert. Für die Wurzelbonitur wurden aus der mittleren Reihe je Parzelle drei Pflanzen entnommen. Überschüssiges Erdreich wurde händisch entfernt, die Wurzellängen wurden gemessen und die Wurzeln fotografisch dokumentiert.

Versuchsjahr 2022

Der Standort befindet sich südlich von Haidlfing an der A92. Die Vorkultur war Speisekartoffel. Auf der Nebenfläche wurden Kartoffeln angebaut.

Eine Parzelle besteht aus drei Gurkenbahnen, ist 4,5 m breit und 15 m lang. In der nachfolgenden Darstellung ist die Versuchsanlage skizziert, wobei die Applikationsbereiche jeweils gelb bzw. schwarz eingefärbt sind.

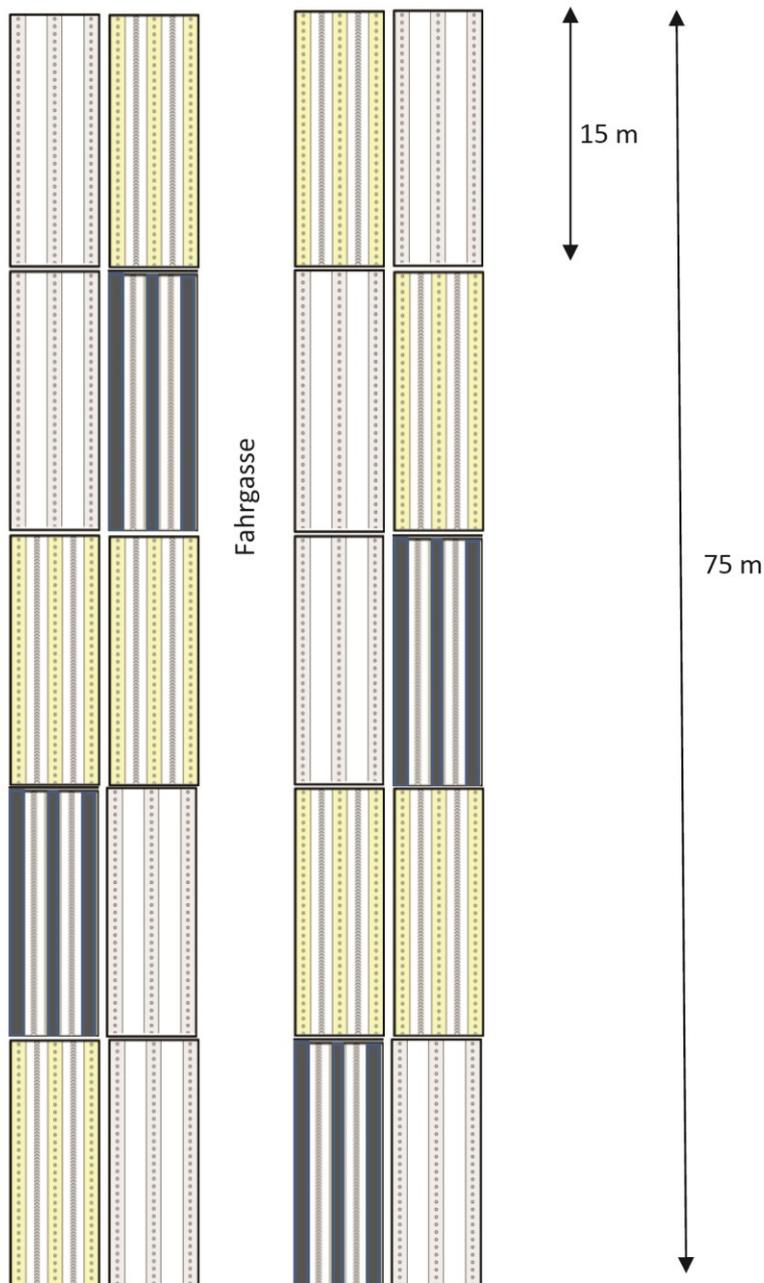


Abbildung 12: Skizze der Versuchsfäche Einlegegurke, Niederbayern 2022

Die Kulturdaten des Versuchs sind in Anhang 15 aufgelistet.

In Variante 4 erfolgte die Einfärbung des Mulchmaterials, um dem Temperatureffekt der herkömmlich verwendeten Folien nahezukommen. Für das Einfärben wurden dem Mulchmaterial biobasierte Pigmente in der Farbe Ebenholz zugegeben. Die Pigmente wurden im Praxisversuch in die B-Phase nach Wasserzugabe eingerührt. Insgesamt wurden dem Mulchmaterial 0,8 Masse-% Pigmente zugesetzt.

Bei Zugabe des Pigments bleibt die Rezeptur weiterhin homogen, das Material ist elastisch, komplett polymerisiert und durchgehend schwarz. Beim Abbinden des Materials konnte beobachtet werden, dass etwas Öl austrat.

Für die Beikrautbonitur wurde je ca. 1 m² pro Parzelle ausgemessen und die Anzahl der Beikräuter in drei verschiedenen Wachstumskategorien erfasst. Pro Parzelle wurden die Boniturbereiche markiert, wodurch gewährleistet wurde, dass immer der gleiche Bereich bonitiert wird. Die Boniturbereiche wurden wie folgt festgelegt: In der Pflanzreihe wurde ein Bereich von 2,5 m × 0,4 m (1 m²) mittig in der mittleren der drei Reihen einer Parzelle festgelegt und entsprechend markiert. Außerdem wurde ein Bereich 0,9 m neben der Folie hin zur Fahrspur mit einer Länge von 1,1 m (1 m²) abgesteckt. Dadurch wurde ein Teil der Fahrspur mitbonitiert. In jeder Parzelle gab es daher zwei Boniturbereiche.

Zum zweiten Boniturtermin wurde das Keimungsverhalten der Gurkensaat in den unterschiedlichen Varianten beurteilt. Hierfür wurde die Anzahl der gekeimten und herangewachsenen Pflanzen auf der gesamten Versuchsfläche ausgezählt. Diese Anzahl Pflanzen wurde jeweils ins Verhältnis zur maximal möglichen Anzahl Pflanzen gesetzt und für jede Parzelle ein Mittelwert errechnet.

Um Unterschiede in der Pflanzenentwicklung feststellen zu können, wurden zum fünften Boniturtermin die Anzahl der offenen Blüten sowie die Anzahl der Fruchtansätze bis 3 cm Länge gezählt.

Aufgrund geringer Aussagekraft durch vereinzelte Erntebonituren wurde auf Erntebonituren generell verzichtet. Die Bonitur der Ernte hätte im Rahmen des Projekts nicht bewerkstelligt werden können.

5.6 Gewächshausversuche zur Validierung von Feldversuchsergebnissen

Um den Einfluss des Mulchmaterials auf Keimung und Wuchsverhalten in den Kulturen Einlegegurke und Kopfsalat näher zu untersuchen, wurden Gewächshausversuche angelegt. Unter diesen geschützten Bedingungen konnten viele Einflussfaktoren, die im Feldversuch auftreten, ausgeschlossen werden, sodass der Einfluss des Mulchmaterials herausgestellt werden konnte.

Kopfsalat

In diesem Versuch wurde Kopfsalat in vorher appliziertes Mulchmaterial gepflanzt. Dazu wurden auf Erde in Pflanzkisten jeweils 20 cm breite Streifen Mulchmaterial in den Schichtdicken 1,5 bzw. 3 mm aufgespritzt. Zu den beiden Mulchmaterialvarianten wurde eine unbehandelte Nullvariante angelegt. Dabei wurden in jede Kiste drei Salatpflanzen gesetzt. Um den Einfluss möglicher Materialauswaschung durch Niederschläge zu untersuchen, wurden die Pflanzkisten unterschiedlich bewässert. Jeweils drei Kisten wurden von oben gegossen und somit Regenereignisse oder künstliche Überkopfbewässerung simuliert, die restlichen drei Kisten wurden von unten angestaut. Es ist denkbar, dass sich bei Niederschlag stetig Stoffe aus dem Material herauslösen und über die Wurzeln vom Salat aufge-

nommen werden, wodurch das Wachstum ggf. negativ beeinflusst werden könnte. Je Versuchsvariante wurden drei Wiederholungen angelegt. Die Salate wurden vier Wochen nach der Pflanzung geerntet und gewogen.

Einlegegurke

Um die Keimung des Gurkensaatguts im Mulchmaterial unabhängig von externen Einflüssen untersuchen zu können, wurde das Saatgut in Aussaatkisten gesät. Dabei wurde neben der Saat in Erde für die „Nullvariante“ das Saatgut in vorher appliziertes Mulchmaterial der Schichtdicke 5 mm gesät. Das Saatgut wurde mit einer Nachbildung des Saataggregats, das bei den Praxisversuchen zum Einsatz kam, ausgebracht. Bonitiert wurde das Wachstum wöchentlich mithilfe von Fotos.

Außerdem wurde ein Versuch angelegt, der den Einfluss des Abdeckvlieses untersuchte. Über das Vlies kann möglicherweise Mulchmaterial auf die Kulturpflanzen verschleppt werden, sodass diese ggf. im Wachstum beeinträchtigt werden. Außerdem kann das Vlies im Feldversuch durch häufiges Auf- und Abdecken bei Bonituren die Pflanzen auch mechanisch schädigen. Hierbei wurden in der Nullvariante Gurkensaat bzw. Gurkenpflanzen in Pflanzkisten mit sauberem Vlies abgedeckt. In einer zweiten Variante wurde das Vlies vorab auf frisches Mulchmaterial gelegt, wodurch das Vlies mit Pflanzenöl und anderen Bestandteilen des Materials benetzt wurde. Mit diesem benetzten Vlies wurden dann die Gurken abgedeckt. Als dritte Variante wurde das Saatgut wiederum mit einem mit Mulchmaterial getränkten Vlies abgedeckt und zusätzlich stark bewässert. Dies sollte ein Starkregenereignis simulieren. Um auch in diesem Versuch den Effekt von Niederschlägen und Überkopfbewässerung zu untersuchen, wurde in Varianten sowohl von oben gegossen als auch von unten angestaut. Vor dem Gießen wurde das Vlies abgenommen. Das Wuchsverhalten wurde mithilfe von Fotografien festgehalten.

5.7 Umweltwirkungen

5.7.1 Biologischer aerober Abbau des Mulchmaterials

Die Untersuchungen erfolgten als Gemeinschaftsarbeit in Verbindung mit dem Vorhaben ABOW [28].

Der biologische Abbau des Mulchmaterials unter Laborbedingungen wurde mithilfe der Methode DIN EN ISO 17556 [8] untersucht. Der schematische Aufbau der DIN-Norm „Bestimmung der vollständigen aeroben Bioabbaubarkeit von Kunststoffmaterialien im Boden durch Messung des Sauerstoffbedarfs in einem Respirometer oder der Menge des entstandenen Kohlenstoffdioxids“ ist in Abbildung 13 dargestellt. In das geschlossene Gefäß wird ein konstanter Luftstrom (1) eingeleitet, dessen Stärke mit einem Regler (2) eingestellt werden kann. Bevor der Luftstrom das Probengefäß (5) durchströmen kann, wird dieser durch eine fünfmolare Kaliumhydroxidlösung geleitet (3). Dadurch wird das CO₂ aus der Luft herausgewaschen. Anschließend passiert der Luftstrom ein Behältnis (4) mit Wasser, um die Luft anzufeuchten. Nach dem Probengefäß strömt die Luft durch zwei in Reihe geschaltete Gasflaschen (6) mit jeweils 100 ml Kaliumhydroxidlösung ($c = 0,1 \text{ mol/l}$). Das

durch den Abbau entstandene Kohlenstoffdioxid wird in diese Gasflaschen getragen, reagiert mit den Hydroxidionen in der Lösung und wird dort adsorbiert.

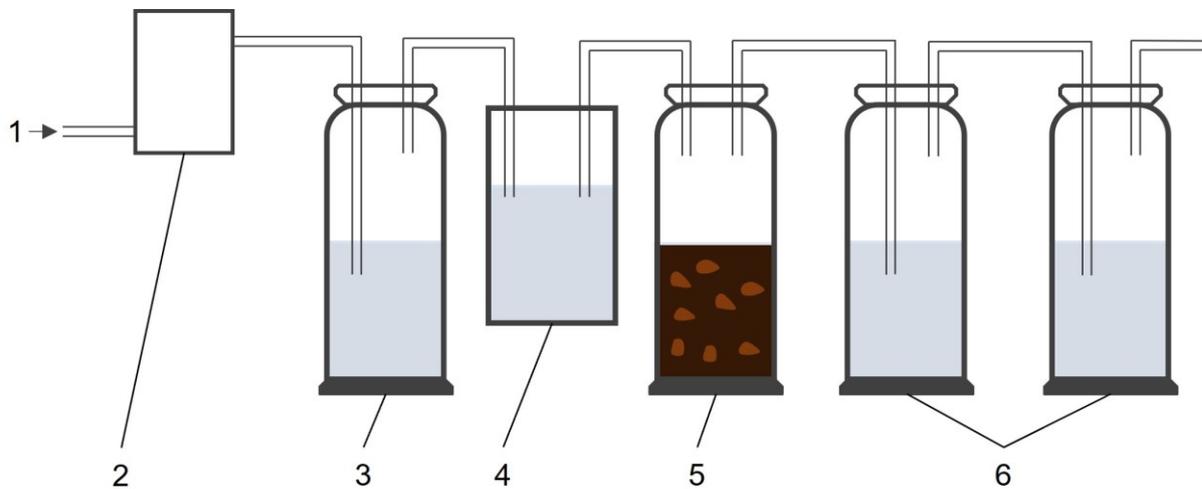


Abbildung 13: Schematischer Aufbau des Abbaubarkeitsversuchs nach DIN EN ISO 17556:2019-09 [8] (Ergebnisse auch im Abschlussbericht des Projekts ABOW [28] veröffentlicht)

Der komplette Versuchsaufbau, wie in Abbildung 14 gezeigt, bestand aus neun einzelnen Versuchsreihen identischen Aufbaus: Der Aufbau ermöglichte eine parallele Untersuchung von drei Varianten mit je drei Wiederholungen. Variante 1 entsprach der Nullprobe und enthielt nur 300 g Felderde sowie keine Materialprobe. Variante 2 diente als Referenz und die Erde enthielt 2,5 g Stärkepolver, dessen Abbau gut bekannt ist. Variante 3 wurde zur Untersuchung der Abbaubarkeit des Mulchmaterials angelegt. Mit der Erde wurden zusätzlich 2,5 g Mulchmaterial eingebracht, das auf seine aerobe Abbaubarkeit getestet werden sollte. Da der Abbau organischen Materials unter Freisetzung von Kohlenstoffdioxid erfolgt, kann durch das Bestimmen der entstehenden Menge CO_2 ein Rückschluss auf den Abbauprozess gezogen werden. Die Nullprobe ermöglicht die separate Erfassung des Einflusses anderer Kohlenstoffdioxidquellen z. B. im Boden, aus der Luft etc. auf die gemessene CO_2 -Menge. Um die Menge des freigewordenen Kohlenstoffdioxids zu bestimmen, wurden die Kaliumhydroxidlösungen einmal wöchentlich gegen eine 0,1-M-Salzsäure titriert. Die Mittelwerte der ermittelten Volumina der Dreifachbestimmungen der Nullprobe, der Probe und der Referenz wurden in die jeweiligen Stoffmengen umgerechnet. Aus den beiden Mittelwerten wurde dann die Differenz gebildet, um die Einflüsse anderer CO_2 -Quellen wie aus der Luft oder der Erde eliminieren zu können. Die resultierende Stoffmenge war äquivalent zur freigewordenen Menge Kohlenstoffdioxid und konnte durch die molare Masse ermittelt werden.



Abbildung 14: Aufbau des Abbaubarkeitsversuchs mit drei Versuchsreihen als Nullprobe (links), drei Versuchsreihen mit Mulchmaterial (Mitte) und drei Versuchsreihen als Referenz mit Stärkepulver (rechts)

5.7.2 Auswaschung von Pflanzenöl in den Boden

Anhand einer vergleichenden Analyse von Bodenproben unter der Mulchschicht mit Bodenproben einer Kontrollvariante ohne Mulchschicht soll untersucht werden, ob die Rezepturkomponente Rapsöl aus dem Mulchmaterial ausgewaschen wird und sich gegebenenfalls im Boden anreichert. Die Analyse der Pflanzenölrückstände erfolgte im Anschluss an eine Soxhlet-Extraktion durch Gaschromatografie. Die Untersuchungen wurden als Gemeinschaftsarbeit in Verbindung mit dem Vorhaben ABOW realisiert [28].

Um Rückstände des Mulchmaterials im Boden feststellen zu können, wurden Erdproben unter der Mulchschicht entnommen und auf Rückstände analysiert. Die Inhaltsstoffe Stärke, Sorbitol und Natriumalginat scheiden für die Rückstandsanalytik aus, da sie sehr gut wasserlöslich sind und auch von vielen Lebewesen schnell verstoffwechselt werden können. Die enthaltenen Salze wie Phosphat und Calciumsulfat sind in der Regel ohnehin im Boden vorhanden, was eine Analyse erheblich erschweren würde. Als Zielsubstanz wurde deshalb Rapsöl ausgewählt. Aufgrund seines unpolaren Charakters kann es gut mit hydrophoben Lösungsmitteln extrahiert werden. Zudem kommt es im Boden nicht vor, wodurch die Genauigkeit der Rückstandsnachverfolgung deutlich verbessert wird.

Für den Nachweis wurden drei Monate nach dem Ausbringen des Mulchmaterials Erdproben genommen. Hierfür wurde das Material entfernt und 500 g Erde aus einer Tiefe von

fünf bis 15 Zentimetern entnommen. Um das Rapsöl aus der Erde zu lösen, wurden ca. 150 g dieser Erdproben in eine Zellulosehülse eingewogen und mittels Soxhlet-Extraktion mit n-Hexan für sechs Stunden extrahiert. Anschließend wurde das Lösungsmittel im Rotationsverdampfer entfernt.

Um den Gehalt an Rapsöl zu bestimmen, wurden die Proben gaschromatografisch untersucht. Um die Proben für die Gaschromatografie (GC) zugänglich zu machen, mussten sie zuerst deriviert werden. Hierzu wurden die eingedampften Proben-Rückstände wieder in 0,8 ml Chloroform aufgenommen. Die Lösung wurde mit 0,2 ml Methanol und drei Tropfen methanolischer Bortrifluorid-Lösung versetzt und für eine Stunde bei 80 °C erhitzt. Nach dem Abkühlen wurden die Rückstände des Methylierungsreagenz mit 1 ml Wasser extraktiv ausgewaschen. Die organische Phase wurde abgenommen, eingedampft und nochmals in 1 ml Hexan aufgenommen. Die Probe wurde in die Gaschromatografie gegeben.

5.7.3 Einfluss auf die Fauna

Der Einfluss des Mulchmaterials auf das Verhalten von Wildtieren wird mit Wildtierkameras dokumentiert und anschließend bewertet. Wildkameras wurden in den Feldversuchen Kopfsalat (Niederbayern, Satz 2), Karotte (Niederbayern, Satz 1) sowie Kohlrabi (Unterfranken, Satz 2) installiert. Bei den Fotofallen handelte es sich um Wildtierkameras des Modells Wild-Vision der Marke wildkamera.net. Die Wildtierkamera ist mit einem Bewegungsmelder ausgestattet, der bei Bewegung auslöst. Im Versuch wurden fünf Bilder pro Bewegung aufgezeichnet. Das Auslesen der Kameraspeicher sowie die Dokumentation der Beobachtungen erfolgten im zweiwöchigen Rhythmus zu Terminen der Beikrautbonitur.

Zur Untersuchung eines möglichen Einflusses auf Gastropoden wurden Holzbretter in ausgewählten Versuchspartzen ausgelegt. Je nachdem ob Schnecken vom Mulchmaterial angezogen oder abgewehrt werden, sollten auf der Brettunterseite mehr oder weniger Schnecken nachgewiesen werden können oder auf der Brettobenseite mehr oder weniger Schleimspuren sichtbar sein.

5.7.4 Rückstände des Mulchmaterials

Rückstände des Mulchmaterials auf dem Boden nach der Ernte wurden in den Praxisversuchen fotografisch mithilfe eines Fotorahmens mit den Maßen 31,5 cm × 47,5 cm dokumentiert. Dabei wurden fünf Fotos nebeneinander in der Mitte einer MuNaRo-Parzelle vor und nach der Bodenbearbeitung aufgenommen.

5.7.5 Bodenleben

Mithilfe des Tea-Bag-Index [27] soll der Einfluss des Mulchmaterials auf das Bodenleben abgeschätzt werden. Der Tea-Bag-Index beschreibt ein standardisiertes Verfahren zur Abschätzung der Bodenaktivität. Die zwei Teesorten Rooibostee (langsamer Abbau) und Grüntee (schneller Abbau) werden in 8 cm Tiefe im Boden vergraben und sollen nach bis zu 90 Tagen wieder ausgegraben werden. Je Versuchsvariante werden im Vorhaben drei Teebeutelpaare vergraben. Das Ausgangs- und das Endgewicht der Teebeutel werden miteinander verrechnet. Als Ergebnis werden die Abbaurate k und der Stabilisierungsfaktor S ausgegeben. Die Abbaurate k ist ein Maß für die Geschwindigkeit, mit der die labile Fraktion des Pflanzenmaterials abgebaut wird. Der Stabilisierungsfaktor S ist ein Maß für die hemmende Wirkung der Umweltbedingungen auf die Zersetzung der labilen Fraktion und gibt Hinweise auf die langfristige Kohlenstoffspeicherung [27].

Da die Kulturstandzeiten teilweise länger als 90 Tage betragen und zum Teil Teebeutel beim Ausgraben beschädigt wurden, konnten im ersten Versuchsjahr die Auswertungen nur in folgenden Feldversuchen durchgeführt werden:

- Kopfsalat, Niederbayern 2021, Satz 2: Verweildauer im Boden 35 Tage,
- Kopfsalat, Unterfranken 2021, Satz 2: Verweildauer im Boden 36 Tage.

Abbildung 15 zeigt als Referenz für den Tea-Bag-Index Daten für unterschiedliche Standorte bzw. Ökosysteme [27].

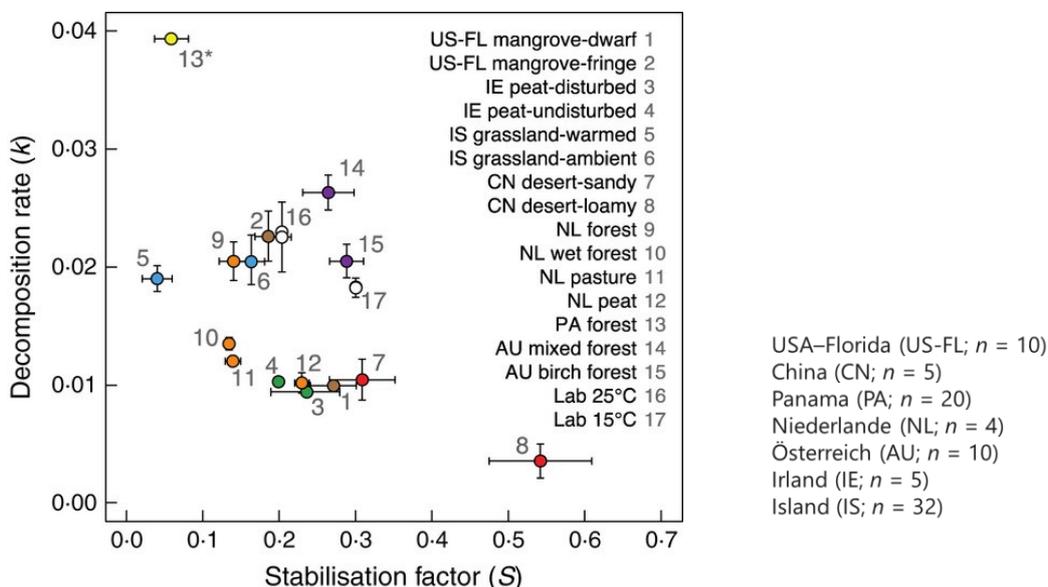


Abbildung 15: Zersetzungsrate k und Stabilisierungsfaktor S für unterschiedliche Standorte bzw. Ökosysteme [27]

Die Abbildung zeigt, dass je nach Region unterschiedliche Zersetzungsgrade und Stabilisierungsfaktoren auftreten. Aus diesem Grund werden in der Auswertung die Ergebnisse je Versuchsstandort verglichen.

5.8 Ökonomische Einordnung

Zur ökonomischen Einordnung des MuNaRo-Verfahrens werden zunächst für drei der bei den Feldversuchen näher betrachteten Kulturarten, nämlich Kopfsalat, Karotte und Einlegurke, modellhafte Kulturführungen für die MuNaRo-Varianten festgelegt. Diese MuNaRo-Varianten werden beispielhaften herkömmlichen Varianten der Kulturführung gegenübergestellt. Dabei wird angenommen, dass die Dauer der Kulturführung und die Ernteerträge bei allen Varianten übereinstimmen. Die Festlegung der Verfahrensschritte erfolgt in Anlehnung an die in der KTBL-Datensammlung „Gemüsebau – Freiland und Gewächshaus“ [31] beschriebenen Produktionsverfahren sowie anhand der Erfahrungen aus den Feldversuchen. Anschließend erfolgt ein Kostenvergleich zwischen den Varianten. Dabei werden nur jene Verfahrensschritte betrachtet, die sich zwischen der MuNaRo- und den herkömmlichen Varianten unterscheiden können. Identische Verfahrensschritte, wie z. B. Bodenvorbereitung oder Ernte, bleiben unberücksichtigt.

Tabelle 8 zeigt die für Kopfsalat, Tabelle 9 die für Karotte und Tabelle 10 die für die Einlegurke definierten Varianten der Kulturführung mit den jeweils relevanten Verfahrensschritten und der Häufigkeit ihrer Anwendung. Darauf aufbauend werden die Unterschiede bei den Verfahrenskosten berechnet. Die Varianten unterscheiden sich speziell bei Kopfsalat in Bezug auf die Pflanzmaschine, ansonsten vor allem hinsichtlich der Maßnahmen der Beikrautregulierung (Herbizidanwendung, mechanische und thermische Behandlung, Mulchfolie) sowie der Bewässerungsgaben. Bei den MuNaRo-Verfahren oder den Varianten mit Mulchfolie wird angenommen, dass aufgrund des Verdunstungsschutzes eine Bewässerungsgabe weniger ausreicht.

Tabelle 8: Verfahrensschritte beim Sommeranbau von Kopfsalat (Frischmarktware) mit MuNaRo im Vergleich zu etablierten Varianten der Kulturführung

Verfahrensschritte Kopfsalat	Variante Ko1 MuNaRo	Variante Ko2 Abbaubare Mulchfolie	Variante Ko3 Herbizid
Pflanzung mit Pflanzmaschine	Becher- Pflanzmaschine	Becher- Pflanzmaschine	Bänder- Pflanzmaschine
Herbizidbehandlung mit Anbauspritze (18 m, 1.500 l)	0	0	einmal
Hacken mit Hackgerät	einmal	einmal	0
Ausbringung Mulchmaterial mit Applikationsgerät SAM	einmal	0	0
Ausbringung Mulchfolie abbau- bar mit Folienlegegerät	0	einmal	0
Rohrbewässerung betreiben (à 100 m ³ /ha) und kontrollieren	dreimal	dreimal	viermal

Tabelle 9: *Verfahrensschritte beim Anbau von Karotten (Frischmarktware) in Dammkultur mit MuNaRo-Applikation auf den Dammseiten im Vergleich zu etablierten Varianten der Kulturführung*

Verfahrensschritte Karotte	Variante Ka1 MuNaRo	Variante Ka2 Hacken, Jäten, Abflammen	Variante Ka3 Herbizid
Herbizidbehandlung mit Anbauspritze (18 m, 1.500 l)	0	0	dreimal
Hacken von Dämmen mit Präzisionshacke	0	dreimal	0
Jäten von Hand mit Beetflieger	viermal	viermal	0
Abflammen mit Abflammgerät (Fronttank 300 kg)	0	zweimal	0
Häufeln von Dämmen	0	zweimal	0
Ausbringung von Mulchmaterial mit Applikationsgerät SAM	einmal	0	0
Rohrbewässerung betreiben und kontrollieren (à 200 m ³ /ha)	dreimal	4viermal	viermal

Tabelle 10: *Verfahrensschritte beim Anbau von Einlegegurke (Verarbeitung), im Vergleich zu etablierten Varianten der Kulturführung*

Verfahrensschritte Einlegegurke	Variante Gu1 MuNaRo	Variante Gu2 Folie abbaubar	Variante Gu3 PE-Folie
Herbizidbehandlung mit Zwischenreihenspritzgerät	0	einmal	einmal
Hacken mit Präzisionshacke	einmal	0	0
Ausbringung Tropfschlauch mit Legegerät	einmal	0	0
Ausbringung Mulchmaterial mit Applikationsgerät SAM	einmal	0	0
Ausbringung Tropfschlauch und Mulchfolie mit kombiniertem Fo- lien-Tropfschlauch-Legegerät	0	einmal	einmal
Mulchfolie und Tropfschlauch entfernen	nur Tropf- schlauch	nur Tropf- schlauch	einmal

Die Verfahrenskennndaten stammen größtenteils aus der KTBL-Datensammlung „Gemüsebau – Freiland und Gewächshaus“ [31]. Dies sind insbesondere die anzusetzenden flächenbezogenen Arbeitskraftstunden in Akh/ha, der flächenbezogene Dieserverbrauch in l/ha sowie die flächenbezogenen fixen und variablen Maschinenkosten in EUR/ha. Der Dieselpreis und die Arbeitslohnkosten wurden ausgehend von den Annahmen in KTBL [31] an das aktuelle Preisniveau angepasst. Die Kosten für das Mulchmaterial wurden anhand tatsächlicher Angebote für die MuNaRo-Bestandteile ermittelt. Die Maschinenkosten für das MuNaRo-Applikationsgerät SAM wurden zusammen mit dem Landmaschinenhersteller Amazonen-Werke geschätzt. Der Arbeitszeitbedarf für die Applikation des MuNaRo-Materials wurde anhand der Erfahrungen aus den Feldversuchen abgeleitet. Generell wurden eher konservative Annahmen getroffen, also tendenziell höhere Kosten angesetzt.

In Tabelle 11 sind die für die Berechnung der Verfahrensdifferenzkosten getroffenen allgemeinen Annahmen aufgeführt, die nicht kulturspezifisch sind. Tabelle 12 enthält weitere spezifische, von der jeweiligen Kultur abhängige Annahmen.

Die Berechnung der Verfahrenskosten erfolgte mithilfe eines im Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel erstellten Tools. Das Ergebnis wird als Kostendifferenz zwischen dem MuNaRo-Verfahren und den oben aufgeführten Vergleichsvarianten dargestellt.

Tabelle 11: Allgemeine Annahmen für die Berechnung der Verfahrenskosten

Kostenposition	Annahmen
Traktor	Allrad, Vario, 67 kW Fixkosten: 9,27 EUR/h Variable Kosten (ohne Kraftstoff): 6,70 EUR/h Dieselverbrauch: 7,8 l/h Dieselkosten: 1,50 EUR/l
Applikationsgerät SAM	Anschaffungspreis: 24.300,00 EUR Nutzungsdauer: 12 a oder 1.000 ha oder 83 ha/a Fixkosten: 2.092,00 EUR/a oder 25,20 EUR/h Variable Kosten (ohne Traktor): 3,00 EUR/ha Behälterinhalt für MuNaRo-Komponenten: zweimal 1.000 l
MuNaRo-Applikation	Fahrgeschwindigkeit: 2,0 km/h Befüllzeit für beide Vorratsbehälter auf SAM: 720 s Wendezeit am Feldrand: 10 s
Arbeitskraft	Arbeitslohnkosten: 18,50 EUR/h
Zinssatz	3 %
Flüssiggas-Abflammgerät	Flüssiggaskosten: 1,40 EUR/kg
Wasser für Beregnung	Wasserkosten: 0,23 EUR/m ³
Wasser für Pflanzenschutz	Wasserkosten: 1,80 EUR/m ³
Herbizid	Wassermenge: 400 l/ha; Kosten: 84,06 EUR/ha
Mulchfolie abbaubar	Kosten: 900,00 EUR/ha
Mulchfolie nicht abbaubar	Kosten: 600,00 EUR/ha inkl. Entsorgung
MuNaRo-Material	Materialkosten: 0,60 EUR/l Dichte: 1,0 kg/l
Entfernung Hof–Feld	2,0 km

Tabelle 12: Spezifische Annahmen für Kopfsalat, Karotte und Einlegegurke für die Berechnung der Verfahrenskosten

Kulturart	Annahme
Kopfsalat	Feldgröße: 100 m × 100 m = 1 ha
	Reihenabstand: 0,30 m; MuNaRo-Streifenbreite: 0,20 m
	Schichtdicke: 1,0 mm; Ausbringmenge: 0,67 l/m ²
	Anzahl bearbeiteter Reihen je Überfahrt: 5
	Arbeitszeitbedarf: 4,12 h/ha
Karotte	Feldgröße: 100 m × 100 m = 1 ha
	Reihenabstand: 0,75 m; MuNaRo-Streifenbreite: 0,30 m
	Schichtdicke: 2,0 mm; Ausbringmenge: 0,8 l/m ²
	Anzahl bearbeiteter Reihen je Überfahrt: 3
	Arbeitszeitbedarf: 3,15 h/ha
Einlegegurke	Feldgröße: 100 m × 1000 m = 10 ha
	Reihenabstand: 1,50 m; MuNaRo-Streifenbreite: 0,60 m
	Schichtdicke: 3,0 mm; Ausbringmenge: 1,2 l/m ²
	Anzahl bearbeiteter Reihen je Überfahrt: 3
	Arbeitszeitbedarf: 1,24 h/ha

5.9 Energie- und Treibhausgasbilanz

Die Energie- und Treibhausgasbilanz basiert auf dem wissenschaftlichen Standard zur Erstellung und Bewertung von Ökobilanzen nach DIN EN ISO 14040/44 [7] [6]. Die wesentlichen Aspekte zum methodischen Vorgehen bei der Erstellung einer Ökobilanz sind nachfolgend beschrieben.

Zieldefinition

Ziel der Untersuchung ist es, erste Erkenntnisse zum Umweltprofil des Mulchmaterials zu erarbeiten. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) sowie auf dem kumulierten Energieaufwand.

Ein weiteres Ziel ist der Vergleich des Umweltprofils des Mulchmaterials mit anderen Möglichkeiten der Beikrautregulierung. Hierzu wird in Anlehnung an die ökonomische Einordnung die jeweilige MuNaRo-Variante für die Kulturarten Kopfsalat, Karotte und Einlegegurke mit herkömmlichen Anbauvarianten verglichen (Unterkapitel 5.8).

Systemgrenzen

Die Bewertung des Umweltprofils des Mulchmaterials erfolgt „von der Wiege bis zum Hoftor“. Das bedeutet, dass alle Material- und Energieströme, die zur Herstellung des Mulchmaterials erforderlich sind, bis hin zur Entnahme der erforderlichen Rohstoffe aus der Umwelt betrachtet werden. Die Bilanzierung endet mit dem Mischen des Materials „am Hof“.

Für den Variantenvergleich wird die Systemgrenze um die Anwendung des Materials (MuNaRo-Verfahren) erweitert. Für die Analyse der THG- und Energiebilanz wurden kongruent zur ökonomischen Abschätzung die folgenden Varianten betrachtet:

- Kopfsalat: (1) Herbizid,
- Karotte: (1) Hacken, Jäten, Abflammen; (2) Herbizid,
- Einlegegurke: (1) PE-Folie, Herbizid.

Für die Varianten „biologisch abbaubare Mulchfolie“ konnten keine THG- und Energiebilanz durchgeführt werden, da für dieses Material keine Datensätze zur Verfügung standen.

Analog zur ökonomischen Einordnung wurden nur die sich unterscheidenden Verfahrensschritte der jeweiligen Anbauvarianten samt erforderlicher Kraftstoffe und Prozessmittel berücksichtigt. Identische Verfahrensschritte, wie z. B. Bodenvorbereitung oder Ernte liegen außerhalb der Systemgrenzen.

Bezugsgröße/funktionelle Einheit

Mulchmaterial: 1 kg fertig gemischtes, aufspritzbares Mulchmaterial ab Hof

Variantenvergleich: 1 ha Anbaufläche je Kulturart (Kopfsalat, Einlegegurke und Karotte)

Datenqualität und Datenherkunft

Für die Berechnung der Energie- und THG-Bilanz des Mulchmaterials sind unterschiedliche Eingangsdaten erforderlich. Eine wesentliche Quelle ist die in Unterkapitel 5.1 dargestellte Rezeptur des Materials. Diesen Materialien wurden verfügbare Datensätze aus der Ökobilanzdatenbank ecoinvent 3.7.1 zugeordnet [51]. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass nicht alle erforderlichen Einsatzstoffe in der verwendeten Datenbank vorliegen. In diesen Fällen wurden Hilfsprozesse erzeugt oder die jeweiligen Vorprodukte der Einsatzstoffe zugrunde gelegt, siehe Tabelle 13.

Tabelle 13: Zuordnung der Bestandteile des Mulchmaterials zu den jeweiligen Datensätzen aus der Ökobilanzdatenbank ecoinvent 3.7.1 [51]

Komponente	Bestandteil	Masse-%	ecoinvent-Prozesse/eigene Prozesse
A	Rapsöl	30,08	Datensatz basierend auf TFZ-Bericht 59 [11]
	Alginat	1,23	Hilfsprozess erstellt: Alginsäurenproduktion mit Hilfe von NaOH (GLO, market for sodium hydroxide, without water, in 50 % solution state, agg)
	CaSO ₄	1,47	RER, market for gypsum, mineral, agg
	BC200	2,34	CH, market for cellulose fibre, agg
B	Stärke	12,25	DE, maize starch production, agg
	Wasser	44,56	Europe without CH, market for tap water, agg.
	Glycerin	4,46	RER, market for glycerine, agg
	Na ₃ PO ₄	0,27	Hilfsprozess erstellt: Mengenangaben in Dodecahydrat, aber ecoinvent Prozess mit 100% aktive Substanz (GLO, market for trisodium phosphate, agg)
	Benzoat	1,11	Vorprodukte: Benzoesäure (RER, market for benzoic acid, agg) NaOH (GLO, market for sodium hydroxide, without water, in 50 % solution state, agg)
	Sorbitol	2,23	Vorprodukt: GLO, market for glucose, agg

Dies führt zu einer Einschränkung der Datenqualität, die der Zielstellung, erste Erkenntnisse zum Umweltprofil des Mulchmaterials zu erarbeiten, aber nicht entgegensteht.

Der Variantenvergleich basiert im auf der für die ökonomische Analyse (siehe Unterkapitel 5.8) dargelegten Datenbasis des KTBL, ergänzt um die in Tabelle 14 aufgeführten Annahmen für die Berechnung der THG- und Energiebilanz.

Tabelle 14: Allgemeine Annahmen für die Berechnung der THG- und Energiebilanz

Verfahrensgröße	Annahme	Quelle
Maschinen- und Geräteeinsatz (inkl. Applikationsgerät SAM)	Leergewichte: 500–770 kg	[52]
	Nutzungsdauer: 10.000 h	[52] [31]
	Diesel in Liter je Hektar	[31]
Traktor	Allrad, Vario, 67 kW (pauschal)	[31]
	Leergewicht: 3.300 kg	[52]
	Nutzungsdauer: 10.000 h	[52] [31]
	Diesel in Liter je Hektar	[31]
Flüssiggas für Abflamngerät	70 kg/ha	[31]
Herbizid (Kopfsalat/Karotte)	Herbizidmenge je Maßnahme: 1,6–2,5 l/ha	[31]
	Wassermenge je Maßnahme: 400 l/ha	[31]
Mulchfolie abbaubar	50 g/m ²	[22]
Mulchfolie nicht abbaubar	50 g/m ²	[22]

Indikatorenberechnung

Die Bewertung der THG-Emissionen erfolgte entsprechend den Vorgaben der nationalen Emissionsberichterstattung mit den Indikatoren des Global Warming Potential 100 (GWP100). Diese sieht vor, ab dem Jahr 2023 für die Berichtsjahre bis 2021 die GWP100-Werte nach IPCC 2013, AR5 ohne Rückkopplungseffekte (cc-fb) zu verwenden [20]. Die Energiebilanz basiert auf dem Indikator des nicht erneuerbaren Energieaufwands nach DREIER (2000) [10].

5.10 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Softwarepaket Origin® 2021b von Origin-Lab®, USA. Zur Anwendung kommen Varianzanalysen (ANOVA) und paarweise Mittelwertvergleiche nach Tukey. Das Signifikanzniveau beträgt bei allen Analysen $p < 0,05$.

6 Ergebnisse und Diskussion

6.1 Rezeptur des Mulchmaterials

Die in Unterkapitel 5.1, Seite 31 beschriebene Rezeptur stellte sich in den bisherigen Versuchen als geeignet dar, um eine physikalische Barriere mit einer Beikraut unterdrückenden Wirkung zu gewährleisten. Nach bisherigen Erkenntnissen baut sich das Material wie beabsichtigt ab. Negative Umweltwirkungen wurden bisher nicht beobachtet.

6.2 Applikationstechnik

6.2.1 Prototyp eines Systems für die Applikation von Mulchmaterial „SAM“

Das für eine Anwendung in Reihenkulturen adaptierte Applikationsgerät SAM erwies sich für die Anlage der Feldversuche als funktional. Selten traten Düsenverstopfungen auf. Das exakte Einstellen der Höhenführung war zum Teil aufwendig. Teilweise kam es durch Probleme bei der Höheneinstellung zu Abweichungen der Mulchstreifenbreite vom Soll oder zu Beschädigungen der Karottendämme durch die Schutzbleche. Die Schutzbleche konnten insbesondere bei Setzlingen mit großen und langen Blättern nicht immer sicherstellen, dass die Kulturpflanzen nicht vom Mulchmaterialstrahl getroffen wurden. Die im Applikationsgerät verbauten robusten Schlauchpumpen fördern die Flüssigkeiten mit einer gewissen Pulsation. Dies führte in einigen Fällen zu einem ungleichmäßigen Spritzbild; die resultierenden Mulchstreifen variierten in der Breite. Zudem variiert das Mischungsverhältnis der Komponenten, wenn die Pumpen nicht synchron laufen. Der Heckanbau des Applikationsgeräts stellt sich für Transportfahrten als ideal dar; die erforderliche Hubkraft ist unkritisch. Im Heckanbau ist die exakte Spurführung des Applikationsgeräts beim Ausbringen des Mulchmaterials durch den Traktorfahrer aufgrund der eingeschränkten Sicht jedoch eine große Herausforderung.

6.2.2 Praxisnahes Applikationsgerät für den Gemüsebau

Von den Unternehmen Amazonen-Werke und Schmotzer wurde im Vorhaben ein praxisnahes Applikationsgerät für Reihenkulturen entwickelt und konstruiert. Es wird als eine Front-Heck-Gerätekombination ausgeführt. Am Frontkraftheber wird ein Schmotzer-Hackrahmen angebracht, an dem das Düsensystem zur Applikation des Mulchmaterials integriert ist. Am Heckkraftheber wird eine Geräteeinheit angebaut, die im Wesentlichen die Flüssigkeitsvorratsbehälter, die Rührtechnik und die Förderpumpen umfasst. Vorteile der Front-Heck-Gerätekombination sind eine ausgeglichene Gewichtsverteilung, geringere notwendige Hubkräfte von Front- und Heckkraftheber sowie ein gutes Blickfeld des Maschinenführers auf den Applikationsbereich. Letzteres ist für eine präzise Reihenführung bei manueller Lenkung von Bedeutung. Durch den Aufbau der Förderpumpen und Rührwerke am Heck des Traktors können die Heckzapfwelle und Hydraulikanschlüsse für mechanische und hydraulische Antriebe genutzt werden. Abbildung 16 zeigt eine Skizze der entwickelten Front-Heck-Gerätekombination für die Ausbringung des Mulchmaterials.

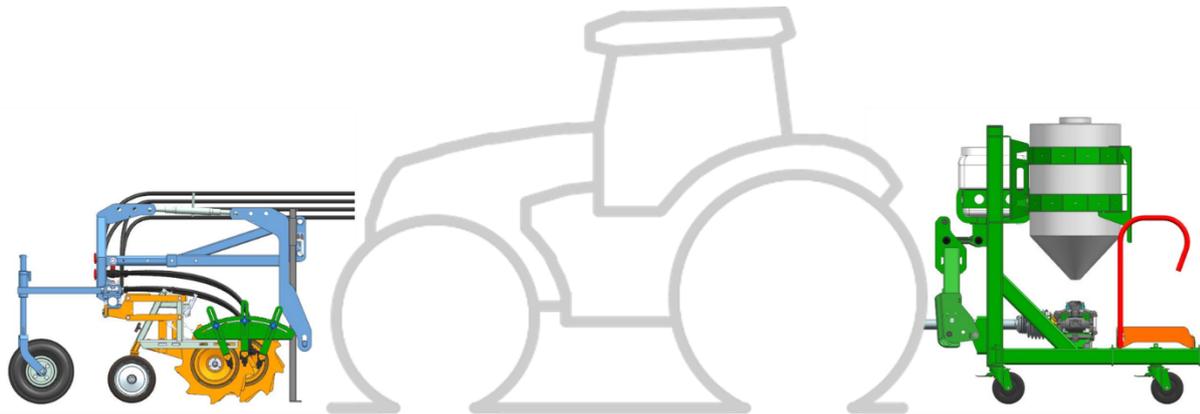


Abbildung 16: 2-D-Grafik der Front-Heck-Gerätekombination für die Ausbringung des Mulchmaterials

Basis für den Frontanbau ist eine Schmotzer-Fronthacke mit einer Arbeitsbreite von 2,66 m (erweiterbar auf 3,36 m). Auf der Profilschiene sind die Parallelogramme sowie die Stützräder verschiebbar, um verschiedene Reihenabstände realisieren zu können. Das Austragssystem mit drei Düsen pro Reihe ist an den Parallelogrammen angebracht. Durch die mittig angeordnete Düse wird die Komponente A und durch die äußeren beiden Düsen Komponente B ausgetragen. Die Sprühstrahlen der Düsen werden so eingestellt, dass sie sich kurz vor dem Auftreffen auf dem Boden kreuzen und so eine Vermischung der Komponenten realisiert wird. Die Düsen werden durch elektrisch angesteuerte Membranventile am Düsenkörper ein- und ausgeschaltet. Die in Abbildung 16 dargestellten Hackschutzrollen wurden für die Versuche abmontiert, da im Versuchsjahr 2022 nicht in einem bereits etablierten Pflanzenbestand appliziert wurde und somit keine Kulturpflanzen geschützt werden mussten.

Der Aufbau am Heck des Fahrzeugs wurde vollständig neu entwickelt. Hier sind zwei PE-Behälter mit je 200 l Fassungsvermögen für die Komponente A und B angebracht und zwischen diesen Tanks befindet sich ein PE-Behälter mit 50 l Fassungsvermögen für Klarwasser zu Reinigungszwecken. Im Tank der ölhaltigen Komponente A befindet sich ein hydraulisch angetriebenes Rührwerk, um die Feststoffe der Suspension in Schwebelage zu halten. Im Tank der wasserhaltigen Komponente B wird die Suspension durch hydraulisches Umwälzen stabilisiert. Unter den Tanks sind Zahnradpumpen angebracht, mit denen die jeweilige Komponente gefördert wird. Der Pumpenantrieb erfolgt mechanisch mittels der Heckzapfwelle. Der Flüssigkeitskreislauf ist als Konstantdrucksystem mit Einzelreihenschaltung für bis zu sechs Reihen ausgeführt. Um Ablagerungen in den Schlauchleitungen zu vermeiden, ist ein Zirkulationssystem oder auch Druckumlaufsystem für beide Flüssigkeiten vorgesehen. Ein Schema des Flüssigkeitskreislaufs des Applikationsgeräts ist in Abbildung 17 und der Front- und Heckanbau in Abbildung 18 zu sehen.

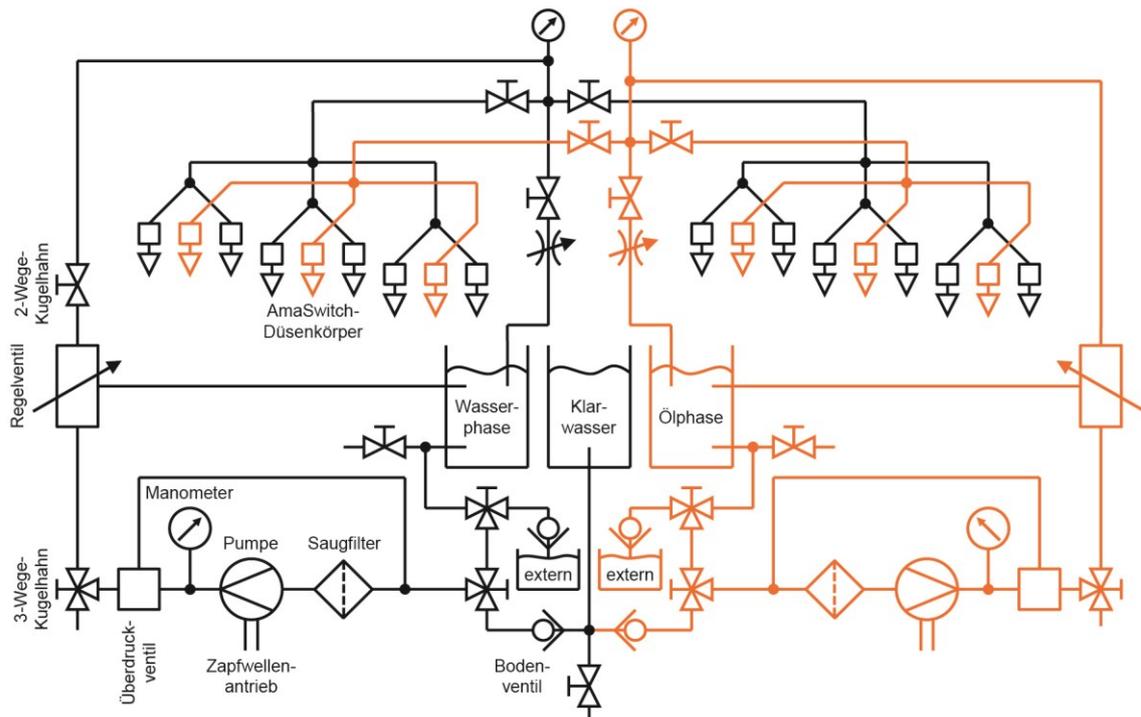


Abbildung 17: Flüssigkeitskreislauf mit Konstantdrucksystem

Ein Prototyp des praxisnahen Applikationsgeräts für Mulchmaterial in Reihenkulturen wurde im Winter 2021/2022 aufgebaut und stand für die Feldversuche ab Frühjahr 2022 zur Verfügung.



Abbildung 18: 3-D-Grafik des Front- und Heckanbaus des Applikationsgeräts

Erfahrungen aus den Feldversuchen

Für das Ein- und Ausschalten der Düsen wurden AmaSwitch-Ventile verwendet. Bestandteil der Ventile ist ein elektrisch betriebener Steuerungsmotor, der vor dem Düsenstock angebracht ist und mithilfe von Membran und Durchflussplättchen die Öffnung und Schließung steuert. Für den Betrieb mit der wasserhaltigen Komponente B haben sich diese Ventile bewährt. Bei der deutlich höherviskosen, ölhaltigen Komponente A führten Ablagerungen in den Ventilen zu Fehlfunktionen. Daher wurden die Ventile im Flüssigkeitskreislauf der Komponente A ausgebaut und ein mechanischer Tropfstopp (Auslösen der Druckfeder zwischen 0,8 und 1 bar) eingebaut. Das Ein- und Ausschalten der Düsen der Komponente A musste im Rahmen der Versuche mittels eines manuellen Kugelhahns erfolgen.

Für den Austrag der Komponenten des Mulchmaterials haben sich in Vorversuchen Düsen vom Typ AGROTOP APG mit dem Farbcode Schwarz für die ölhaltige Komponente A und dem Farbcode Grau für die wasserhaltige Komponente B bewährt. Der Spritzwinkel der Düsen beträgt 60°. In den Feldversuchen kam es jedoch nach mehrmaligem Ein- und Ausschalten nach zum Teil längeren Arbeitsunterbrechungen gelegentlich zu Ablagerungen und Verstopfungen an den Düsen, die zu einem ungleichmäßigen Sprühbild und damit einer nicht optimalen Vermischung und Applikation der Komponenten führten. Daher sind im Bereich der Austragstechnik weitere Anpassungen an die Eigenschaften der beiden Komponenten nötig, um eine zuverlässige Applikation zu ermöglichen. Diese Optimierung konnte im Rahmen der Projektlaufzeit nicht mehr bewerkstelligt werden.

Das äußere Vermischen der beiden Komponenten im Sprühstrahl führte nicht bei allen Versuchen zu einer optimalen Ausbildung der Mulchschicht. Insbesondere bei krümeligem Boden war ein schnelles Versickern der wasserhaltigen Komponente B zu beobachten. Daher sollte in weiteren Untersuchungen ein Vermischen der Komponenten vor dem Austrag, zum Beispiel mittels einer Statikmischeinheit, geprüft werden. Möglicherweise könnte hierdurch eine bessere und homogenere Ausbildung der Mulchschicht erreicht werden.

Fazit Applikationstechnik

Mit dem neu entwickelten Applikationsgerät konnte das Mulchmaterial im Rahmen der Feldversuche gut ausgebracht werden. Grundsätzlich erscheint das Konzept auch für einen praxistauglichen Einsatz in der Landwirtschaft geeignet. Für einen zuverlässigen und langfristigen Einsatz des Geräts zur Applikation der Mulchmaterialkomponenten sind jedoch noch weitere Optimierungen notwendig. Insbesondere die Anfälligkeit zur Bildung von Ablagerungen der Feststoffe der Suspensionen im Flüssigkeitskreislauf stellt eine Herausforderung dar, die in weiteren Arbeiten gelöst werden muss.

6.3 Vorversuche zum optimalen Applikationszeitpunkt

Aus den Versuchen geht hervor, dass sowohl die Schichtdicke als auch der zeitliche Abstand zwischen Applikation und Pflanzung bzw. Saat einen Einfluss haben. Eine geringere Schichtdicke lässt beim Einstechen mit dem Pflanz- bzw. Stechwerkzeug mehr Mulchmaterial in das Pflanzloch gelangen. Das ist bei einer größeren Schichtdicke nicht der Fall, da dadurch das Material insgesamt stabiler ist. Auch scheint die Feuchtigkeit des Bodens keine große Rolle zu spielen. Zwischen den Varianten „feucht“ und „trocken“ sind keine Unterschiede auffällig. Dagegen hat der Applikationszeitpunkt einen Einfluss auf die Belastbarkeit des Materials. Je mehr Zeit zwischen dem Aufspritzen des Mulchmaterials und der Pflanzung vergeht, desto mehr Mulchmaterialteile reißen beim Einstechen ab und fallen in das Pflanzloch. Aus diesem Grund ergibt sich als Kompromiss eine Empfehlung für ein Pflanzen bzw. Säen 24 Stunden nach der Applikation. Die Temperatur hat einen eher untergeordneten Einfluss: Es kann zwar ein leichter Ölfilm auf den Stechwerkzeugen bei den Versuchen bei einer Temperatur von 10 °C beobachtet werden, allerdings sollten die Auswirkungen auf die Pflanzung nicht relevant sein. Die fotografische Dokumentation der Versuche ist in Abbildung 19, Abbildung 20, Abbildung 21 und Abbildung 22 zu sehen.

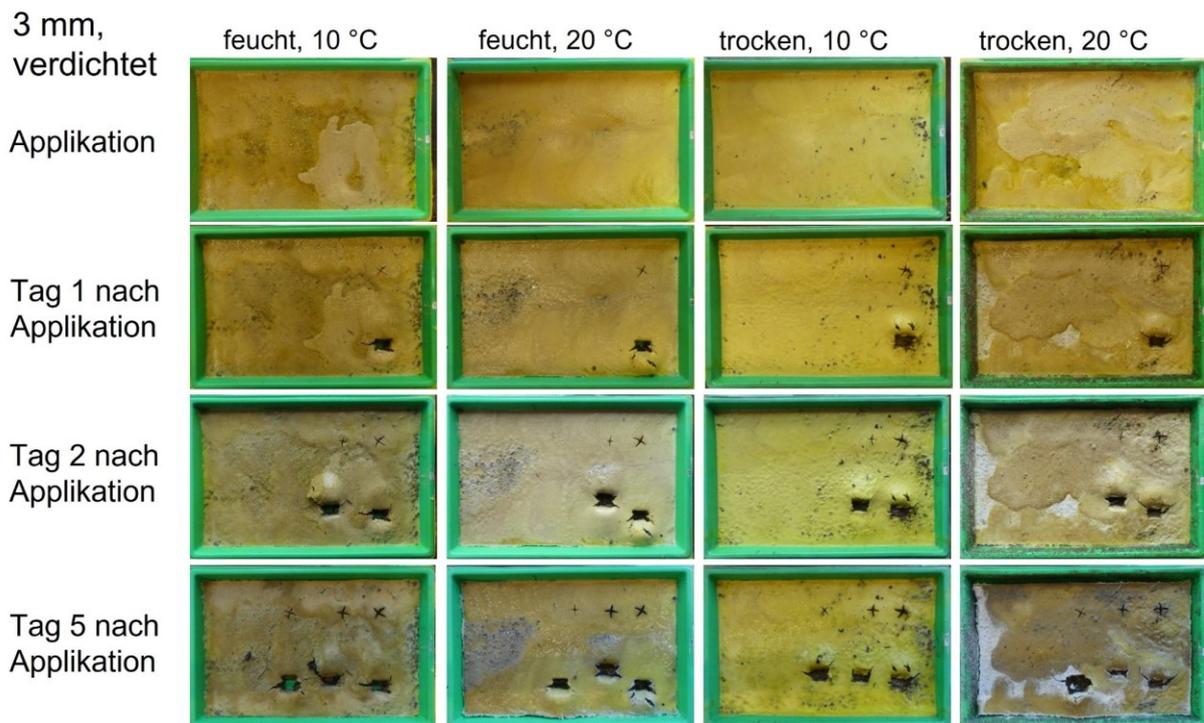


Abbildung 19: Bestimmung des optimalen Saat- bzw. Pflanzzeitpunkts – Varianten mit einer Schichtdicke von 3 mm auf feinkrümeligem, nachverdichtetem Untergrund

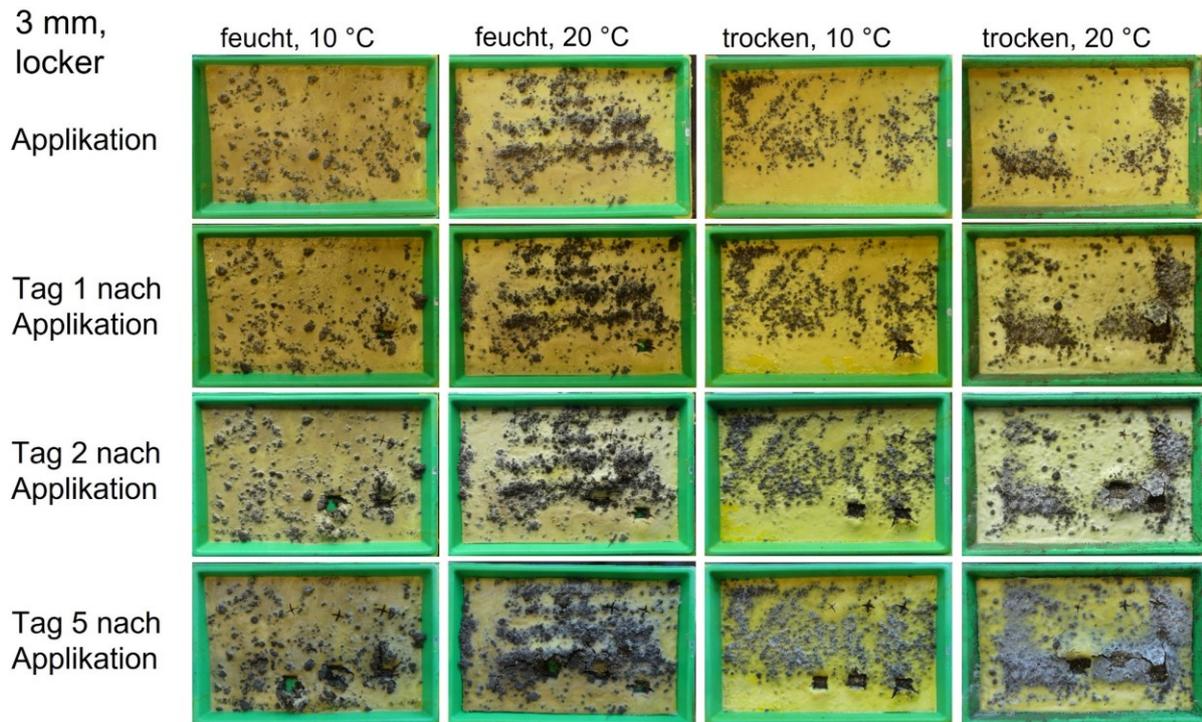


Abbildung 20: Bestimmung des optimalen Saat- bzw. Pflanzzeitpunkts – Varianten mit einer Schichtdicke von 3 mm auf grobkrümeligem, lockerem Untergrund

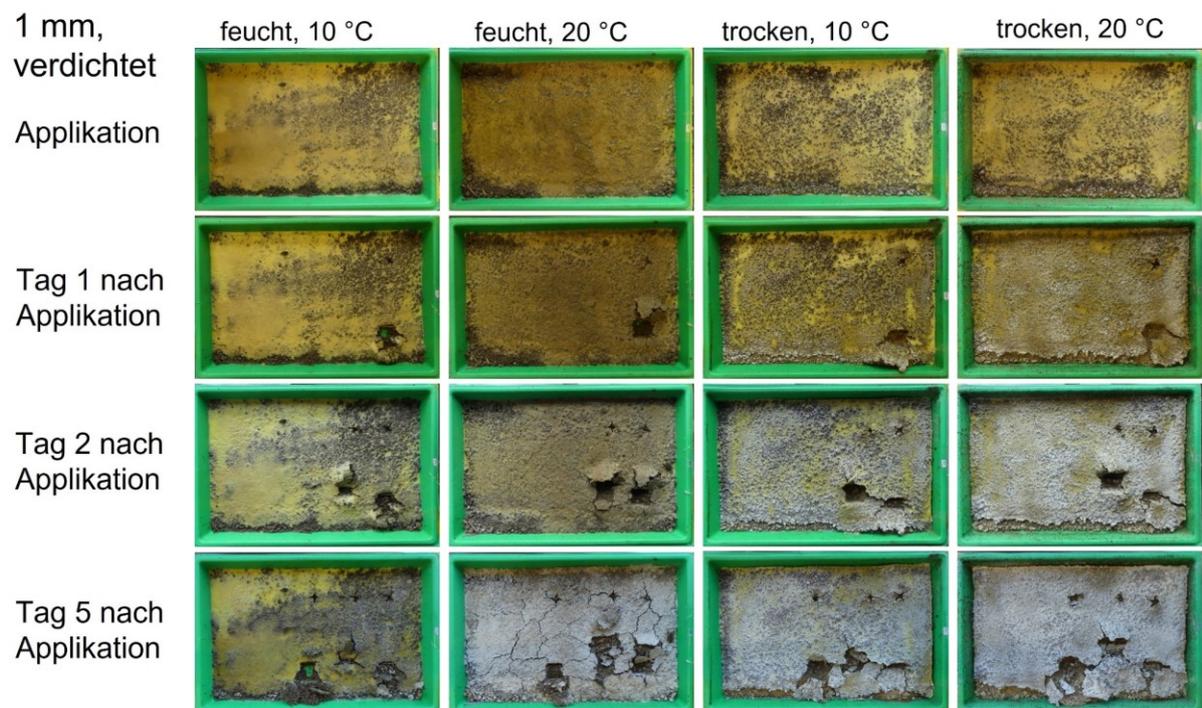


Abbildung 21: Bestimmung des optimalen Saat- bzw. Pflanzzeitpunkts – Varianten mit einer Schichtdicke von 1 mm auf feinkrümeligem, nachverdichtetem Untergrund

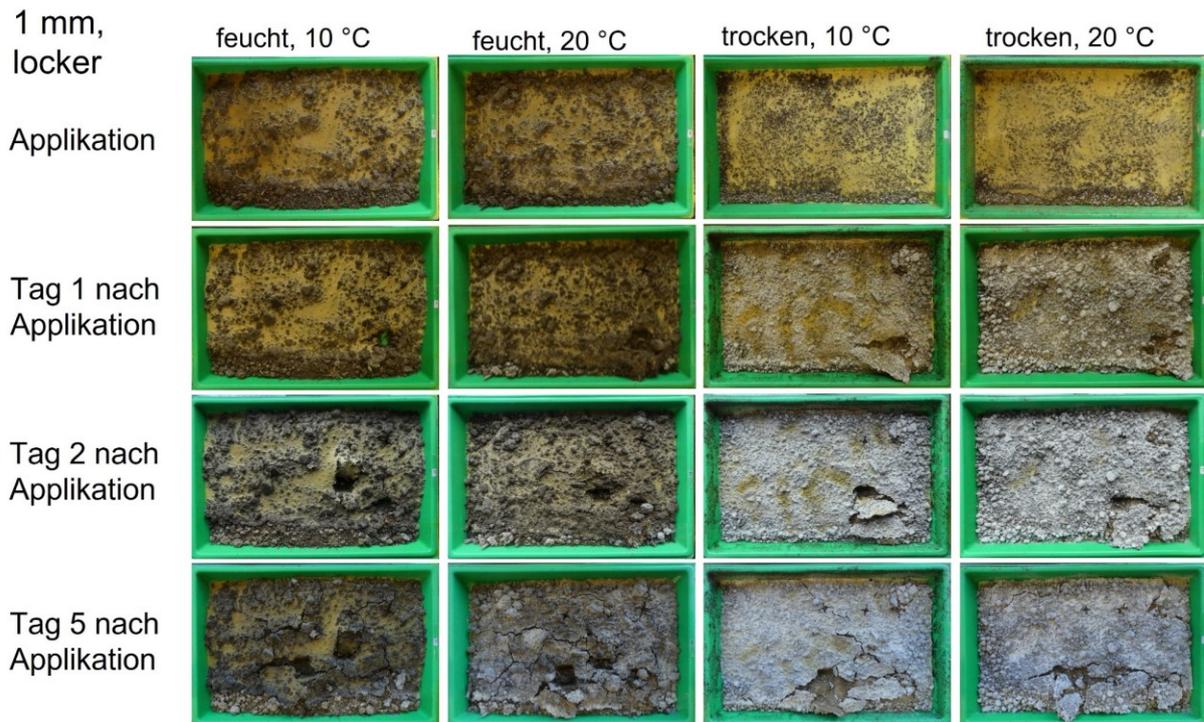


Abbildung 22: Bestimmung des optimalen Saat- bzw. Pflanzzeitpunkts – Varianten mit einer Schichtdicke von 1 mm auf grobkrümeligem, lockerem Untergrund

6.4 Feldversuche

6.4.1 Kopfsalat

Niederbayern, Satz 1

Die Applikation des Mulchmaterials erfolgte neun Tage nach der Pflanzung der Setzlinge zwischen den Reihen. Die Salatsetzlinge waren bei der Pflanzung gleichmäßig groß und wüchsig, es gab keine Auffälligkeiten. Bei der Applikation des Mulchmaterials betrug die Temperatur 1,4 °C, die Windgeschwindigkeit 1,8 m/s und der Tagesniederschlag 0 mm. Durch Abdrift wurden bei der Applikation der Parzellen 4.3 und 4.4 (MuNaRo Schichtdicke 2 mm) die äußeren Salatreihen mit Mulchmaterial benetzt. Sieben Tage nach der Applikation waren in der Nullvariante und in den MuNaRo-Varianten vereinzelt erste Keimblätter von Beikräutern sichtbar. Die Kopfsalatpflanzen, die mit dem Mulchmaterial in Kontakt kamen, waren schwächer entwickelt. Die Mulchmaterialschiicht wies Risse auf und war in der 1-mm-Variante weiß, in der 2-mm-Variante weiß-bräunlich gefärbt.

Bei der Bonitur nach 29 Tagen fiel auf, dass die Beikräuter in den MuNaRo-Parzellen vor allem „in der Reihe“ aufgelaufen waren. Die Kontrollvariante und irrtümlich auch die Nullvariante wurden gehackt. Bei der Bonitur nach 50 Tagen war eine starke Verunkrautung neben den nicht mit dem Mulchmaterial behandelten Fahrspuren zu verzeichnen. Der Mulchstreifen wies schwarze Verfärbungen auf und bei der Ernte nach 62 Tagen wurden dann grünliche und bläuliche Verfärbungen festgestellt.

Als Leitbeikräuter sind vor allem Acker-Hellerkraut (*Thlaspi arvense*), Echte Kamille (*Matricaria chamomilla*) und Gewöhnliches Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*) zu nennen, aber auch Gewöhnliche Vogelmiere (*Stellaria media agg.*), Gewöhnliches Greiskraut (*Senecio vulgaris*) und Purpurrote Taubnessel (*Lamium purpureum*) wurden festgestellt.

Der zeitliche Verlauf des Bodenbedeckungsgrads ist in Abbildung 23 dargestellt. In der Nullvariante steigt der Grünanteil nach Tag 40 deutlich an, während er in den anderen Varianten im Mittel stets unter 15 % liegt. Die MuNaRo-Variante mit 2 mm weist über den gesamten Versuchszeitraum den geringsten Bodenbedeckungsgrad auf. Aber auch bei der MuNaRo-Variante mit 1 mm liegt der Bodenbedeckungsgrad bis zum Ende des Untersuchungszeitraums unter dem der Kontrolle. In der Tendenz ist festzustellen, dass ein größerer Materialauftrag den Bodenbedeckungsgrad länger auf niedrigem Niveau hält.

83 Tage nach der Applikation waren auf der Fläche noch vereinzelt Stücke des Mulchmaterials zu finden, siehe Abbildung 24. Eine Erfassung der Abmessungen der Stücke war nicht möglich.

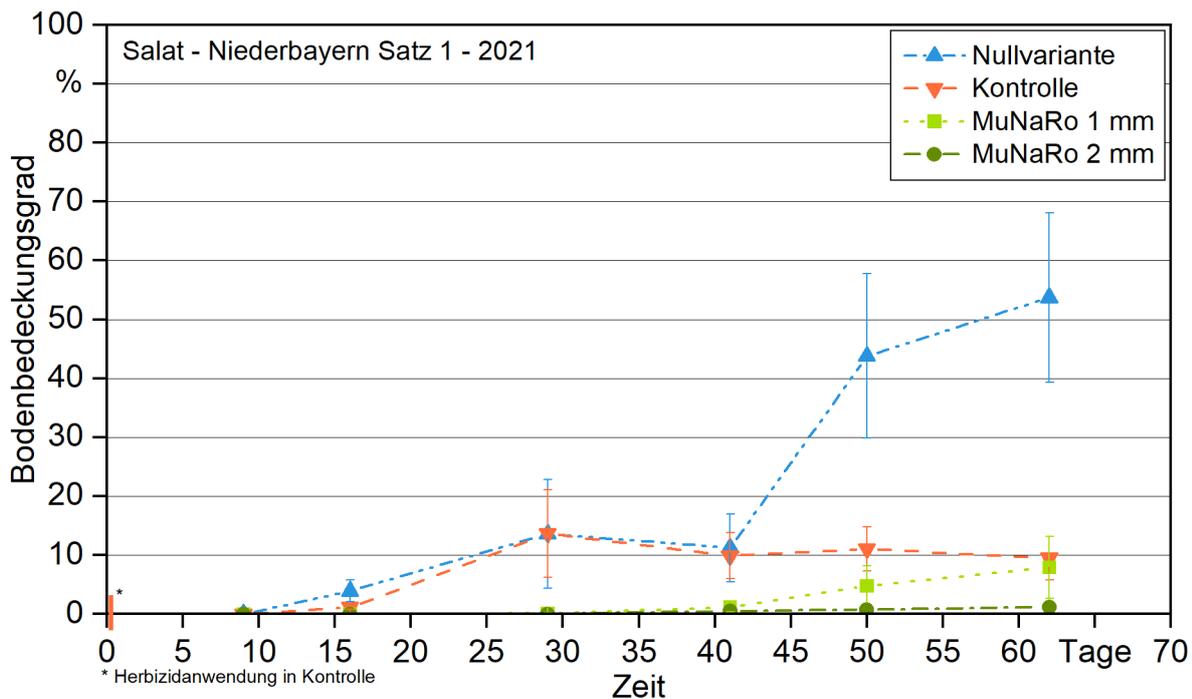


Abbildung 23: Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2021, Satz 1, 62 Tage Kulturdauer

In Abbildung 25 werden die mittleren Kopfgewichte pro Parzelle der vier Varianten im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2021, Satz 1 gegenübergestellt. Die statistische Auswertung erfolgte über einen paarweisen Mittelwertvergleich nach Tukey mit einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$. Die Mittelwerte der Kopfgewichte der vier Varianten unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, jedoch ist bei der Variante MuNaRo 2 mm zwischen den Parzellen eine höhere Spannweite festzustellen.



Abbildung 24: Reste des Mulchmaterials an Bodenstücken anhaftend, 83 Tage nach der Applikation im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2021, Satz 1

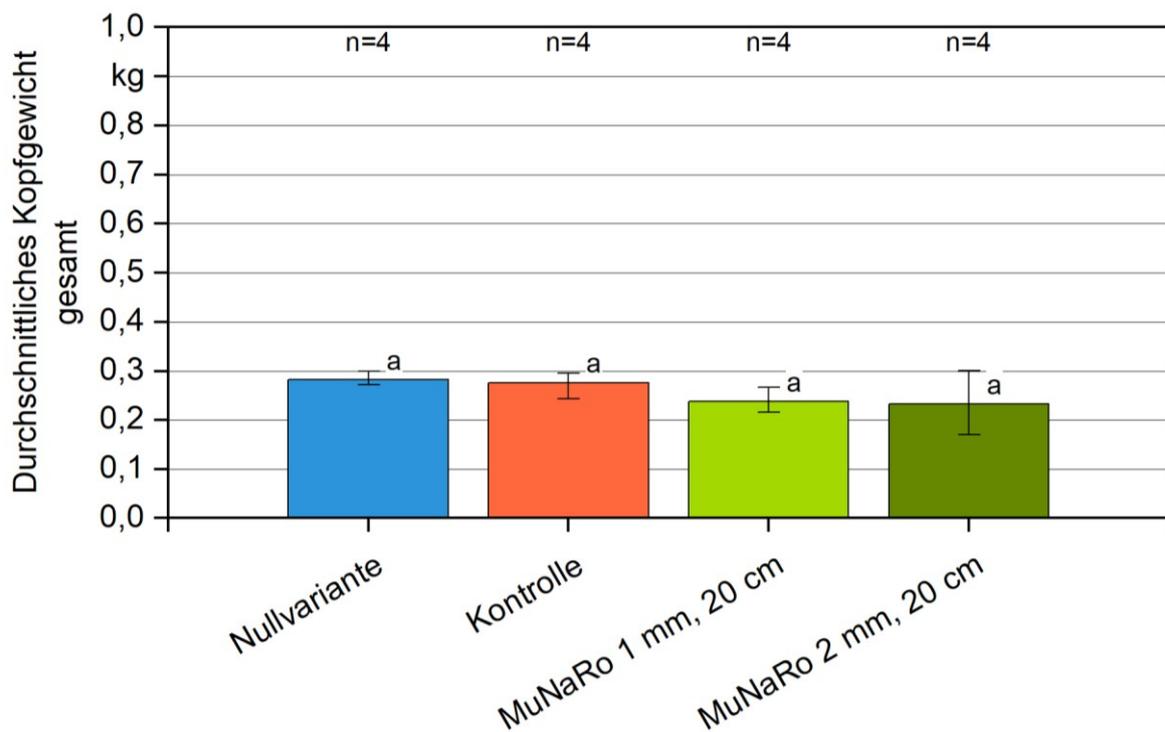


Abbildung 25: Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen Kopfgewichts der vier Varianten im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2021, Satz 1, 62 Tage Kulturdauer

Niederbayern Satz 2

Am 29.05.2021 erfolgte die Pflanzung der Setzlinge im Satz 2 und vier Tage später wurde das Mulchmaterial zwischen den Reihen appliziert. Die Temperatur am Tag der Applikation betrug 16,7 °C, die Windgeschwindigkeit lag bei 1,8 m/s und es gab keinen Niederschlag. Das Salatbeet wurde vor der Applikation bewässert, wodurch der Boden bei der Applikation sehr feucht war. Das Mulchmaterial bildete auch unter diesen Bedingungen eine Schicht in beiden MuNaRo-Varianten aus, jedoch etwas verzögert. Am Abend des Applikationstags war das Mulchmaterial noch feucht und gelblich gefärbt.

In Abbildung 26 ist der Bodenbedeckungsgrad im Vergleich der Varianten im zeitlichen Verlauf dargestellt. Wie beim Satz 1 steigt auch beim Versuch Satz 2 der Bodenbedeckungsgrad in der Nullvariante an, während das Beikraut in den anderen drei Varianten konstant auf geringem Niveau unter 10 % verharrt. Die Kontrollvariante weist den geringsten Bodenbedeckungsgrad auf. Ähnlich wie bei Satz 1 lief das Beikraut vermehrt neben den nicht mit Mulchmaterial behandelten Fahrspuren auf, während im mittleren Applikationsbereich weniger Beikraut festzustellen war. Die MuNaRo-Variante mit 2 mm unterdrückte das Beikraut auch in diesem Versuch tendenziell etwas stärker als die Variante mit 1 mm.

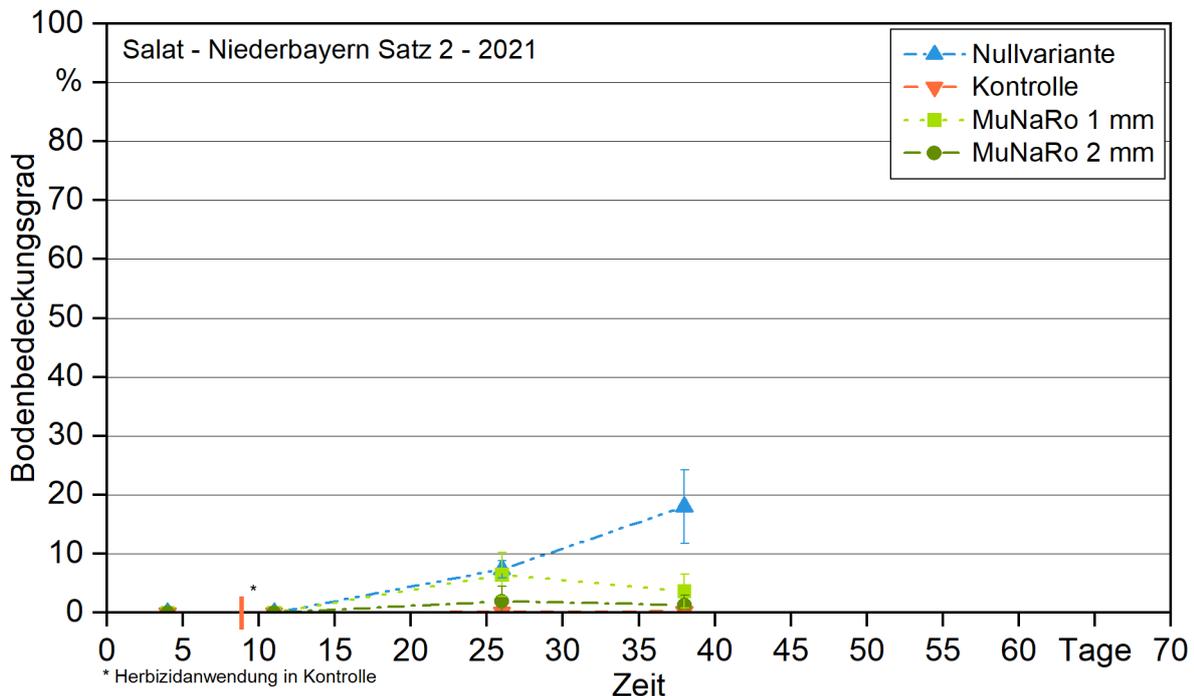


Abbildung 26: Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2021, Satz 2, 40 Tage Kulturdauer

Als Leitbeikraut ist in erster Linie Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album agg.*) zu nennen, aber auch Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) und Purpurrote Taubnessel (*Lamium purpureum*) konnten vermehrt festgestellt werden.

Bei der Sichtung nach Rückständen des Mulchmaterials konnten 49 Tage nach Applikation keine Materialreste am Feld gefunden werden.

Die durchschnittlichen Kopfgewichte der Varianten sind als Mittelwert der jeweils vier Versuchspartien der Abbildung 27 zu entnehmen. Die Mittelwerte der Kopfgewichte der vier Varianten weisen keinen signifikanten Unterschied auf. Bei der Kontrolle und MuNaRo-1-mm-Variante sind höhere Spannweiten des durchschnittlichen Kopfgewichts im Vergleich zu den beiden anderen Varianten zu beobachten.

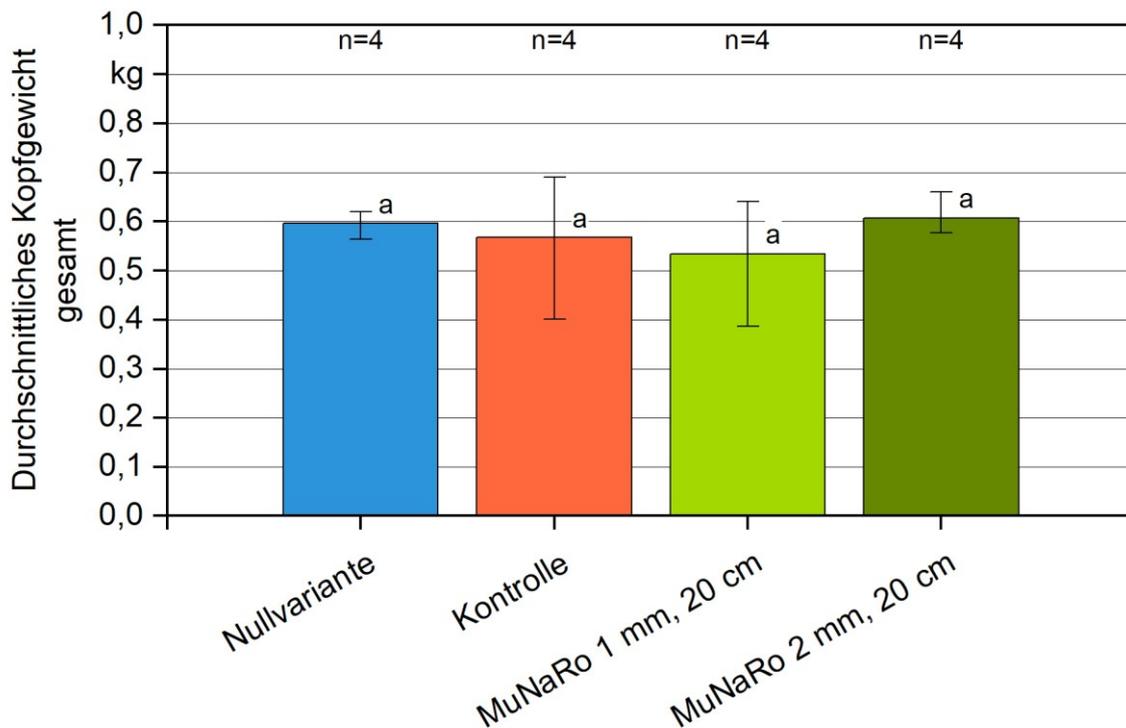


Abbildung 27: Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen Kopfgewichts der vier Varianten im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2021, Satz 2, 40 Tage Kulturdauer

Die Ergebnisse der Sichtbonitur zur Ernte sind in Tabelle 15 aufgelistet. Auf einer Skala von eins bis neun machten die Salatköpfe der Kontrollvariante mit neun den besten Eindruck, gefolgt von den MuNaRo-Varianten mit sieben und der Nullvariante mit sechs. Kopfsalate mit einer Bewertung unter fünf gelten als nicht mehr marktfähig.

Tabelle 15: *Ergebnisse der Sichtbonitur des Kopfsalats zum Zeitpunkt der Ernte in Niederbayern (Versuchsjahr 2021 – Satz 2, 40 Tage Kulturdauer)*

Variante		Minimum	Null variante	Kontrolle	MuNaRo 1 mm	MuNaRo 2 mm	Maximum	
Fülle	offen	1	8	9	8	8	9	geschlossen
Geruch	unauffällig	1	1	1	1	1	9	auffällig
Kopfbildung	fehlend	1	9	9	9	9	9	sehr gut
Kopffestigkeit	locker	1	8	8	8	8	9	fest
Kopfschluss	offen	1	8	8	8	8	9	geschlossen
Farbe	hellgrün	1	7	9	9	8	9	dunkelgrün
Sonnenbrand	fehlend	1	1	1	1	1	9	stark
Salatfäule	fehlend	1	3	2	2	2	9	sehr stark
Falscher Mehltau	fehlend	1	1	1	1	1	9	sehr stark
Trockenrand	fehlend	1	2	1	2	2	9	sehr stark
Innenbrand	fehlend	1	1	1	1	1	9	sehr stark
Blattläuse	fehlend	1	1	1	1	1	9	sehr stark
Gesamteindruck	schlecht	1	6	9	7	7	9	sehr gut

Unterfranken, Satz 1

Die Applikation des Mulchmaterials erfolgte sieben Tage nach der Pflanzung der Salatsetzlinge. Die Temperatur am Tag der Applikation betrug 3,1 °C, die Windgeschwindigkeit lag bei 2,8 m/s und es regnete nicht. Abbildung 28 zeigt beispielhaft die Ausbringung des Mulchmaterials mit dem Applikationsgerät SAM zwischen Kopfsalatreihen. Bei der Applikation des Mulchmaterials waren mehrere ungeplante Ereignisse zu verzeichnen: Teilweise waren die Schutzbleche des Applikationsgeräts, siehe auch Abbildung 2, zu tief eingestellt und schnitten durch die Erdpresstöpfe der Salatsetzlinge. Dadurch wurden einige Jungpflanzen beschädigt. Zudem führte Wind im Bereich einer Parzelle der MuNaRo-2-mm-Variante zur Abdrift der Sprühstrahlen und es wurden einige Setzlinge mit dem Mulchmaterial benetzt. Außerdem führte eine verstärkte Pulsation der Flüssigkeitsströme der Komponenten A und B dazu, dass nicht die gesamte Boniturfläche mit dem Mulchmaterial bedeckt wurde und somit nicht abgedeckte Flächenteile die Auswertung beeinflussten.



Abbildung 28: Ausbringung des spritzbaren Zwei-Komponenten-Mulchmaterials auf Basis Nachwachsender Rohstoffe zwischen Kopfsalatreihen mit dem Applikationsgerät SAM

Sieben Tage nach der Applikation waren erste Keimblätter von Beikräutern festzustellen, insbesondere auf den pulsationsbedingt nicht mit Mulchmaterial bedeckten Flächen. Das Mulchmaterial war weiß gefärbt und leicht brüchig. Die durch die Schutzbleche geschädigten Pflanzen waren unterdurchschnittlich entwickelt.

21 Tage nach der Applikation war zu beobachten, dass Beikräuter durch entstandene Risse im Mulchmaterial wuchsen. Die vom Mulchmaterial benetzten Salatpflanzen hatten sich teilweise erholt.

50 Tage nach der Applikation war die Nullvariante zum Teil stark verunkrautet, im Gegensatz dazu waren Beikräuter der Kontrollparzellen kaum über das Keimblattstadium hinausgewachsen. Bei der MuNaRo-Variante 1 mm waren die Beikräuter häufiger durch das Material gewachsen als bei der 2-mm-Variante. In beiden MuNaRo-Varianten trat die Verunkrautung weitestgehend „in der Reihe“ auf. Die Entwicklung der Salatköpfe in der Variante MuNaRo 2 mm war verzögert, hier wiesen die Köpfe bisweilen nur einen Durchmesser von 10 bis 20 cm auf. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in dieser Variante ein Teil der Setzlinge mit Mulchmaterial benetzt und diese zudem teilweise durch das Schutzblech beschädigt wurden.

Als Leitbeikräuter wurden Acker-Hellerkraut (*Thlaspi arvense*) zu 80 % des gesamten Beikrautbesatzes identifiziert, danach folgt die Kleine Brennnessel (*Urtica urens*) mit ca. 15 %.

Des Weiteren wurden vermehrt Gewöhnliches Greiskraut (*Senecio vulgaris*), Kleinblütiges Knopfkraut (*Galinsoga parviflora*) und Ufer-Ampferknöterich (*Persicaria lapathifolia*) festgestellt.

Den Bodenbedeckungsgrad im zeitlichen Verlauf zeigt Abbildung 29. Die Grünanteile steigen ab dem Tag 20 sowohl in der Nullvariante als auch in der MuNaRo-Variante 1 mm an. Der Bodenbedeckungsgrad in der Kontrolle und MuNaRo-Variante 2 mm bleibt während des gesamten Untersuchungszeitraums unter 8 %.

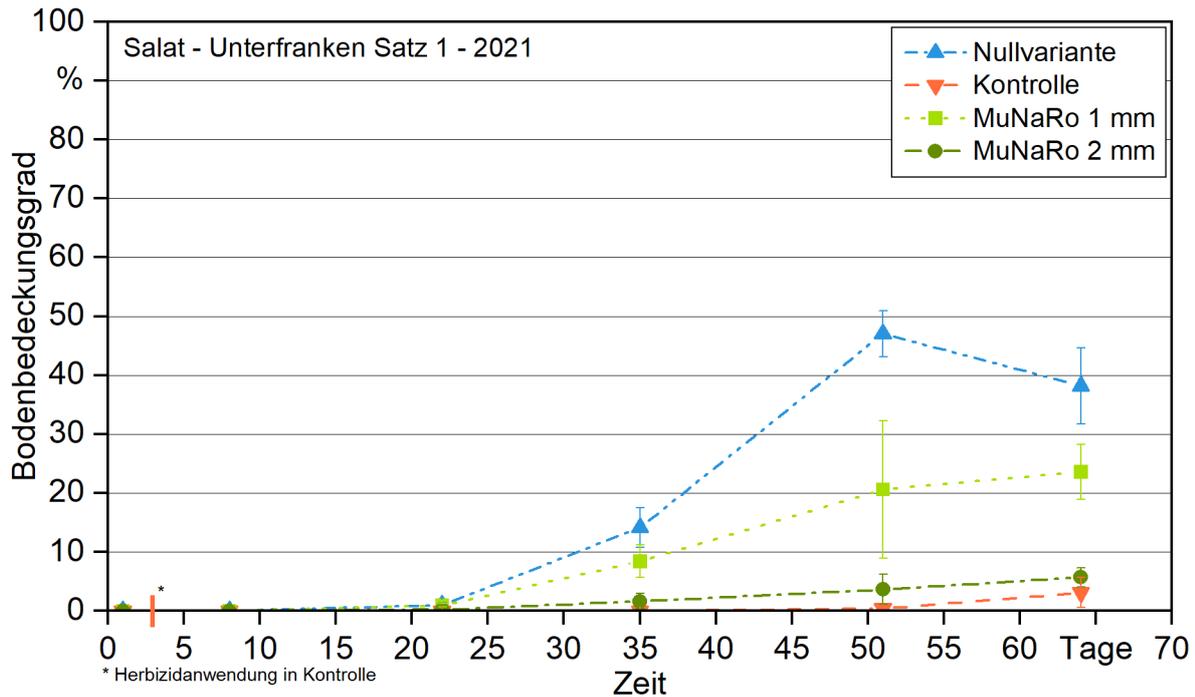


Abbildung 29: Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Kopfsalat, Unterfranken, 2021, Satz 1, 70 Tage Kulturdauer

Die durchschnittlichen Kopfgewichte der Varianten, die sich im paarweisen Mittelwertvergleich nicht signifikant voneinander unterscheiden, zeigt Abbildung 30. Das geringste mittlere Kopfgewicht weisen die Salate der Variante MuNaRo 2 mm auf. Bereits bei der Bonitur waren diese Salatköpfe durch ihren kleineren Durchmesser auffällig. Gründe für die verzögerte Entwicklung können die bereits beschriebenen Unregelmäßigkeiten bei der Applikation des Mulchmaterials sein.

Bei der Rückstandsbonitur durch Sichtprüfung 88 Tage nach der Applikation konnten keine Materialreste auf dem Feld festgestellt werden.

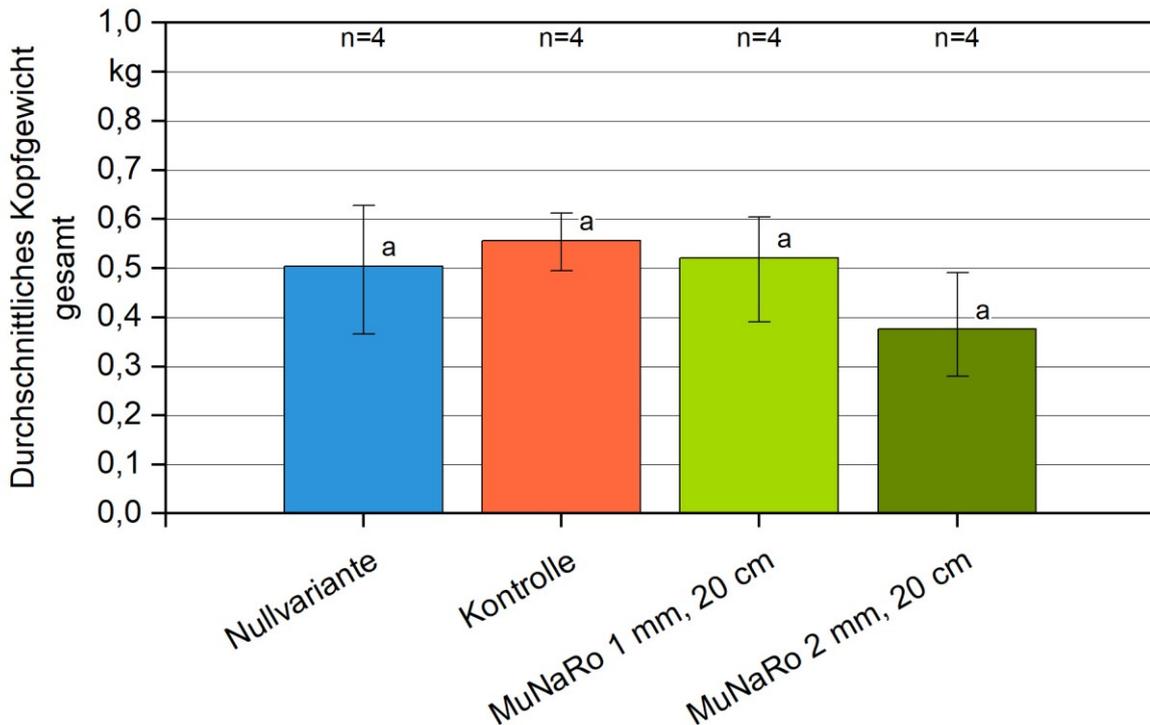


Abbildung 30: Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen Kopfgewichts der vier Varianten im Versuch Kopfsalat, Unterfranken, 2021, Satz 1, 70 Tage Kulturdauer

Unterfranken, Satz 2

Die Salatsetzlinge wurden am 03.07.2021 gepflanzt und vier Tage später das Mulchmaterial zwischen den Reihen appliziert. Am Applikationstag wurden 18,2 °C gemessen, die Windgeschwindigkeit lag bei 1,2 m/s und der Niederschlag betrug 0,6 mm. Auch bei dieser Applikation wurden Salatpflanzen mit Mulchmaterial benetzt und wiesen in der Folge einen verminderten Wuchs auf. Während der einzelnen Boniturtermine war die unabhängig von der Behandlungsvariante sehr heterogene Verunkrautung zwischen den Parzellen auffällig. Dies zeigte auch Auswirkungen auf das Wachstum der Kulturpflanze.

Als Leitbeikraut konnte der Weiße Gänsefuß (*Chenopodium album* agg.) identifiziert werden. Daneben wurden auch Kleinblütiges Knopfkraut (*Galinsoga parviflora*), Gewöhnliches Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*), Gewöhnliches Greiskraut (*Senecio vulgaris*) und Kleine Brennnessel (*Urtica urens*) festgestellt.

In Abbildung 31 ist der Bodenbedeckungsgrad der Varianten im zeitlichen Verlauf dargestellt. Insbesondere in der Nullvariante ist ein starker Beikrautauwuchs zu verzeichnen. Bei den restlichen Versuchsvarianten liegt der Bodenbedeckungsgrad unter 5 %. Es sind keine Unterschiede im Bodenbedeckungsgrad zwischen den Varianten Kontrolle, MuNaRo 1 mm und MuNaRo 2 mm festzustellen.

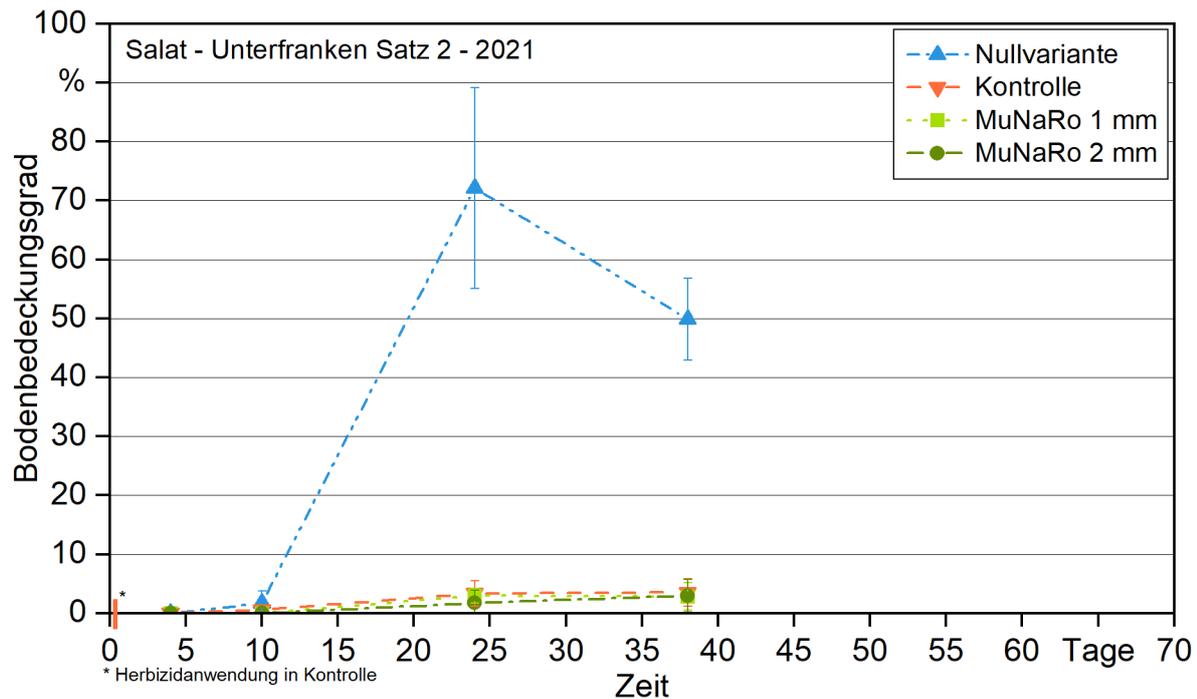


Abbildung 31: Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Kopfsalat, Unterfranken, 2021, Satz 2, 38 Tage Kulturdauer

Abbildung 32 zeigt die mittleren Kopfgewichte der Salate der Versuchsvarianten. Die Mittelwerte weisen keinen signifikanten Unterschied auf. Auffällig ist jedoch die hohe Spannweite zwischen den einzelnen Wiederholungen.

48 Tage nach der Applikation konnten nur vereinzelt geringe Rückstände des Mulchmaterials am Feld gefunden werden.

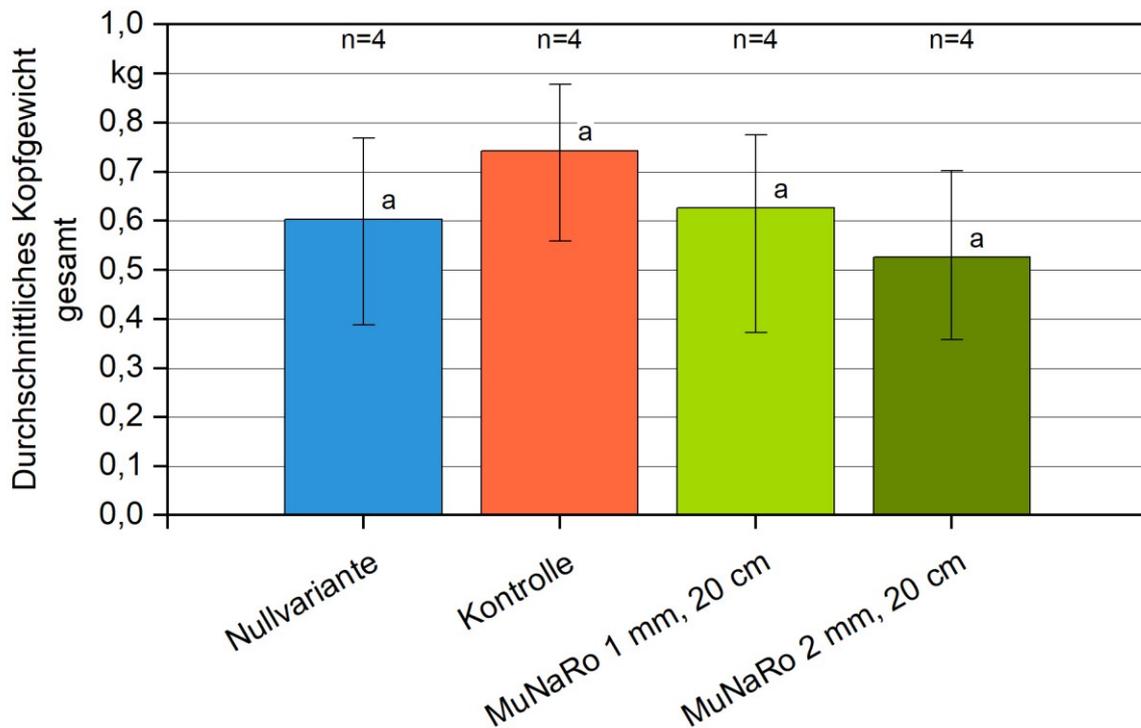


Abbildung 32: Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen Kopfgewichts der vier Varianten im Versuch Kopfsalat, Unterfranken, 2021, Satz 2, 38 Tage Kulturdauer

Niederbayern, 2022

Im Unterschied zu den Feldversuchen im Jahr 2021 wurde das Mulchmaterial bereits einen Tag vor der Pflanzung der Setzlinge ausgebracht. Die Prüfung auf Gastropoden ergab weder vor noch nach der Applikation des Mulchmaterials ein Ergebnis. Mögliche Gründe könnten die geringere Aktivität von Schnecken bei hohen Sommertemperaturen sein oder ein generell fehlender Besatz von Schnecken auf dieser Fläche.

Die Pflanzung erfolgte mittels einer Becherpflanzmaschine am 07.07.2022. Bei der Pflanzung wurde durch die Druckrollen der Pflanzmaschine die zuvor geschlossene Mulchschicht beschädigt und es waren Risse im Mulchmaterial festzustellen. Die Salatjungpflanzen waren in etwa gleich groß und hatten in der Regel fünf bis sechs Blätter.

Acht Tage nach der Pflanzung waren vereinzelt Unkräuter im Keimblattstadium in nahezu allen Parzellen zu beobachten. Nach 21 Tagen konnten vermehrt Beikräuter in allen Parzellen gezählt werden. Die meisten davon im Keimblattstadium. Am häufigsten traten dabei Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*) und Acker-Schachtelhalm (*Equisetum arvense*) auf. Bei der Bonitur war ein etwas verzögertes Wachstum der Setzlinge in den MuNaRo-Varianten zu beobachten. Daher wurde das Wurzelwachstum beurteilt, indem aus jeder Versuchsvariante fünf Wurzelballen ausgegraben und optisch begutachtet wurden. Hierbei wurde für die Setzlinge in den MuNaRo-Varianten eine tendenziell schwächere Wurzelentwicklung als bei der Kontrollvariante festgestellt.

Nach 34 Tagen wurde der Salat geerntet. Eine weitere detaillierte Beikrautbonitur konnte nicht durchgeführt werden, da der Erntezeitpunkt durch den Betriebsleiter kurzfristig vorgezogen wurde. Das Ergebnis der fotografischen Bonitur zeigt Abbildung 33 im Überblick. Das etwas verzögerte Wachstum der Salate in den MuNaRo-Varianten ist insbesondere bei Tag 21 ersichtlich.

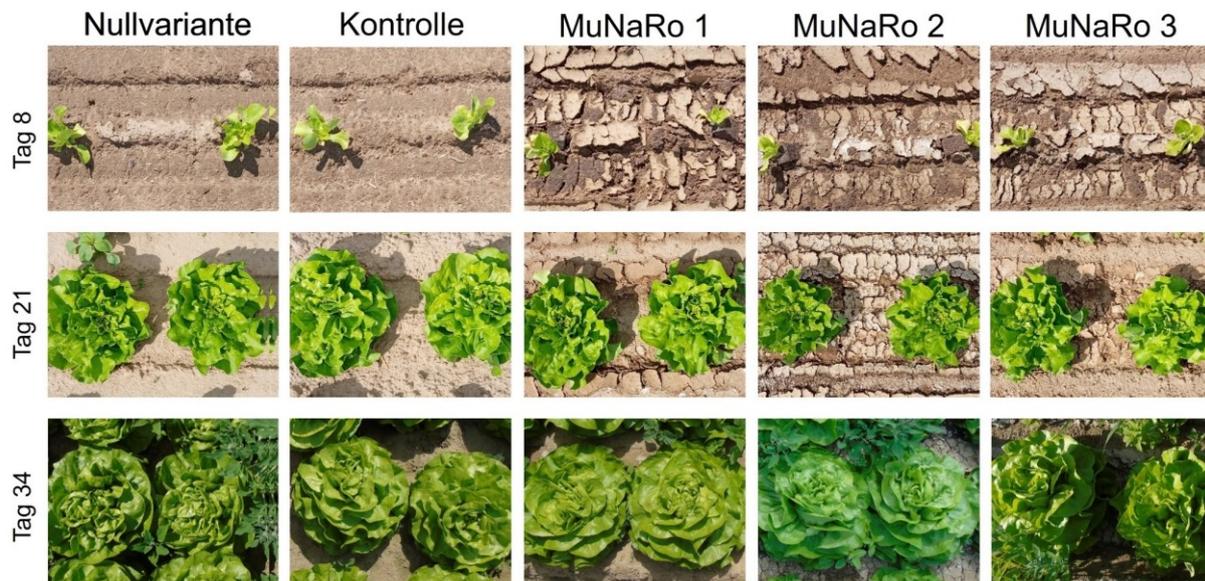


Abbildung 33: Wuchsverhalten Kopfsalat und Beikrautbesatz in den fünf Varianten im Versuch Niederbayern, 2022 zu vier Boniturterminen

Die Entwicklung des Beikrautbesatzes für alle Boniturtermine ist in Abbildung 34 dargestellt. Insgesamt ist der Beikrautdruck auf der Fläche auf eher geringem Niveau und es konnten erst zum Boniturtermin nach 21 Tagen unterschiedliche Anzahlen an Beikräutern in den verschiedenen Varianten beobachtet werden. Die wenigsten Beikräuter waren in den Kontrollvarianten, gefolgt von den MuNaRo-Varianten und die meisten in den Nullvarianten festzustellen. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass eine Beikraut unterdrückende Wirkung vorhanden war, obwohl das Mulchmaterial bei der Pflanzung beschädigt wurde.

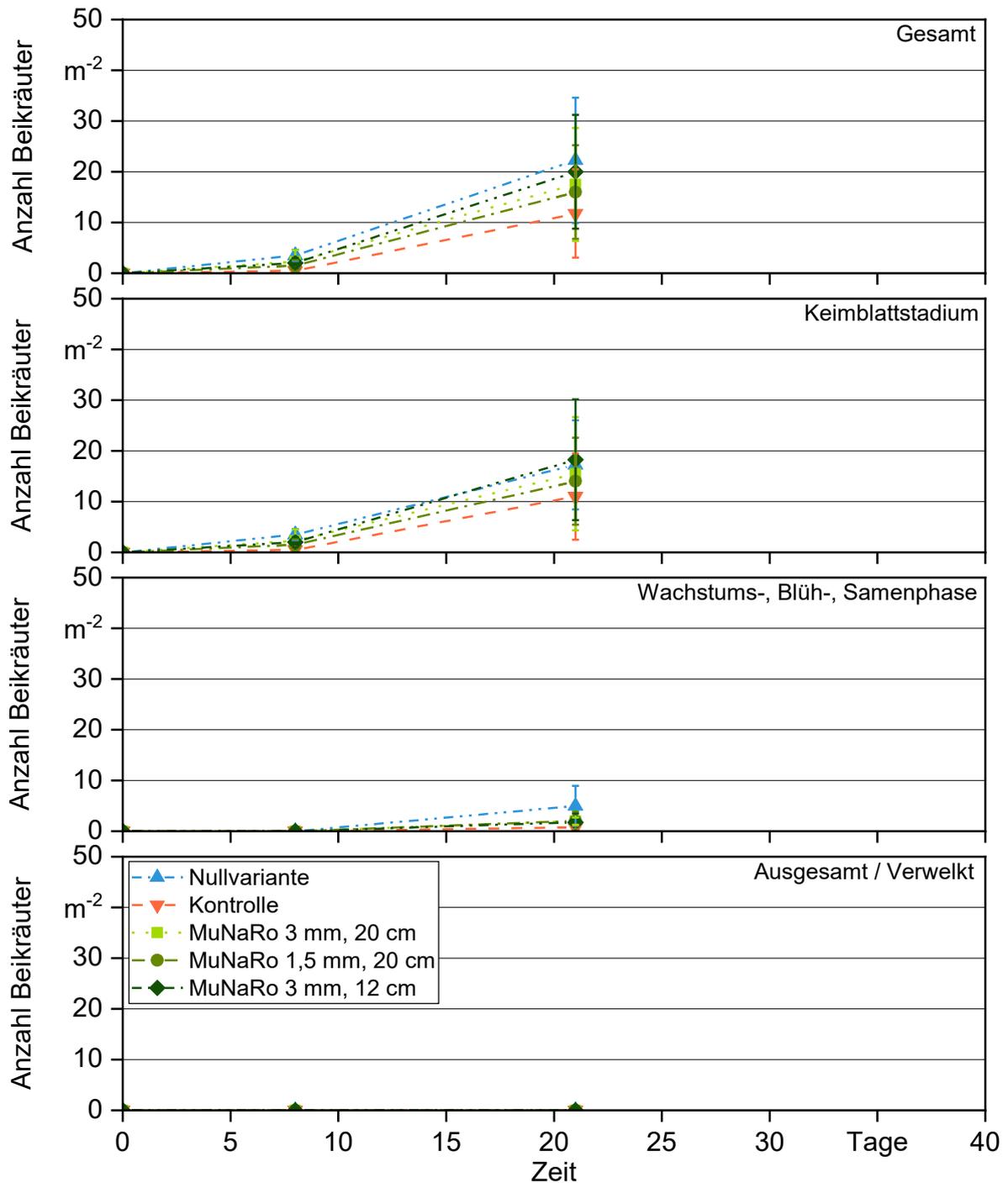


Abbildung 34: Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter in den verschiedenen Wachstumsphasen im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2022, $n = 4$

In Abbildung 35 sind das durchschnittliche Kopfgewicht der marktfähigen Salatköpfe und der Anteil marktfähiger Salatköpfe dargestellt. Das durchschnittliche Kopfgewicht war bei der Nullvariante am höchsten, gefolgt von der Kontrollvariante und der Variante MuNaRo 3 mm, 12 cm. Die Unterschiede des durchschnittlichen Kopfgewichts sind jedoch für diese drei Varianten statistisch nicht signifikant. Für die Salatköpfe aus den beiden anderen

MuNaRo-Varianten konnten signifikant geringere Kopfgewichte festgestellt werden. Der Anteil marktfähiger Köpfe war in der Null- und Kontrollvariante am höchsten. Durch das verzögerte Wachstum der Salatköpfe in den MuNaRo-Varianten konnte zum Teil das Mindestgewicht von 0,4 kg nicht erreicht werden. Auffällig war bei den Versuchen auch, dass in drei in Reihe aufeinanderfolgenden MuNaRo-Parzellen durchweg weniger marktfähige Salatköpfe vorhanden waren. Eine eindeutige Ursache, warum es in diesem Parzellenabschnitt zu verzögertem Wuchs kam, konnte nicht ermittelt werden.

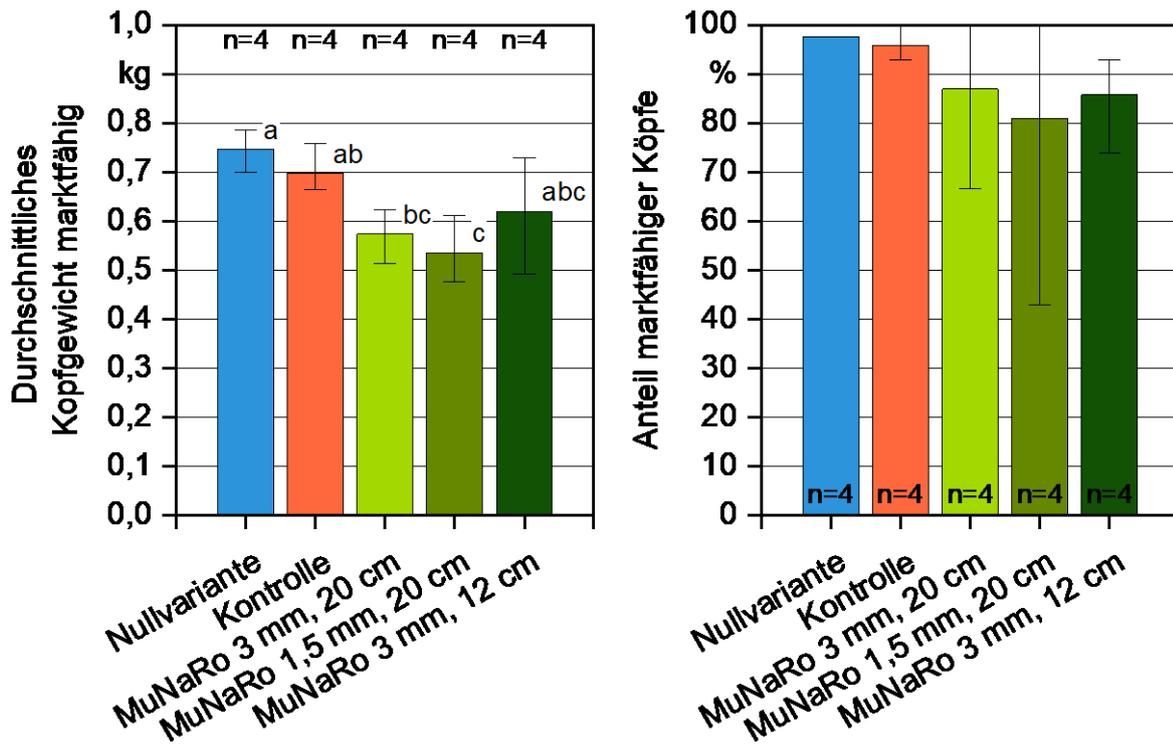


Abbildung 35: Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen marktfähigen Kopfgewichts und des Anteils marktfähiger Köpfe der fünf Varianten im Versuch Kopfsalat, Niederbayern, 2022, 34 Tage Kulturdauer

Die Ergebnisse der Sichtbonitur zur Ernte sind in Tabelle 16 aufgelistet. Auf einer Skala von eins bis neun machten die Salatköpfe der Null- und Kontrollvariante mit sechs den besten Eindruck, gefolgt von den MuNaRo-Varianten mit fünf. Die Salate der MuNaRo-Varianten wiesen eine etwas schlechtere Kopfbildung auf.

62 Tage nach der Applikation wurde die Bonitur auf Restmaterial durchgeführt, dabei waren vereinzelt kleine Materialrückstände auf der Fläche zu finden.

Tabelle 16: Ergebnisse der Sichtbonitur des Kopfsalats zum Zeitpunkt der Ernte in Niederbayern (Versuchsjahr 2022, 34 Tage Kulturdauer)

Variante		Minimum	Nullvariante	Kontrolle	MuNaRo 3 mm, 20 cm Streifen	MuNaRo 1,5 mm, 20 cm Streifen	MuNaRo 3 mm, 12 cm Streifen	Maximum	
Kopfbildung	fehlend	1	6	6	5	5	5	9	sehr gut
Kopffestigkeit	locker	1	5	6	5	4	4	9	fest
Kopfschluss	offen	1	5	5	4	4	4	9	geschlossen
Farbe	hellgrün	1	5	5	5	5	5	9	dunkelgrün
Sonnenbrand	fehlend	1	1	1	1	1	1	9	stark
Salatfäule	fehlend	1	3	2	2	2	2	9	sehr stark
Falscher Mehltau	fehlend	1	1	1	1	1	1	9	sehr stark
Trockenrand	fehlend	1	1	1	1	1	1	9	sehr stark
Innenbrand	fehlend	1	1	1	1	1	1	9	sehr stark
Blattläuse	fehlend	1	1	1	1	1	1	9	sehr stark
Gesamteindruck	schlecht	1	6	6	5	5	5	9	sehr gut

Unterfranken, 2022

Analog zum Versuch in Niederbayern wurde auch in Unterfranken das Mulchmaterial einen Tag vor der Pflanzung am 21.06.2022 mit der Becherpflanzmaschine appliziert. Die Bodenvorbereitung erfolgte mittels Prismenwalze, was dazu führte, dass das Mulchmaterial nach der Applikation inhomogen in unterschiedlicher Schichtdicke vorlag: In den Vertiefungen im Boden sammelte sich das flüssig ausgebrachte Mulchmaterial und auf den Bodenerhebungen war die Mulchschicht deutlich dünner. Die Andruckrollen der Pflanzmaschine führten auch hier zu einer teilweisen Beschädigung der Mulchschicht. Zudem bewirkten die ungleichmäßigen Bodenverhältnisse bei der Pflanzung unterschiedlich hohe Ablagen der Salatsetzlinge im Pflanzloch, siehe Abbildung 36.



Abbildung 36: Ungleichmäßige Schichtdicke des Mulchmaterials als Folge der Bodenbearbeitung mit einer Prismenwalze (links) und ungleichmäßige Höhenablage der Salatjungpflanzen in eine durch zu tief eingestellte Andruckrollen zerstörte Mulchschicht (rechts)

Bereits nach acht Tagen wurden in der Nullvariante bis zu 1.500 Beikräuter pro m² festgestellt, siehe Abbildung 37. Auch in den MuNaRo-Varianten wuchsen Beikräuter, wenngleich auf deutlich geringerem Niveau. Die Beikräuter waren insbesondere in den durch die Andruckrollen verursachten Rissen zu beobachten. Insgesamt weist der Schlag einen hohen Beikrautdruck auf, vor allem Amaranth ist in hoher Zahl auf dem Feld aufgelaufen. In den mit Herbizid behandelten Kontrollvarianten war wenig Beikraut vorhanden.

Bei Bonitur nach 22 Tagen haben sich die Beikräuter in den Null- und MuNaRo-Varianten gegenseitig und auch die Salatpflanzen beschattet. Dadurch sind nicht alle ursprünglich gekeimten Beikräuter weitergewachsen. Das zwischen den Reihen vorgesehene Hacken wurde vom Betrieb nicht durchgeführt, sodass die Beikräuter aus den nicht mit Mulchmaterial behandelten Bereichen in die Reihe ragten. Die Herbizid-Varianten zeigten keine Veränderung, nur vereinzelt waren Beikräuter aufgelaufen. Teilweise trat in dem Schlag Staunässe auf, dadurch waren sowohl Beikraut als auch Salat im Wachstum gehemmt. Durch die Staunässe wurden insgesamt sieben der 20 Parzellen erheblich beeinflusst.

Nach 36 Tagen erfolgte die Vorerntebonitur des Salats. Durch das wüchsige Wetter im Juli sind sowohl die Beikräuter als auch der Kopfsalat weit in der Entwicklung vorangeschritten. In den staunassen Ecken der einzelnen Parzellen waren Verzögerungen im Salatwachstum feststellbar. In der Kontrolle konnte ein leichter Anstieg der Anzahl der Bei-

kräuter verzeichnet werden. In den MuNaRo-Varianten stieg die Anzahl der Beikräuter an, vermehrt in den staunassen Abschnitten. Auffällig war eine starke Gelbfärbung der Salatköpfe. Abbildung 38 zeigt die Anzahl Beikräuter, aufgeschlüsselt nach verschiedenen Wachststadien.

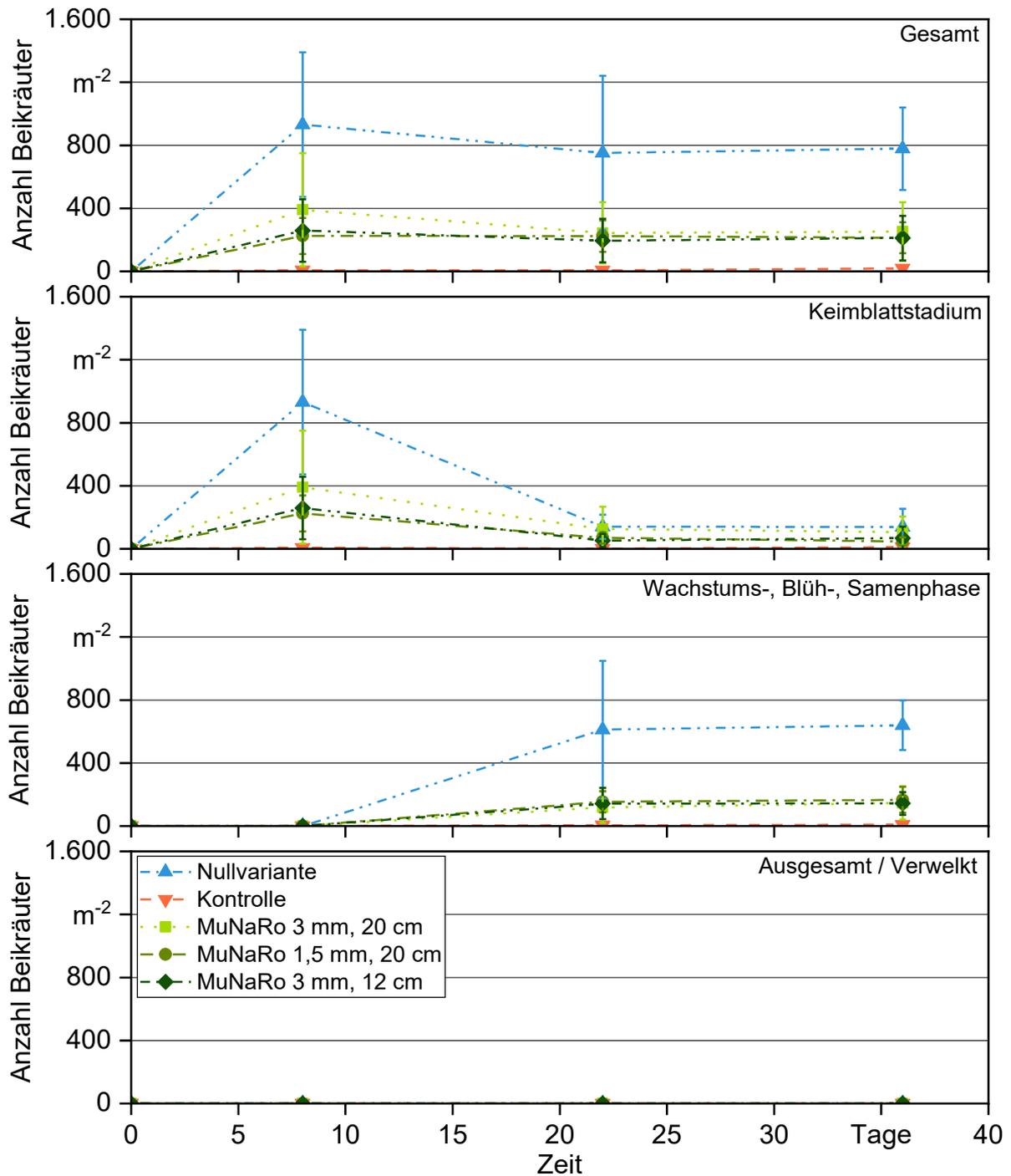


Abbildung 37: Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter in den verschiedenen Wachstumsphasen im Versuch Kopfsalat, Unterfranken, 2022, $n = 4$

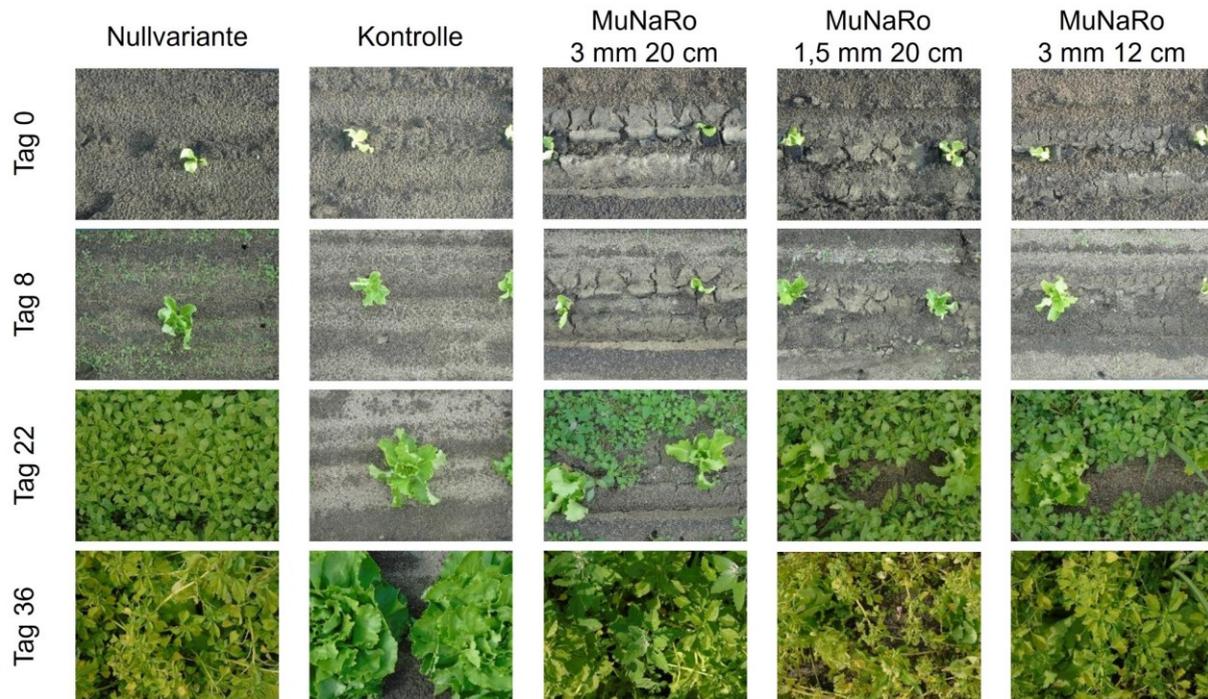


Abbildung 38: Beikrautaufwuchs in den fünf Varianten im Versuch Kopfsalat, Unterfranken, 2022 zu vier Boniturterminen

Die Ergebnisse des durchschnittlichen marktfähigen Kopfgewichts und des Anteils marktfähiger Köpfe sind in Abbildung 39 dargestellt. Die Marktfähigkeit wurde mit einer Ausnahme nur in den Parzellen der Kontrollvariante erreicht und dies bei einem schwachen Anteil marktfähiger Köpfe von 52 bis 68 %. Bei allen anderen Varianten erreichten die Salatköpfe nicht das notwendige Mindestgewicht von 500 g oder wiesen Schossbildung aufgrund der Kombination von Stressfaktoren wie Beschattung durch Beikraut und Staunässe auf. Das durchschnittliche Kopfgewicht der marktfähigen Salate aus der Kontrollvariante hatte einen hohen Schwankungsbereich. Neben der Kontrolle konnten nur in der MuNaRo-Variante 3 mm, 12 cm, Parzelle 3 marktfähige Salatköpfe geerntet werden.

Durch den hohen Beikrautdruck auf der Fläche, die nicht optimale Ausbringung des Mulchmaterials und Pflanzung, das nicht durchgeführte Hacken zwischen den Reihen und Staunässeeffekten in einzelnen Parzellen ist der Versuch insgesamt wenig aussagekräftig. Das nicht durchgeführte Hacken zwischen den Reihen hat zu zusätzlicher Konkurrenz der Beikräuter mit den Salatpflanzen geführt. Außerdem gab es zahlreiche Staunässeeffekte, die sich durch die sehr hohe Wassergaben aufgrund des Witterungsverlaufs noch verschärft hatten. Der hohe Beikrautaufwuchs führte zu Beschattungen und Wuchsdepressionen bei den Kulturpflanzen.

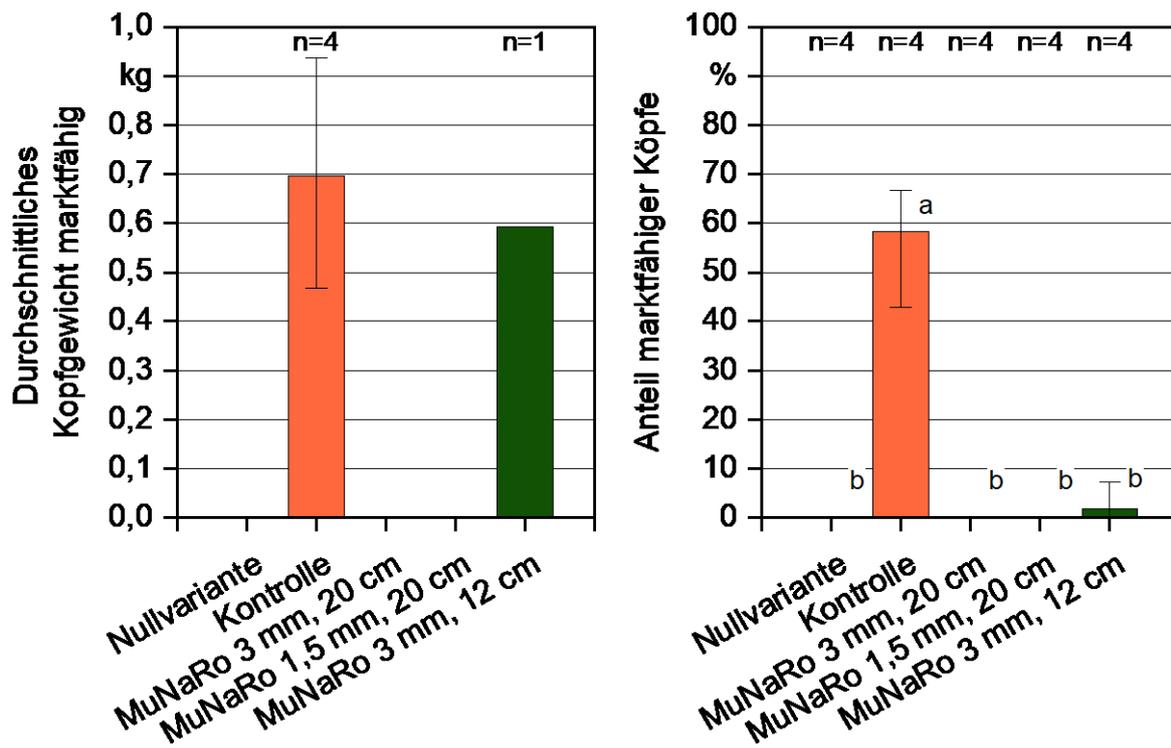


Abbildung 39: Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen marktfähigen Kopfgewichts und des Anteils marktfähiger Köpfe der fünf Varianten im Versuch Kopfsalat, Unterfranken, 2022, 44 Tage Kulturdauer

In Tabelle 17 sind die Ergebnisse der Sichtbonitur zur Ernte aufgelistet. Die Salatköpfe der Kontrollvariante weisen den besten Gesamteindruck auf, während die Nullvariante und die MuNaRo-Varianten einen deutlich schlechteren Eindruck machen.

Bei der Bonitur auf Mulchmaterialreste waren nach 58 Tagen noch vereinzelt kleinere Stücke am Feld erkennbar.

Tabelle 17: Ergebnisse der Sichtbonitur des Kopfsalats zum Zeitpunkt der Ernte in Unterfranken (Versuchsjahr 2022, 44 Tage Kulturdauer)

Variante		Minimum	Nullvariante	Kontrolle	MuNaRo 3 mm, 20 cm Streifen	MuNaRo 1,5 mm, 20 cm Streifen	MuNaRo 3 mm, 12 cm Streifen	Maximum	
Kopfbildung	fehlend	1	3	5	3	3	3	9	sehr gut
Kopffestigkeit	locker	1	2	4	2	1	2	9	fest
Kopfschluss	offen	1	4	4	2	2	3	9	geschlossen
Farbe	hellgrün	1	3	5	3	3	3	9	dunkelgrün
Sonnenbrand	fehlend	1	1	1	1	1	1	9	stark
Salatfäule	fehlend	1	3	3	3	3	3	9	sehr stark
Falscher Mehltau	fehlend	1	1	1	1	1	1	9	sehr stark
Trockenrand	fehlend	1	1	1	1	1	1	9	sehr stark
Innenbrand	fehlend	1	1	1	1	1	1	9	sehr stark
Blattläuse	fehlend	1	1	1	1	1	1	9	sehr stark
Gesamteindruck	schlecht	1	3	6	3	2	3	9	sehr gut

Fazit Kopfsalat

Eine Beikraut unterdrückende Wirkung des Mulchmaterials konnte bei allen Feldversuchen in unterschiedlicher Ausprägung festgestellt werden, zum Teil auch besser als bei der Kontrollvariante. Bei starkem Beikrautdruck und ohne die begleitende Maßnahme des Hackens zwischen den Reihen, wo kein Mulchmaterial aufgebracht wurde, reichte die Beikraut unterdrückende Wirkung jedoch nicht aus.

Die Bodenvorbereitung nimmt entscheidenden Einfluss auf die gleichmäßige Ausbildung der Mulchschicht. Beim maschinellen Pflanzen muss darauf geachtet werden, dass das Pflanzaggregat mit den Andruckrollen nicht die Mulchschicht beschädigt.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass der Einsatz von Mulchschichten auf Basis nachwachsender Rohstoffe nicht einfach in einen Betrieb übertragen werden kann, der bisher auf Herbizid-Einsatz setzte und daher bei der Vorbereitung der Fläche z. B. kein falsches Saatbeet oder andere den Samenvorrat reduzierende Maßnahmen einsetzt.

Der Einsatz von MuNaRo-Mulchschichten in der Kultur braucht ein Gesamtkonzept aus Feldhygiene, Bodenvorbereitung, Abstimmung beim Maschineneinsatz und ein abgestimmtes Bewässerungskonzept.

Die im Jahr 2022 festgestellte Hemmung des Wurzelwachstums bei der Pflanzung der Setzlinge in das Mulchmaterial war im Jahr 2021, als das Mulchmaterial neben der Reihe aufgebracht wurde, nicht zu beobachten. Um die Einflüsse besser untersuchen zu können, wurden im Anschluss an die Vegetationsperiode 2022 Versuche im Gewächshaus durchgeführt, siehe hierzu Unterkapitel 6.5.

6.4.2 Kohlrabi

Niederbayern, Satz 1

Nach Pflanzung waren die Kohlrabisetzlinge nicht abgedeckt und so mussten am Tag der Applikation deutliche Fraßschäden durch Hasen festgestellt werden, die primär die Parzellen 2.2, 3.2 und 4.2 betrafen. Durch die sehr feinkrümelige Bodenstruktur war die Ausbildung des Mulchmaterials gestört. Die Temperatur am Tag der Applikation lag bei 16,7 °C und die Windgeschwindigkeit bei 1,8 m/s. Am Applikationstag fiel kein Niederschlag. Beim Applizieren der beiden Komponenten versickerte ein Teil in den Boden, bevor sie sich komplett vermischen konnten. Die Schichtdicke und eventuell die Zusammensetzung des Mulchmaterials entwickelten sich deshalb nicht wie ursprünglich geplant. Die übrige Schicht wurde sehr schnell fest und trocknete auch rasch ab. Das Material blich in kurzer Zeit aus. In den Parzellen der Variante 4 „MuNaRo 2 mm Schichtdicke“ benetzte das Mulchmaterial bei der Ausbringung teilweise die Kohlrabipflanzen. Bei Applikation der Parzelle 4.2 war die Düse der mittleren Reihe leicht verstopft und die Schicht wurde daher etwas dünner ausgebildet.

Bereits eine Woche nach der Pflanzung konnte in allen Varianten ein deutlicher Beikrautaufruchts festgestellt werden. Das Beikrautaufruchen war wesentlich stärker im Gegensatz zum parallel gestarteten Versuch mit Kopfsalat wenige Hundert Meter südlich der Kohlrabiversuchsfläche. Die Herbizidbehandlung erfolgte erst am Tag 11 nach der Pflanzung. Die von Hasen angefrissenen Kohlrabipflanzen haben sich teilweise erholt.

Bei den Beikrautbonituren wurde im zeitlichen Verlauf immer deutlicher, dass in der Parzelle 1.1 der Nullvariante Herbizid angewendet worden ist. Das Beikrautvorkommen entwickelte sich ähnlich dem der Kontrollvariante. In den Parzellen 1.3, 1.4, 2.2 und 3.4 trat Staunässe auf. Die Pflanzen am Beetende der Randparzellen 2.2 und 3.4 waren auffällig schwächer. Dort traten wohl Randeffekte auf. Ähnliches wurde auch in benachbarten Beeten, die nicht in den Versuch einbezogen waren, beobachtet.

Als Leitbeikräuter sind vor allem Grüner Amaranth (*Amaranthus viridis*) und Flohknöterich (*Persicaria maculosa*) zu nennen, aber auch Ufer-Ampferknöterich (*Persicaria lapathifolia*), Gewöhnliche Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*) und Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album agg.*) waren vermehrt vertreten.

Abbildung 40 zeigt den zeitlichen Verlauf der Anzahl Beikräuter bezogen auf eine Fläche von 1 m² der einzelnen Varianten.

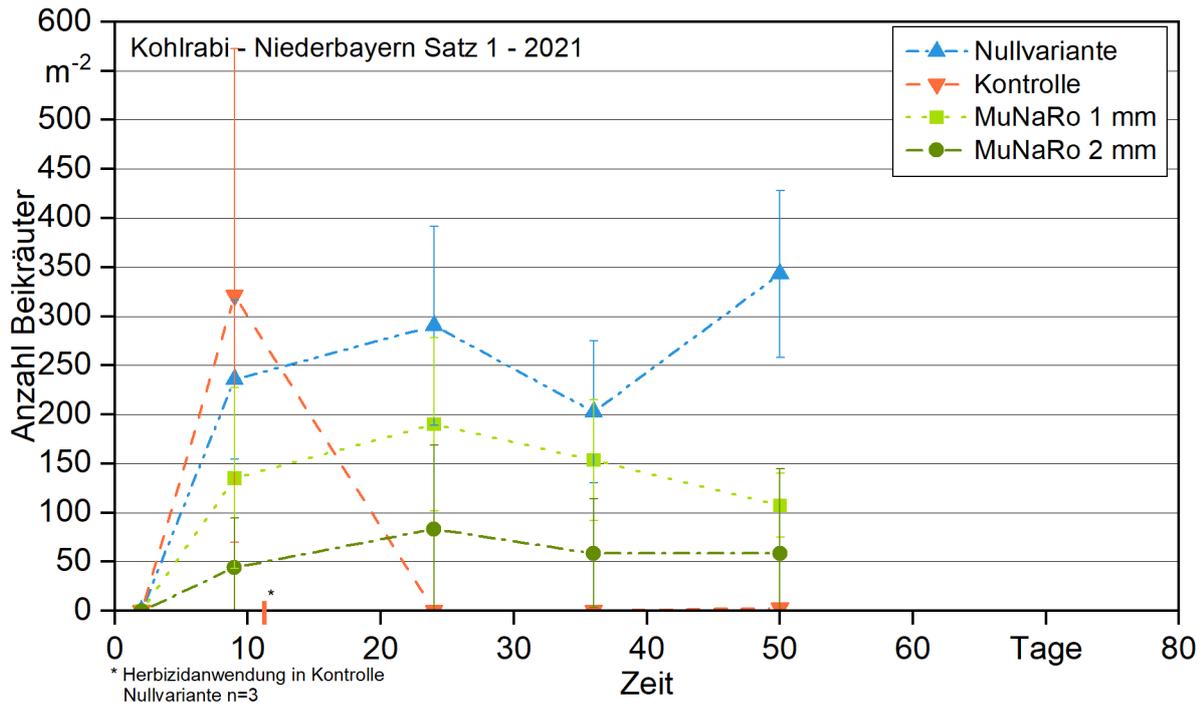


Abbildung 40: Anzahl Beikräuter der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Kohlrabi, Niederbayern, 2021, Satz 1

Die Grafik zeigt eine sehr hohe Variabilität der Anzahl der Beikräuter in der Kontrollvariante vor dem Herbizideinsatz. Deutlich ist in der Kontrollvariante der Rückgang der Anzahl Beikräuter nach der Herbizidbehandlung am Tag 11 zu erkennen, während die Anzahl der Beikräuter in den anderen drei Varianten zunächst weiter ansteigt. Die verringerte Beikrautanzahl nach Tag 30 ist mit einer niedrigeren Bodentemperatur als zu Versuchsbeginn zu erklären. Der Beikrautaufwuchs in den Varianten MuNaRo 1 mm und MuNaRo 2 mm ist deutlich unter dem der Nullvariante. In der Kontrollvariante ist nach dem Herbizideinsatz im weiteren Versuchsverlauf kaum mehr Beikraut nachzuweisen.

Der Mittelwert der Frischmasse von 24 Knollen der vier Varianten im Versuch Kohlrabi, Niederbayern, Satz 1 ist in Abbildung 41 grafisch dargestellt.

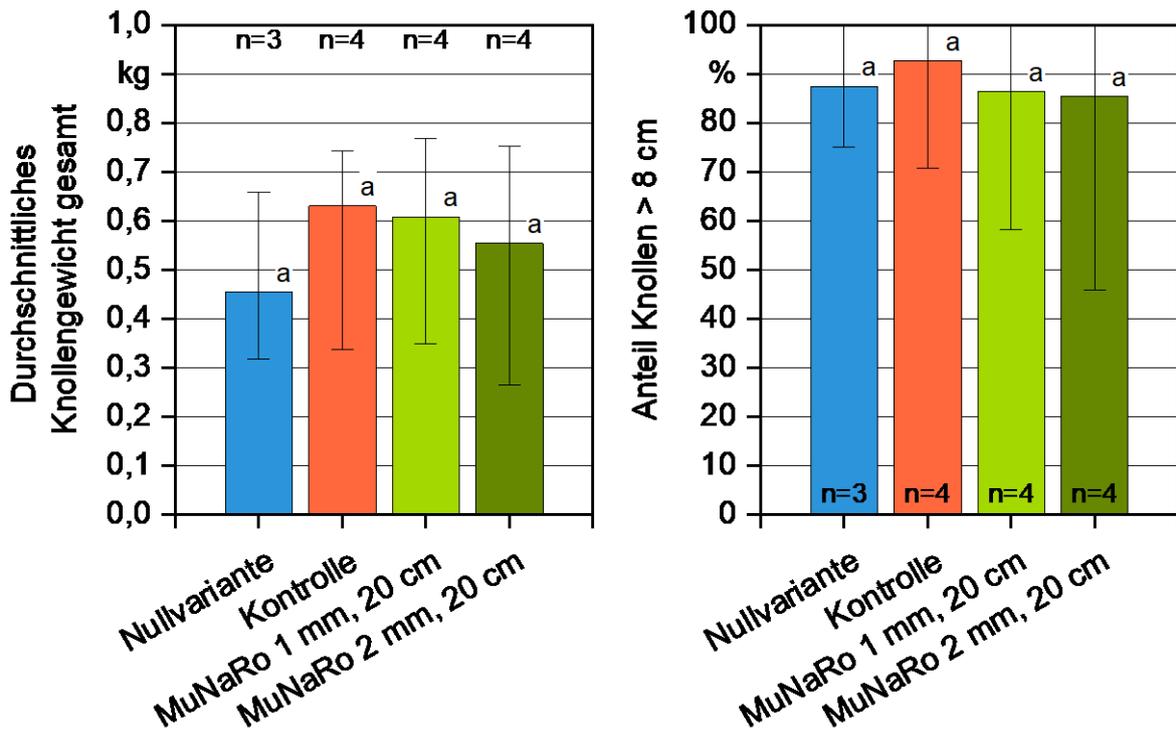


Abbildung 41: Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen Knollengewichts sowie des Anteils an Knollen mit Durchmesser größer als 8 cm der vier Varianten im Versuch Kohlrabi, Niederbayern, 2021, 51 Tage Kulturdauer

Die Mittelwerte der Frischmasse von 24 Kohlrabiknollen der einzelnen Varianten unterscheiden sich statistisch nicht signifikant voneinander. Auffällig ist die hohe Standardabweichung in allen Varianten, unter anderem hervorgerufen durch Staunässe und Randeffekte in einzelnen Parzellen.

Tabelle 18: Sichtbonitur zum Zeitpunkt der Ernte im Versuch Kohlrabi, Niederbayern, Satz 1 (Vermarktungsfähig größer 80 mm, nicht vermarktungsfähig kleiner 80 mm, Laubfarbe von hell = 1 bis dunkel = 9, Gesamteindruck von schlecht = 1 bis sehr gut = 9)

Variante	Nullvariante	Kontrolle	MuNaRo 1 mm	MuNaRo 2 mm
Nicht vermarktungsfähig in %	9,4	8,3	13,5	14,6
Vermarktungsfähig in %	90,6	92,7	86,5	85,4
Laubfarbe	6	8	7	6
Gesamteindruck	4	8	6	6
Verunkrautung in %	99	2	55	50

Da die Rückstandsbonitur vor der Bodenbearbeitung durchgeführt wurde, ist noch eine dünne Schicht an Mulchmaterial erkennbar, wie Abbildung 42 veranschaulicht. Allerdings

erkennt man bereits den fortgeschrittenen Abbau des Mulchmaterials 92 Tage nach Applikation. Sobald das Material durch die mechanische Bearbeitung unter den Boden gebracht wird, ist der Kontakt zu den Mikroorganismen intensiver und ein schneller Abbau zu erwarten.



Abbildung 42: Reste des Mulchmaterials auf der Bodenoberfläche 92 Tage nach der Applikation, vor der Bodenbearbeitung im Versuch Kohlrabi, Niederbayern, 2021, Satz 1, Variante 3

Unterfranken, Satz 1

Die Kohlrabi-Jungpflanzen waren zur Pflanzung schon nicht mehr kompakt, die Blätter waren ziemlich lang. Die Kohlrabisetzlinge wurden gleich nach der Pflanzung mit Vlies abgedeckt und erst kurz vor der Applikation wieder aufgedeckt, wodurch die Pflanzen keine Möglichkeit hatten, sich aufzurichten. Bei der Applikation wurden daher die Blätter der Setzlinge teilweise mit Mulchmaterial benetzt. Die Schutzbleche am Applikationsgerät konnten die Pflanzen nicht zufriedenstellend aus dem Sprühstrahl streichen. Aufgrund starker Bodenfeuchte am Tag der Applikation hatte der Traktor sehr viel Schlupf und konnte zum Teil nicht exakt die Spur halten. Zwei Mulchstreifen in den Parzellen 3.1 und 4.1 wurden daher seitlich versetzt appliziert, sodass Kohlrabipflanzen mit dem Mulchmaterial benetzt wurden. Die Temperatur am Tag der Applikation betrug 3,1 °C. Die Windgeschwindigkeit lag bei 2,8 m/s, während der Tagesniederschlag 0,0 mm betrug.

Eine Woche nach der Applikation konnten erste Keimblätter von Beikräutern entdeckt werden. Die MuNaRo-Schicht war im Verhältnis zu dem parallel gestarteten Versuch im Kopfsalat (Luftlinie ca. 1,3 km) deutlich weniger brüchig. Im Vergleich der MuNaRo-Varianten war die 1-mm-Variante weniger spröde als die 2-mm-Variante.

Bei der Bonitur nach 34 Tagen wurde eine schwarze Verfärbung des Mulchmaterials festgestellt. Das deutet auf einen einsetzenden Abbau der Mulchschicht hin. Vermutlich war aufgrund der untypisch nassen Witterung 2021 ein frühzeitiger Abbau initiiert. Kohlrabi-pflanzen, die mit dem Mulchmaterial bei der Applikation benetzt wurden, haben die betroffenen Blätter abgeworfen. Teilweise erholten sich die Pflanzen wieder. In den Parzellen der Variante 4 war eine Gelbfärbung der Kohlrabiblätter auffällig. Durch das fortschreitende Wachstum der Kohlrabipflanzen war spätestens zum vierten Boniturtermin der Boden deutlich verschattet.

Da die Versuchsfläche sich durch hohe Bodenfeuchtigkeit auszeichnete, war das häufigste Beikraut Ufer-Ampferknöterich (*Persicaria lapathifolia*). Es konnte auch Kleinblütiges Knopfkraut (*Galinsoga parviflora*), Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album agg.*) und Vielblütiges Weidelgras (*Lolium multiflorum*) festgestellt werden.

Die Beikrautanzahl im Vergleich der Versuchsvarianten im Versuch Kohlrabi, Unterfranken, Satz 1 zeigt Abbildung 43.

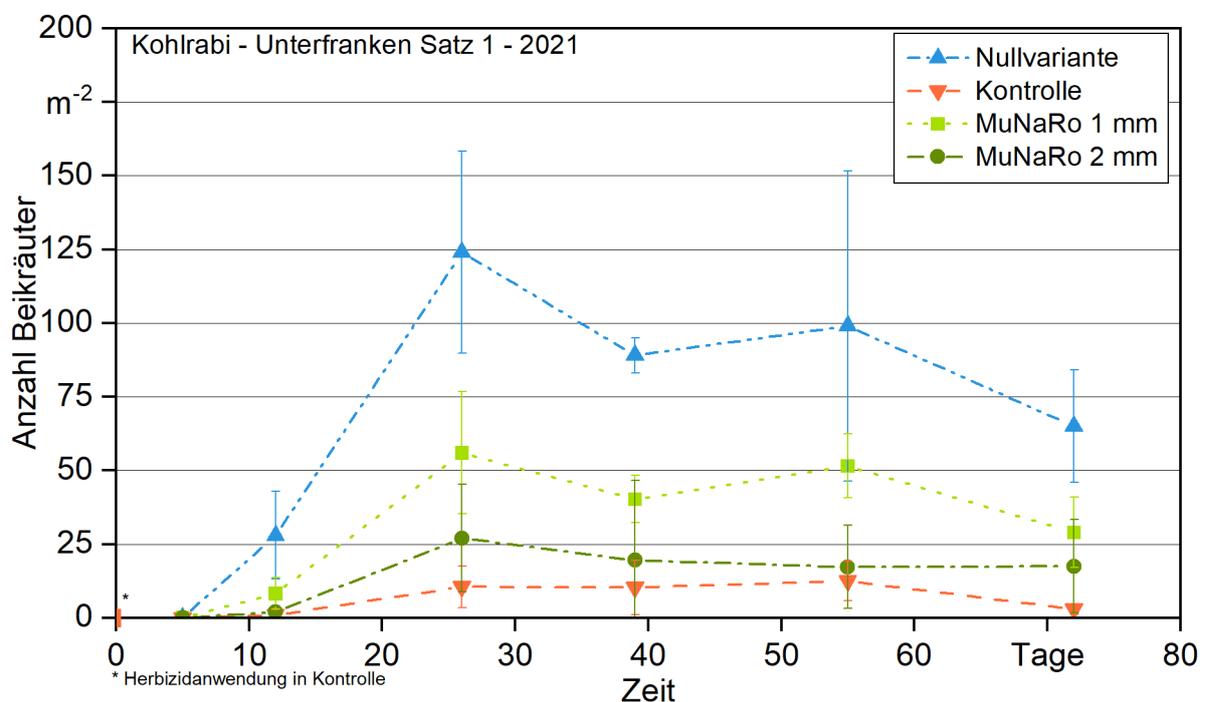


Abbildung 43: Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Kohlrabi, Unterfranken, 2021, Satz 1

Bei der Beikrautbonitur wurde in der Nullvariante ein erhöhter Beikrautdruck festgestellt. Die geringste Anzahl Beikräuter wurde in der Kontrollvariante ermittelt. Die Beikraut unterdrückende Wirkung der dickeren Mulchmaterialvariante war besser als bei der dünneren.

Bei der Erntebonitur der Kohlrabiknollen schnitten die unbehandelte Nullvariante sowie die Herbizidvariante signifikant besser ab als die mit dem Mulchmaterial behandelten Varianten. Zwischen den Mulchmaterialvarianten zeigte sich zudem eine Verschlechterung der Frischmasse bei der größeren Schichtdicke. Dieses Ergebnis lässt einen Zusammenhang zwischen der Wuchsdepression und der Schichtdicke des Mulchmaterials erahnen. Die geringeren Erträge in den Varianten 3 und 4 lassen sich möglicherweise durch die Benetzung der Kohlrabiblätter mit Mulchmaterial bei der Applikation erklären. Auch beim Anteil marktfähiger Knollen (größer als 8 cm) zeigten sich signifikante Unterschiede bei den Varianten. Die Tendenz ist allerdings dieselbe wie beim Durchschnittsgewicht: Die Herbizidvariante schnitt besser ab als die MuNaRo-Varianten.

Abbildung 44 zeigt den Mittelwert der Frischmasse von 24 Knollen der vier Varianten sowie den Anteil marktfähiger Knollen im Versuch Kohlrabi, Unterfranken, Satz 1.

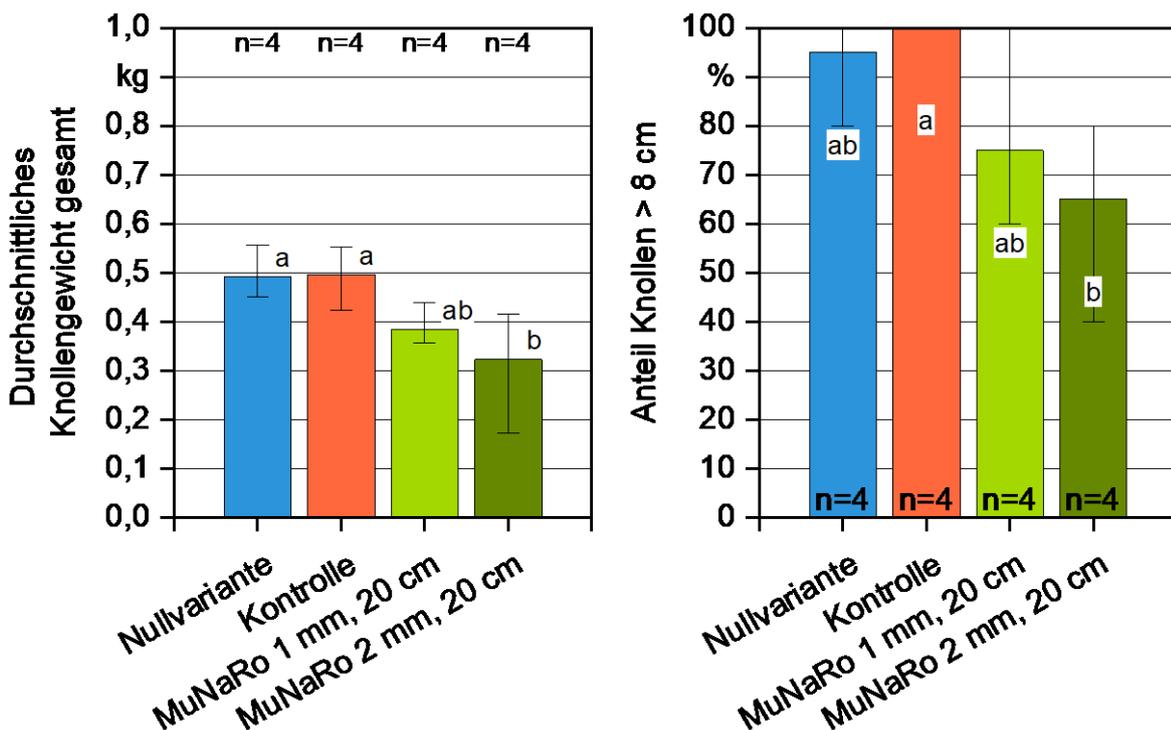


Abbildung 44: Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen Knollengewichts sowie des Anteils an Knollen > 8 cm der vier Varianten im Versuch Kohlrabi, Unterfranken, 2021, Satz 1, 72 Tage Kulturdauer

Bei der Rückstandsbonitur 88 Tage nach Applikation ließen sich keine Reste von Mulchmaterial feststellen. Wie oben bereits beschrieben wurde das Material aufgrund der vielen Niederschläge frühzeitig abgebaut, sodass bereits vor der Bodenbearbeitung nur noch

eine sehr dünne Materialschicht zu finden war. Nach der Bodenbearbeitung waren keine Reste des Mulchmaterials mehr zu sehen.

Unterfranken, Satz 2

Die Kohlrabipflanzen waren im Gegensatz zum Frühjahrssatz nicht mit Vlies abgedeckt, dementsprechend standen die meisten Pflanzen zum Zeitpunkt der Applikation aufrecht. Die Schutzbleche des Applikationsgeräts konnten die Kohlrabiblätter erfolgreich vor dem Mulchmaterialstrahl schützen. Die Temperatur am Tag der Applikation betrug 18,2 °C, die Windgeschwindigkeit 1,2 m/s und während des Tages fielen 0,6 mm Niederschlag.

Bei der ersten Bonitur wurde festgestellt, dass durch Mulchmaterial benetzte Kohlrabiblätter abgeworfen worden waren. In den Parzellen 2.2 und 3.4 sammelte sich bei stärkeren Niederschlägen Wasser in einer Vertiefung an, was zu erhöhter Bodenfeuchtigkeit und Staunässe führte. Dies beeinträchtigte den Wuchs der umgebenden Pflanzen in der Parzelle. Nach sieben Wochen wurde in den Parzellen 4.2, 4.3 und 3.4 verstärkter Insektenbefall festgestellt. Hier zeigten die Kohlrabiblätter zahlreiche Löcher und eine Gelbfärbung. Boniturabschnitte waren vom Insektenbefall jedoch nicht betroffen.

Als Leitbeikräuter sind vor allem Wasser-Sternmiere (*Mysoton aquaticum*) und Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album* agg.) zu nennen. Die beiden Arten machten ca. 90 % aller Beikräuter aus, daneben gab es noch vermehrt Gewöhnliches Greiskraut (*Senecio vulgaris*).

Die Entwicklung des Beikrautbesatzes in den vier Varianten, ermittelt als Anzahl Beikräuter pro Quadratmeter, zeigt Abbildung 45.

Der Beikrautaufwuchs der Variante 3 MuNaRo 1 mm ist auf einem ähnlichen Niveau wie die Nullvariante. Keinen Beikrautbesatz weist die Kontrollvariante auf. In Variante 4 ist die Anzahl Beikräuter auf geringem Niveau. Wie bei den vorangegangenen Versuchen zeigte sich hier eine Abhängigkeit zwischen Schichtdicke des Mulchmaterials und der Beikraut hemmenden Wirkung. Die größere Schichtdicke zeigte durchwegs eine bessere Wirkung gegen Beikraut aufwuchs. Allerdings könnte die Ursache für diesen Trend auch in der Applikationsmethode liegen. Durch das Vermischen im Spritzstrahl werden die beiden Komponenten erst unmittelbar am Boden vermengt. Bei feinkrümeligem Untergrund kann es passieren, dass nicht 100 % der ausgebrachten Materialien vermischt werden, sondern teilweise in das lockere Erdreich sickern. Bei den geringen Ausbringmengen von 1 l/m² (entspricht 1 mm Schichtdicke) könnte dieser Effekt stark zum Tragen kommen und somit eine deutlich geringere Wirkung der Mulchschicht gegen Beikräuter nach sich ziehen.

Die Bonitur zur Ernte zeigte einen ähnlichen Trend wie beim 1. Satz. Sowohl das durchschnittliche Knollengewicht als auch der Anteil marktfähiger Knollen war bei den Varianten „Herbizid“ und „unbehandelt“ signifikant besser. Die Mittelwerte der Frischmasse von 24 Knollen sowie der Anteil marktfähiger Knollen der vier Varianten im Versuch Kohlrabi, Unterfranken, Satz 2 sind in Abbildung 46 dargestellt.

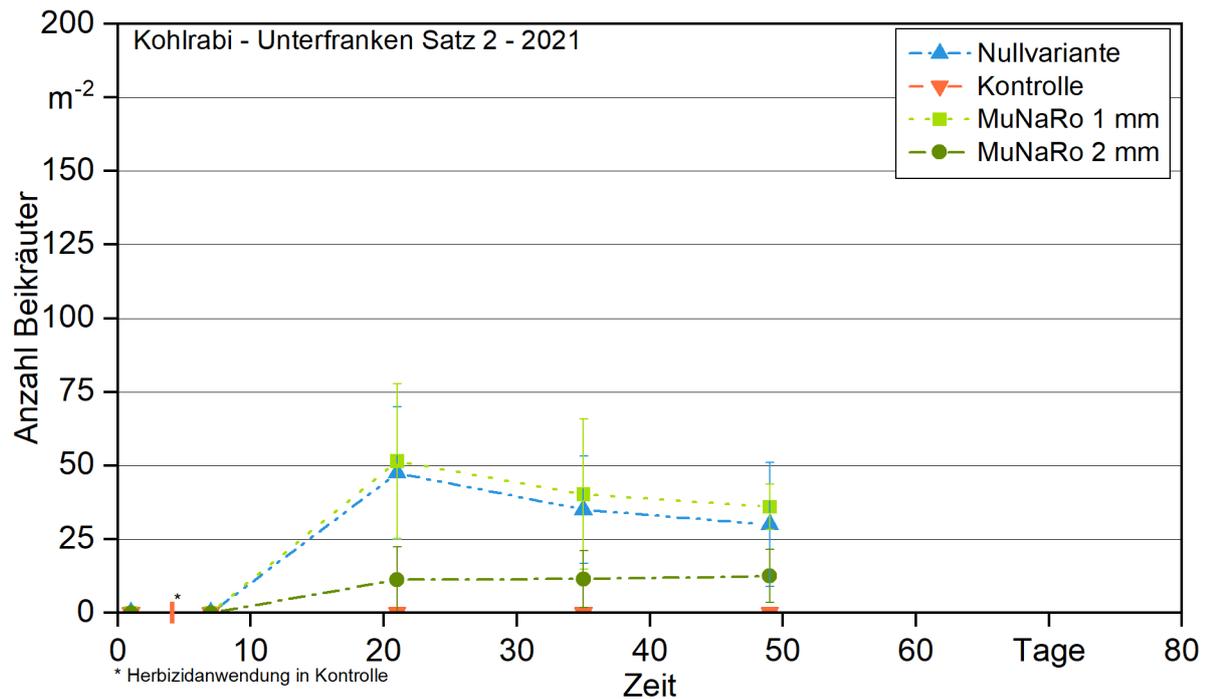


Abbildung 45: Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Kohlrabi, Unterfranken, 2021, Satz 2

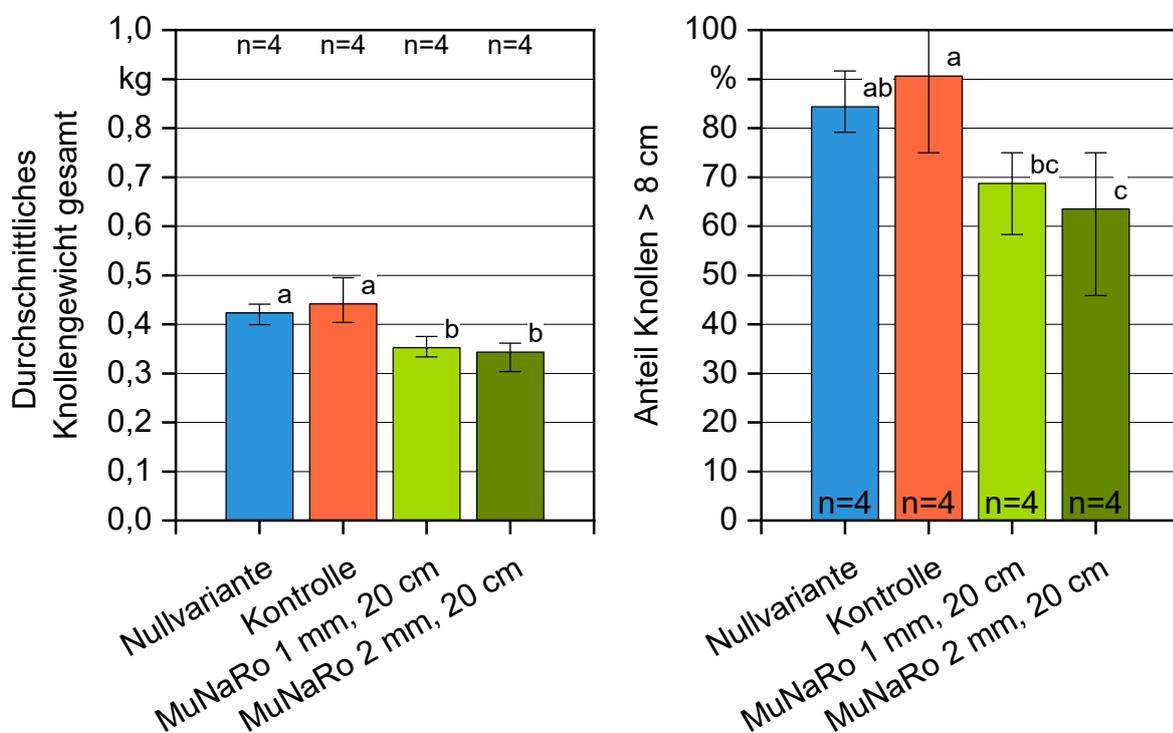


Abbildung 46: Mittelwerte und Spannweiten des durchschnittlichen Knollengewichts sowie des Anteils an Knollen > 8 cm der vier Varianten im Versuch Kohlrabi, Unterfranken, Versuchsjahr 2021, Satz 2, 50 Tage Kulturdauer

103 Tage nach Applikation waren nach der Bodenbearbeitung keine Rückstände des Mulchmaterials mehr auf der Fläche aufzufinden.

Fazit Kohlrabi

Die grundsätzliche Beikraut hemmende Wirkung des Mulchmaterials konnte gezeigt werden. Das Mulchmaterial schnitt an allen Standorten besser ab als die unbehandelte Nullvariante. Allerdings war die Wirkung der dünneren Variante als schlechter zu bewerten. Besonders beim zweiten Satz in Unterfranken war die Beikraut hemmende Wirkung dieser Variante nicht signifikant unterschiedlich zur Nullvariante. Besser schnitt die 2-mm-Variante ab. Diese zeigte an allen Standorten eine deutliche Reduzierung der Beikräuter, teilweise auf ähnlichem Niveau wie die Kontrollvariante. Die Wirksamkeit ist also stark abhängig von der Schichtdicke. Mit einer anderen Bodenvorbereitung oder anderen Ausbringverfahren, wie beispielsweise einer Vorvermischung der Komponenten z. B. mithilfe eines Statikmischers, könnte die benötigte Schichtdicke reduziert werden.

In diesen Versuchen fielen besonders die Wuchsdepression einzelner Kohlrabipflanzen und die geringere Erntemenge in den Mulchmaterial-Varianten auf. Womöglich könnte durch eine präzisere Applikation oder durch eine bessere Abschirmung der Pflanzen eine Verbesserung erzielt werden. Auch wäre eine Applikation in der Reihe – ähnlich wie bei den Versuchen im Kopfsalat – denkbar. In weiteren Versuchen sollte der Einfluss des Mulchmaterials oder einzelner Inhaltsstoffe der Rezeptur auf den Wuchs der Kohlrabipflanzen getestet werden, um eine mögliche durch das MuNaRo-Material verursachte Wuchsdepression künftig verhindern zu können.

6.4.3 Karotte

Niederbayern, 2021

Die Temperatur am Tag der Applikation des Mulchmaterials lag bei 12,3 °C, die Windgeschwindigkeit bei 1,2 m/s und es fiel kein Niederschlag. Teilweise wurde bei der Applikation des Mulchmaterials auf die Dammseite auch die Saatreihe mit Mulchmaterial benetzt.

Nach acht Tagen wiesen die Dämme kleinere Risse auf und auch im Mulchmaterial an den Dammseiten waren somit Risse vorhanden. Die ersten Karotten keimten. Beikräuter waren nicht zu erkennen. 24 Tage nach der Applikation war die Versuchsfläche sehr feucht, am Vortag waren 33,4 mm Niederschlag gefallen. Am Karottenlaub waren vermehrt gelbe Spitzen erkennbar. Beikräuter waren kaum feststellbar. Nach 70 Tagen waren zum ersten Mal vermehrt Keimblätter von Beikräutern sichtbar. Insgesamt wurden sehr wenig Beikräuter festgestellt. In den Kontrollparzellen liefen sehr wenig Karotten auf. Möglicherweise wurden durch Abdrift Dämme der Nullvariante mit Herbizid benetzt und so am Wuchs gehindert.

Insgesamt war der Unkrautdruck schwach. Von den Beikräutern waren Zurückgekrümmter Fuchsschwanz (*Amaranthus retroflexus*), Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) und Aufsteigender Fuchsschwanz (*Amaranthus blitum* agg.) vorhanden. Auffällig war eine Häufung

von Gewöhnlichem Greiskraut (*Senecio vulgaris*) in der Kontrollparzelle 2.4, die direkt am Feldrand zur Nachbarfläche lag.

Der Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Karotte, Niederbayern ist in Abbildung 47 dargestellt.

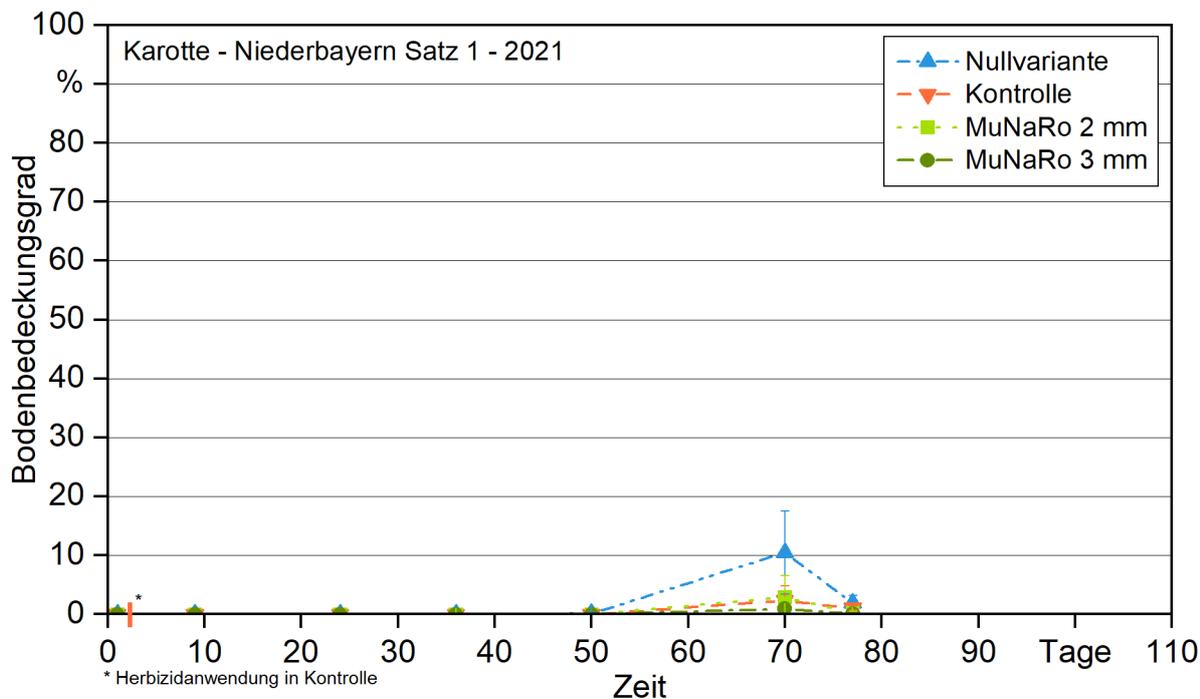


Abbildung 47: Mittelwerte und Standardabweichungen Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Karotte, Niederbayern, 2021, Satz 1

Die Grafik zeigt, dass der Beikrautaufwuchs in allen Varianten sehr gering ausfiel. Lediglich in der Nullvariante waren zur Bonitur am Tag 70 vereinzelt Beikräuter aufgelaufen.

In Abbildung 48 ist der Frischmasseertrag aus dem Versuch dargestellt. Der Frischmasseertrag für die gesamten und die marktfähigen Karotten unterscheidet sich für die Nullvariante und die beiden MuNaRo-Varianten nicht. Ein statistisch signifikanter Unterschied besteht jedoch zur Kontrollvariante. Möglicherweise ist der geringere Ertrag auf den Herbizideinsatz zurückzuführen. Durch Abdrift kann es zu Wuchsdepressionen der Kulturpflanze kommen. Die Kultur Karotte gilt als empfindlich gegenüber Herbiziden.

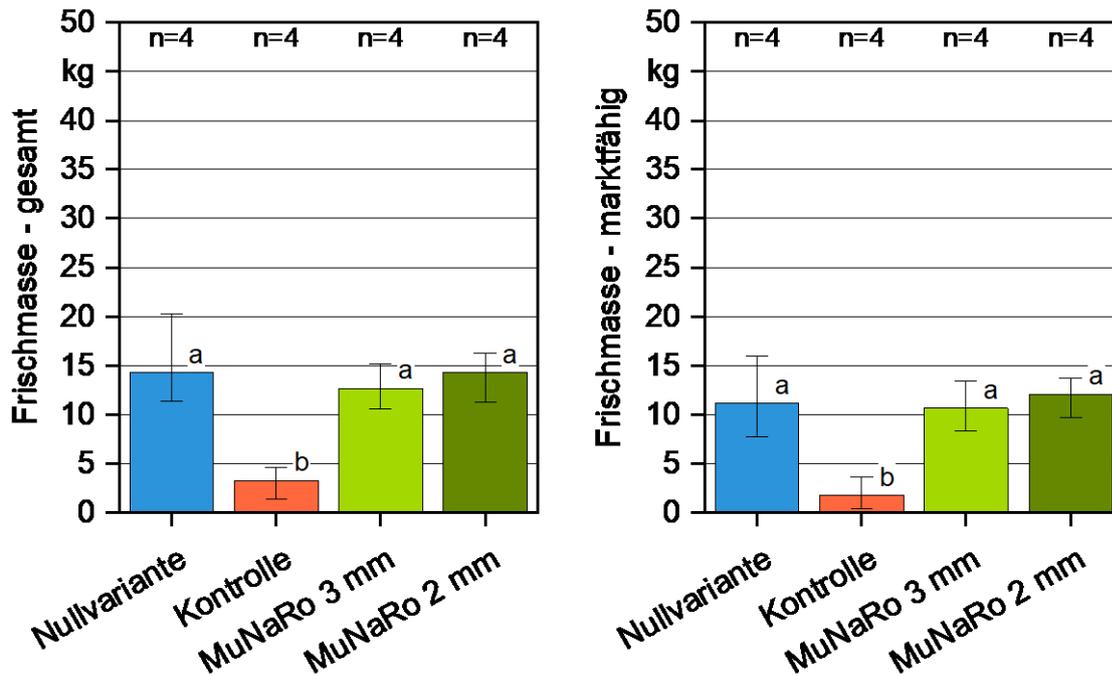


Abbildung 48: Mittelwerte und Spannweiten der Frischmasse – gesamt und marktfähig – der vier Varianten im Versuch Karotte, Niederbayern, 2021, 78 Tage Kulturdauer, Mulchmaterial auf den Dammseiten

Tabelle 19: Sichtbonitur zum Zeitpunkt der Ernte im Versuch Karotte, Niederbayern (Laubfarbe von hell = 1 bis dunkel = 9, Gesamteindruck von schlecht = 1 bis sehr gut = 9, Verunkrautung von wenig = 1 bis stark = 9)

Variante	Nullvariante	Kontrolle	MuNaRo 2 mm	MuNaRo 3 mm
Laubfarbe	9	9	8	8
Gesamteindruck	9	1	9	9
Verunkrautung	1	5	1	1

Bei der Rückstandsbonitur nach der Bodenbearbeitung konnte 88 Tage nach der Applikation kein Mulchmaterial auf der Fläche mehr festgestellt werden.

Unterfranken, 2021

Bei der Applikation wurde der Damm der Variante 3.1 auf ein Drittel der Länge beschädigt, da die Schutzbleche des Applikationsgeräts leicht in die Dämme gedrückt wurden. Teilweise wurde das Mulchmaterial, wie beim Versuch in Niederbayern, auf der Saatreihe appliziert. Am Tag der Applikation betrug die mittlere Temperatur 3,1 °C, die Windgeschwindigkeit lag bei 2,8 m/s und es war trocken. Durch die starke Pulsation der beiden Komponenten bei der Applikation wurde das Mulchmaterial in sehr ungleichmäßigen Streifen aufgebracht und erreichte häufig nicht die Kante der Dammkrone. Zudem wurde durch die Pulsation nicht das exakte Mischungsverhältnis erreicht, sodass die Materialeigen-

schaften deutlich schlechter waren. Die Karotten waren zum Applikationstermin teilweise schon aufgelaufen. Die Karottendämme, die mit Mulchmaterial bedeckt waren, schienen feuchter zu sein. Abbildung 49 zeigt die Dämme am Tag der Applikation und die Dämme acht Tage später. Bereits nach 20 Tagen war das Material sehr rissig und teilweise von den Dammseiten gerutscht. Letzteres war auch dem sehr sandigen Boden geschuldet.



Abbildung 49: Karottendämme an der Dammseite appliziert mit Mulchmaterial – am Tag der Applikation – Versuch Karotte, Unterfranken, 2021

Nach 34 Tagen wurden erste Beikräuter festgestellt, die durch das Mulchmaterial gewachsen waren. Beikräuter wuchsen überwiegend auf der Dammkrone. Dort wurde kein Mulchmaterial appliziert. Nur wenige Beikräuter wuchsen an den Dammseiten. Nach 63 Tagen war auffällig, dass das Laub der Karottenpflanzen in den Parzellen der Kontrolle maximal 10 cm hoch war, in allen anderen Parzellen erreichte das Kraut eine Höhe um die 15 cm. Dies änderte sich im weiteren Vegetationsverlauf und das Laub der Kontrollparzellen wurde größer und färbte sich kräftig grün.

Als Leitbeikräuter können Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album* agg.), Acker-Hellerkraut (*Thlaspi arvense*) und Sarracho-Nachtschatten (*Solanum sarrachoides* agg.) benannt werden. Verhältnismäßig waren viele verschiedene Beikräuter vorfindbar.

In Abbildung 50 wird der Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten während des Untersuchungszeitraums im Versuch Karotte gezeigt.

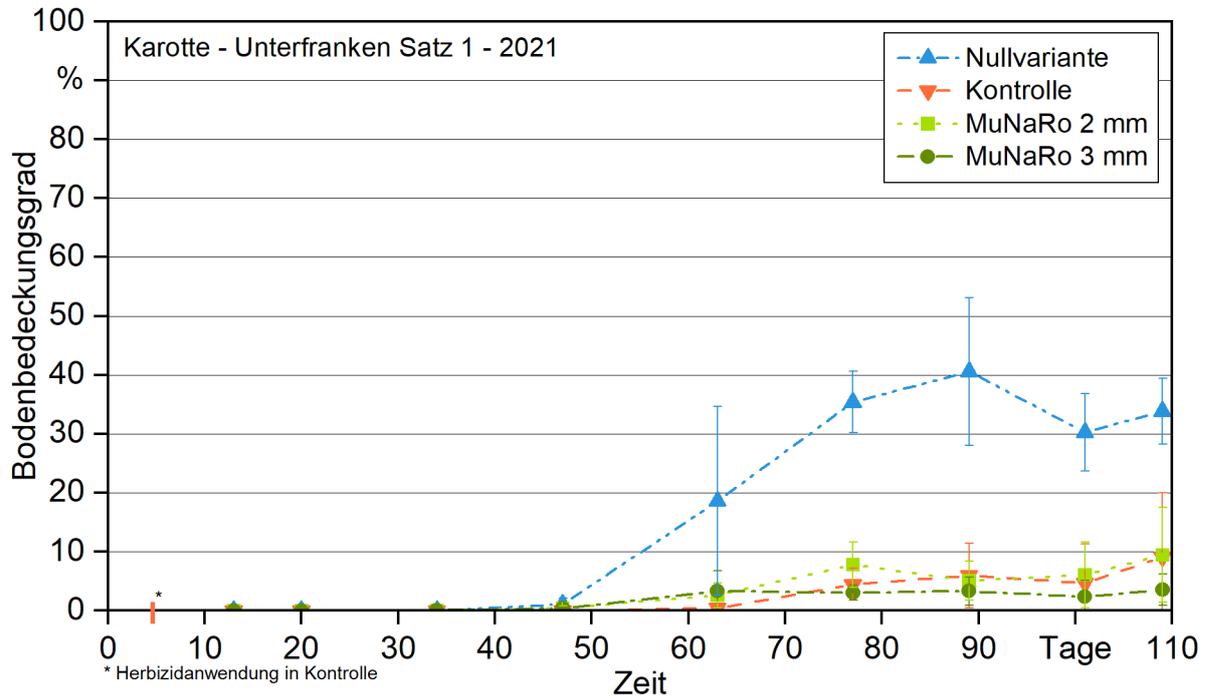


Abbildung 50: Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Karotte, Unterfranken, 2021, Satz 1, Mulchmaterial auf den Dammsseiten

Der Unkrautdruck auf der Fläche stieg in der zweiten Versuchshälfte, wie der Bodenbedeckungsgrad der Nullvariante zeigt, stark an. Der Bodenbedeckungsgrad der Kontrolle und der beiden MuNaRo-Varianten bewegt sich auf einem ähnlichen, niedrigen Niveau unter 10 %. Variante 4 wies zum Ende der Kulturzeit den geringsten Bodenbedeckungsgrad auf.

Die marktfähige Frischmasse pro Parzelle der vier Varianten im Versuch Karotte am Standort Unterfranken ist in Abbildung 51 dargestellt. Der Ertrag in der Kontrollvariante ist um ca. 30 % höher als in der Nullvariante und in den beiden MuNaRo-Varianten. Dieser Ertragsunterschied ist auch statistisch abgesichert. Die marktfähige Frischmasse der Varianten 1, 3 und 4 unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

Bei der Rückstandsbonitur 124 Tage nach Applikation konnte kein Restmaterial festgestellt werden.

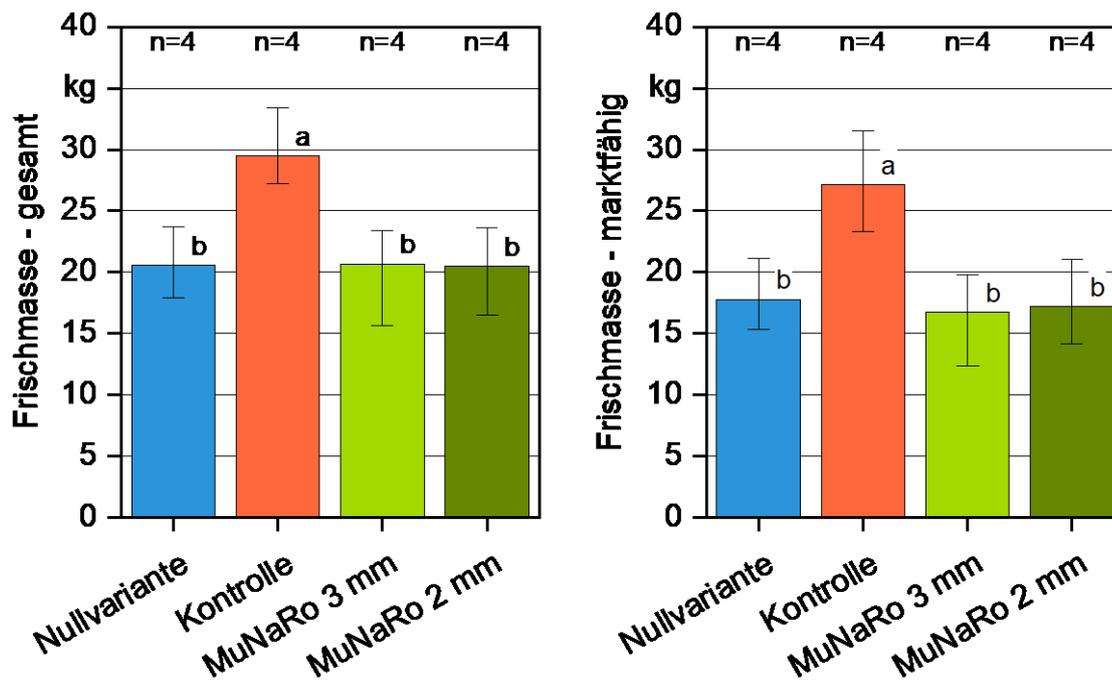


Abbildung 51: Mittelwerte und Spannweiten der Frischmasse – gesamt und marktfähig – der vier Varianten im Versuch Karotte, Unterfranken, 2021, 111 Tage Kulturdauer, Mulchmaterial auf den Dammseiten

Niederbayern, 2022

Im Versuch wurde auf die Dammkrone das Mulchmaterial appliziert. Die tatsächliche aufgebrauchte Schichtdicke sollte mittels vor Applikation in den Applikationsbereich gelegter Holzplatten ermittelt werden. Die Mulchschicht auf den Platten wurde im Anschluss mit einer Schiebelehre vermessen. Bei der Variante mit 1 mm MuNaRo wurde ein Mittelwert von 0,4 mm ermittelt. Bei der zweiten MuNaRo-Variante, in der 2 mm Schichtdicke erreicht werden sollten, ergab die Messung einen Mittelwert von 0,6 mm. Die Diskrepanz zwischen theoretischer und realer Schichtdicke lässt sich durch das Ausbringverfahren erklären. Beim Vermischen im Spritzstrahl werden beide Komponenten als Flüssigkeit auf den Boden gespritzt und vermischen sich direkt auf der Oberfläche. Theoretisch würde so aus einem Liter Mulchmaterial eine Schichtdicke von einem Millimeter resultieren. Da in der Realität allerdings Teile der Komponenten im Boden versickern können, bevor es zur Vermischung kommt, ergibt sich eine Diskrepanz zwischen Ausbringmenge und Schichtdicke. Zudem wird vermutet, dass von den Holzplatten, da diese nicht vollständig waagrecht in die Erde eingelassen werden konnten, Mulchmaterial seitlich abgelaufen ist. Dieser Effekt wurde durch die ungebremst hohe Fließgeschwindigkeit des Materials auf der glatten Platte weiter verstärkt.

Die Qualität des Mulchmaterials wurde bei den Bonituren mitbeurteilt und in drei Kategorien eingeteilt: Kategorie 1 = klebrig, feucht; Kategorie 2 = klebrig, trocken; Kategorie 3 = nicht klebrig, trocken. Das Material wurde durchgehend in Kategorie 3 eingestuft.

Auf Wunsch des Betriebsleiters wurde nur die Dammkrone appliziert, damit auf den Lößböden zwischen den Dämmen gehackt werden konnte. Durch das Schar der Saatmaschine wurde die Mulchschicht jedoch bei der Aussaat nahezu komplett zerstört, sodass kaum Material auf der Dammkrone verblieb, siehe hierzu Abbildung 52. Aus diesem Grund sollten die Ergebnisse dieses Versuchs nicht zur Gesamtbewertung der Beikraut hemmenden Wirkung herangezogen werden. Zur Vollständigkeit sind diese Untersuchungen im Folgenden dennoch dokumentiert.



Abbildung 52: Draufsicht auf das zerstörte Mulchmaterial auf der Dammkrone nach der Saat mit einem Säschar, Versuch Karotte, Niederbayern, 2022, Parzelle 3.2

An Beikräutern waren Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*), Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*), Gewöhnliches Kreuzkraut (*Senecio vulgaris*), Acker-Winde (*Convolvulus arvensis*), Ampfer-Knöterich (*Polygonum persicaria*) und Hühner-Hirse (*Echinochloa crus-galli*) vorhanden.

Durch die Saat mit dem Schar wurde die Mulchmaterialschicht zu stark beschädigt, als noch eine Beikraut hemmende Wirkung hätte vorhanden sein können. Der Beikrautbewuchs auf den Mulchmaterialvarianten war vergleichbar hoch wie bei der Nullvariante. Die Herbizidvariante zeigte kaum Beikräuter, siehe Abbildung 53. Auffällig bei diesem Versuch ist der stark variierende Beikrautbewuchs auf der Fläche. Dieser wird auch in der sehr hohen Standardabweichung der einzelnen Bonitурpunkte deutlich. In der Fläche fanden sich immer wieder Nester von Beikräutern, aber auch Stellen mit deutlich reduziertem Be-

wuchs. Die Ursache für diese sehr inhomogene Verteilung konnte sich auch der Betriebsleiter nicht erklären.

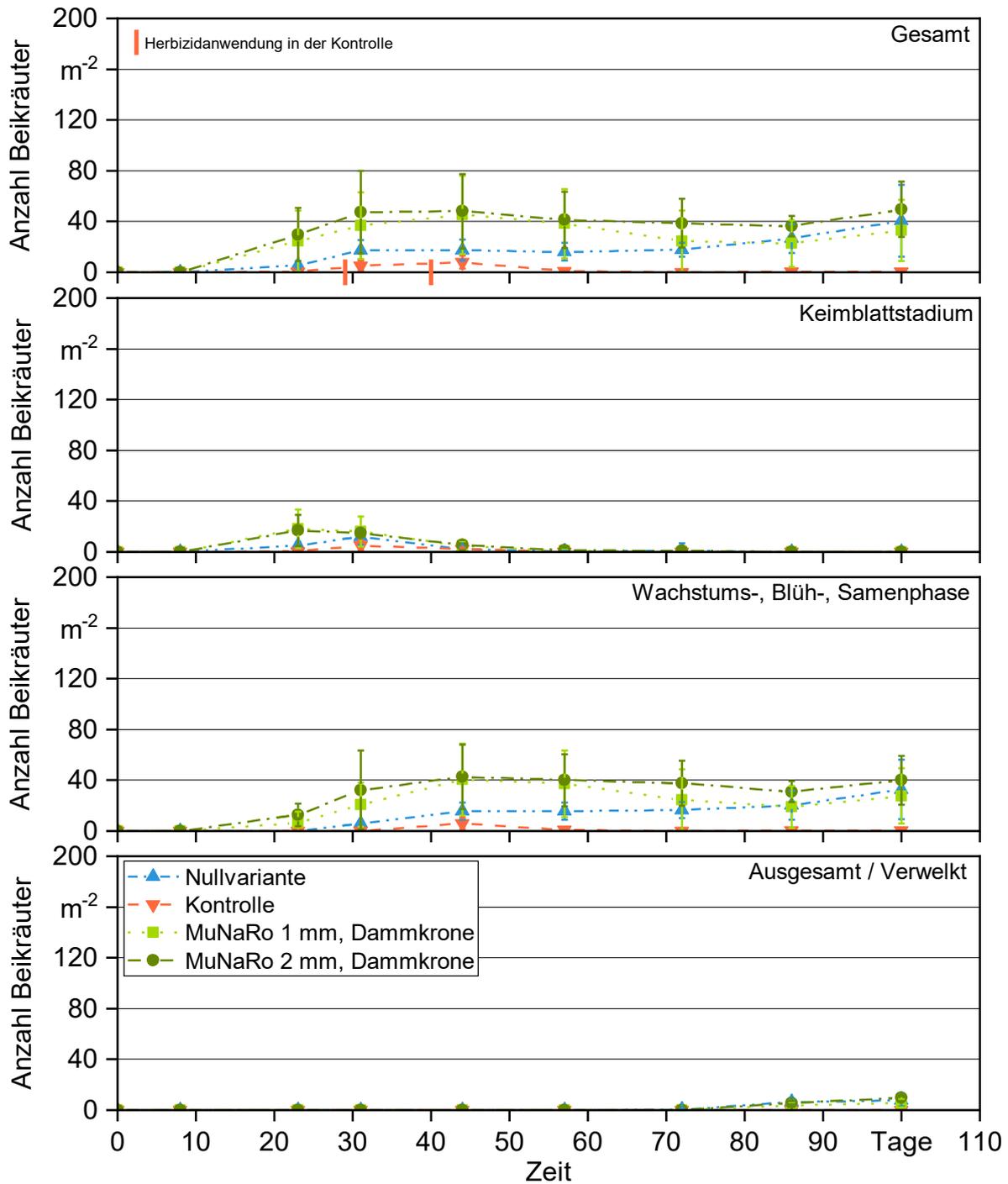


Abbildung 53: Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter in den verschiedenen Wachstumsphasen im Versuch Karotte, Niederbayern, 2022, n = 4

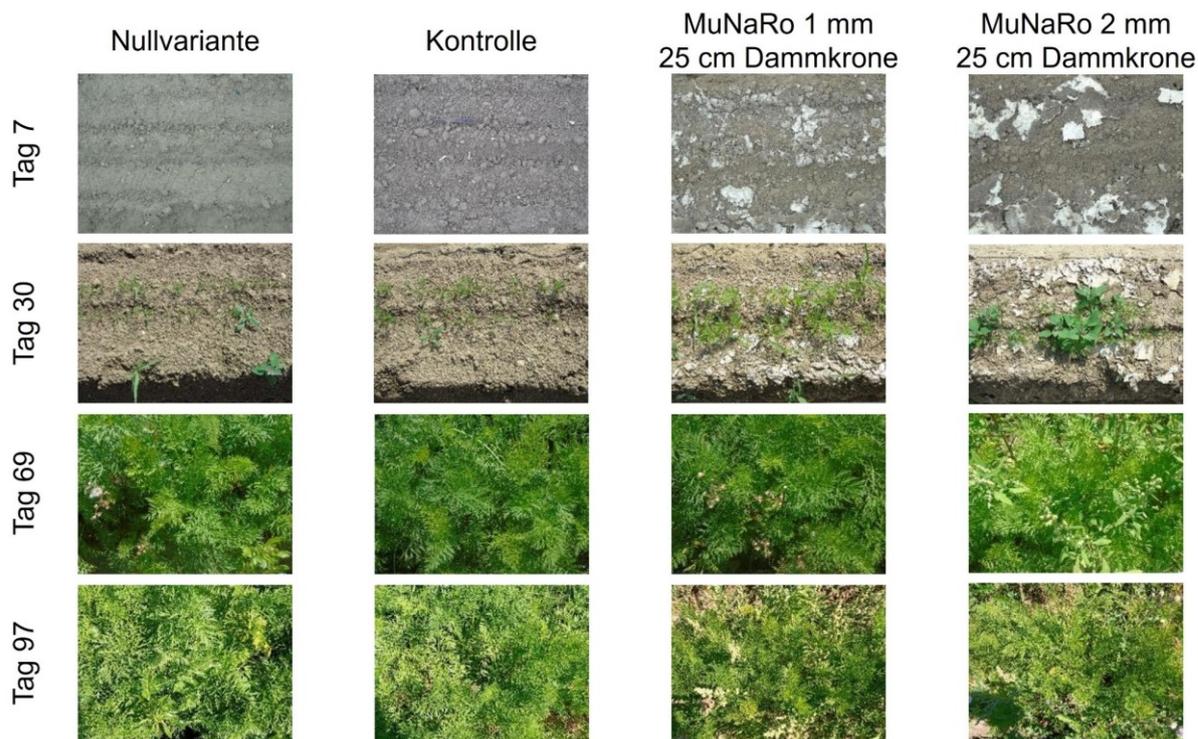


Abbildung 54: *Beikraut* aufwuchs in den vier Varianten im Versuch Karotte, Niederbayern, 2022 zu vier Boniturterminen

Nach sieben Tagen (Bonitur B1) war das Mulchmaterial überwiegend stark zerstört. Die ersten Möhren liefen auf, es waren keine Beikräuter vorhanden. Zu diesem Boniturtermin wurde eine Wildtierkamera installiert.

Weitere zwei Wochen später (Bonitur B2) waren in nahezu jeder Parzelle Beikräuter aufgelaufen. Auffällig war eine von Beginn an erhöhte Anzahl in den MuNaRo-Parzellen 3.3 und 4.3. Hier war auch ein bedeutender Anteil der Beikräuter der Kategorie 2 (Wachstums-, Blüh- und Samenphase) zuzuordnen.

Die Versuchsfläche zum Boniturzeitpunkt B2 ist in Abbildung 55 dargestellt.



Abbildung 55: Gesamtsicht des Versuchs Karotte, Niederbayern, 2022

Zur dritten Bonitur erhöhte sich die Gesamtanzahl der Beikräuter in fast allen Parzellen, wobei in den Kontrollparzellen am wenigsten gezählt wurden. Auffällig war zudem die hohe Anzahl in den Parzellen 3.3 und 4.3. In den äußeren Randreihen dieser Parzellen außerhalb des Boniturbereichs war deutlich der Einfluss der konventionell behandelten Dämme durch Abdrift von Herbiziden zu beobachten. Hier war die Zahl der Beikräuter geringer. Bei den weiteren Bonituren setzte sich der Trend der meisten Beikräuter in den Parzellen 3.3 und 4.3 bis zur Ernte fort, gefolgt von den Parzellen der Nullvariante 1.3 und 1.4 sowie den MuNaRo-Parzellen 3.4 und 4.4.

Maschinell gehackt wurde zur Beikrautbonitur 5 an den Dammseiten und zwischen den Dämmen, ausgenommen in der Nullvariante.

Zur letzten Bonitur wurde eine hellere Laubfarbe in den MuNaRo-Parzellen 5.1, 5.2, 6.1, 3.3, 3.4, 4.3 und 4.1 festgestellt. In der Ertragsauswertung wurden die dicker applizierten Varianten zusammengelegt. Da die Variante 1 mm Schichtdicke zu wenige Wiederholungen und viele Ausreißer aufwies, wurde sie bei der Aufstellung der Daten nicht berücksichtigt.

Bei der Erntebonitur (Abbildung 56) zeigten sich größere Unterschiede zwischen den Varianten, die allerdings aufgrund der großen Streuung der Messwerte nicht statistisch signifikant ausfielen. Es variierten nicht nur die einzelnen Varianten untereinander, zum Teil waren auch sehr große Unterschiede innerhalb derselben Variante zwischen den einzelnen Parzellen erkennbar. Grund hierfür könnte neben dem schon beschriebenen stark

unterschiedlichen Bewuchs auch eine ungleichmäßige Bewässerung sein. Die Bewässerung der Fläche wurde mit Überkopffregnern durchgeführt. Dabei kam es aufgrund unzureichender Überlappung zu trockenen Fehlstellen. Außerdem trat bei der Aussaat ein Problem auf. Der Traktorfahrer konnte das Sägerät nicht exakt in der Spur führen, wodurch an einigen Stellen die Karotten sehr dicht am Rand des Damms gesät wurden. Teilweise wurde sogar nur eine anstatt zwei Reihen Karotten in den Damm gesät. Auch dieser Einfluss führte zu variierenden Ernteerträgen.

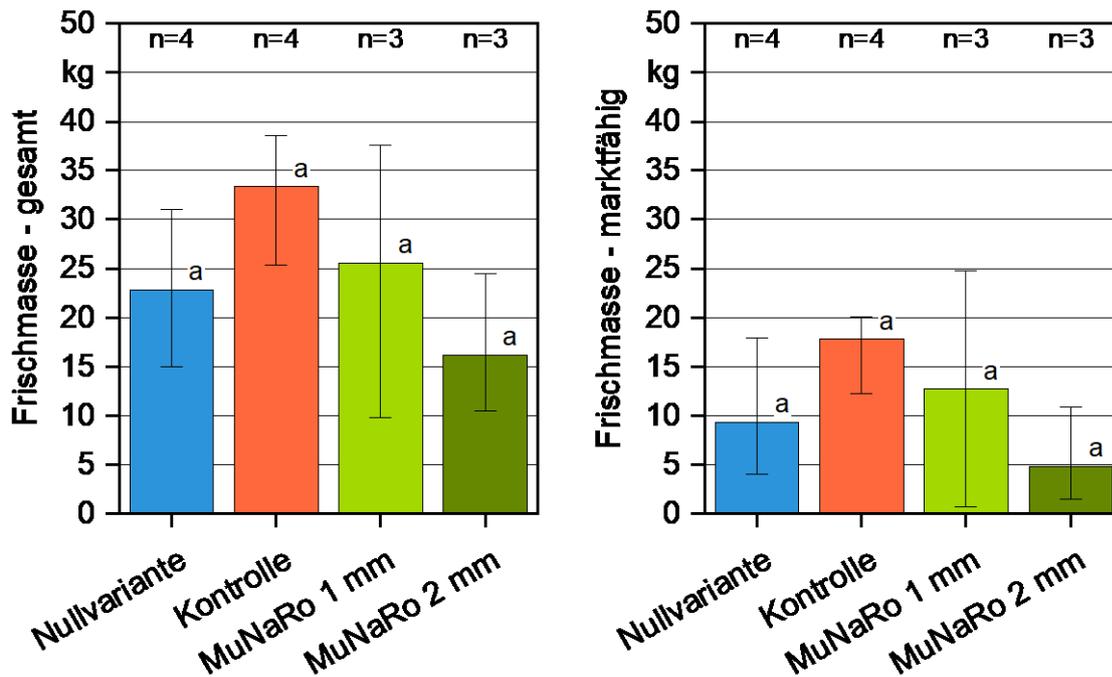


Abbildung 56: Mittelwerte und Spannweiten der Frischmasse – gesamt und marktfähig – der vier Varianten im Versuch Karotte, Niederbayern, 2022, 52 Tage Kulturdauer, Mulchmaterial auf der Dammkrone

Bei der Rückstandsbonitur des Mulchmaterials 159 Tage nach der Applikation konnte kein Material mehr gefunden werden.

Unterfranken, 2022

In Unterfranken wurde das Mulchmaterial an den Dammsseiten appliziert. Auf den sandigen Böden ist eine mechanische Bodenbearbeitung zwischen den Dämmen nicht möglich. Folglich wird in der Praxis hier hauptsächlich mit Herbiziden gespritzt. Das Mulchmaterial könnte ein den Herbizideinsatz reduzierendes Verfahren ermöglichen.

Das Mulchmaterial wurde zu den Boniturzeitpunkten mitbeurteilt und in drei Kategorien eingeteilt: Kategorie 1 = klebrig, feucht; Kategorie 2 = klebrig, trocken; Kategorie 3 = nicht klebrig, trocken. Das Material wurde stets in die Kategorie 3 eingestuft.

Als Leitbeikräuter wurden Amaranth (*Amaranthus retroflexus*), Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*), Vogelknöterich (*Polygonum aviculare*), Schwarzer Nachtschatten (*Solanum nigrum*) und Hühner-Hirse (*Echinochloa crus-galli*) bestimmt. Daneben traten Gemeines Kreuzkraut (*Senecio vulgaris*), Acker-Winde (*Convolvulus arvensis*) und vereinzelt Große Brennnessel (*Urtica dioica*) auf.

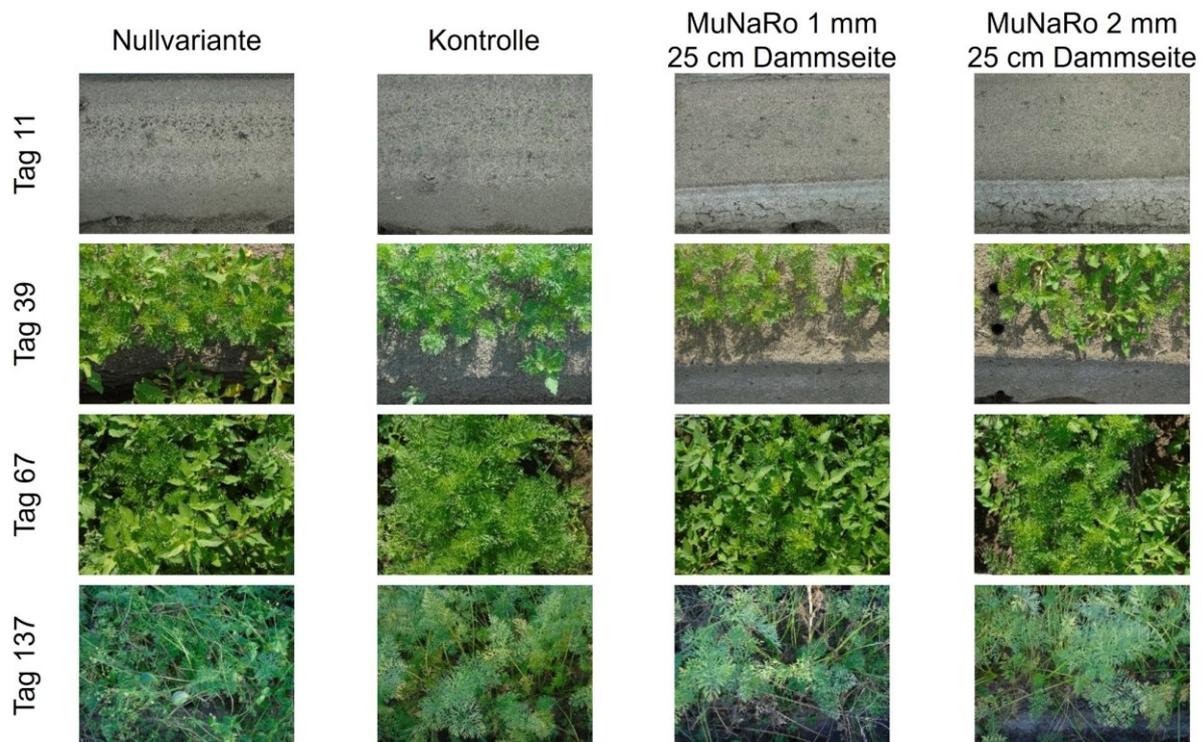


Abbildung 57: Beikrautaufwuchs in den vier Varianten im Versuch Karotte, Unterfranken, 2022 zu vier Boniturterminen

Elf Tage nach der Applikation sind erste Beikräuter in den Rissen des Mulchmaterials zu sehen. Zwei Wochen später zeigte sich der stärkste Beikrautbewuchs in der Nullvariante. Nach 25 Tagen fiel eine langsamere Entwicklung der Karotten in der Kontrollvariante auf (Abbildung 58). Dies ist auch in der Folgeböschung noch sichtbar, danach glich sich das Wachstum an. Dieser Effekt ist auf den Einsatz von Herbiziden zurückzuführen.

Über den kompletten Beobachtungszeitraum war das Mulchmaterial an den Dämmen ersichtlich und es scheint, als ob das Material die Dämme aus sandigem Boden stabilisiert hätte. Die nicht mit Mulchmaterial behandelten Dämme sind zum Teil eingebrochen, wie in Abbildung 58 zu sehen ist.

Zur Bonitur waren Beikräuter verstärkt auf Dammkrone und zwischen den Reihen herangewachsen. Dort wurde aber planmäßig kein Mulchmaterial appliziert und somit in der Nullvariante und der Mulchmaterialvariante keine Beikrautkontrolle durchgeführt. Der vermehrte Bewuchs von Beikräutern könnte einen Einfluss auf Erntemenge und -qualität haben. Ab der Bonitur nach 114 Tagen zeigte sich eine nachlassende Wirkung der Herbizide

in der Kontrollvariante. An lichten Stellen wuchsen viele Beikräuter beeinflusst durch die milde Witterung nach. Die Ergebnisse der Bonituren sind in Abbildung 59 zu sehen.

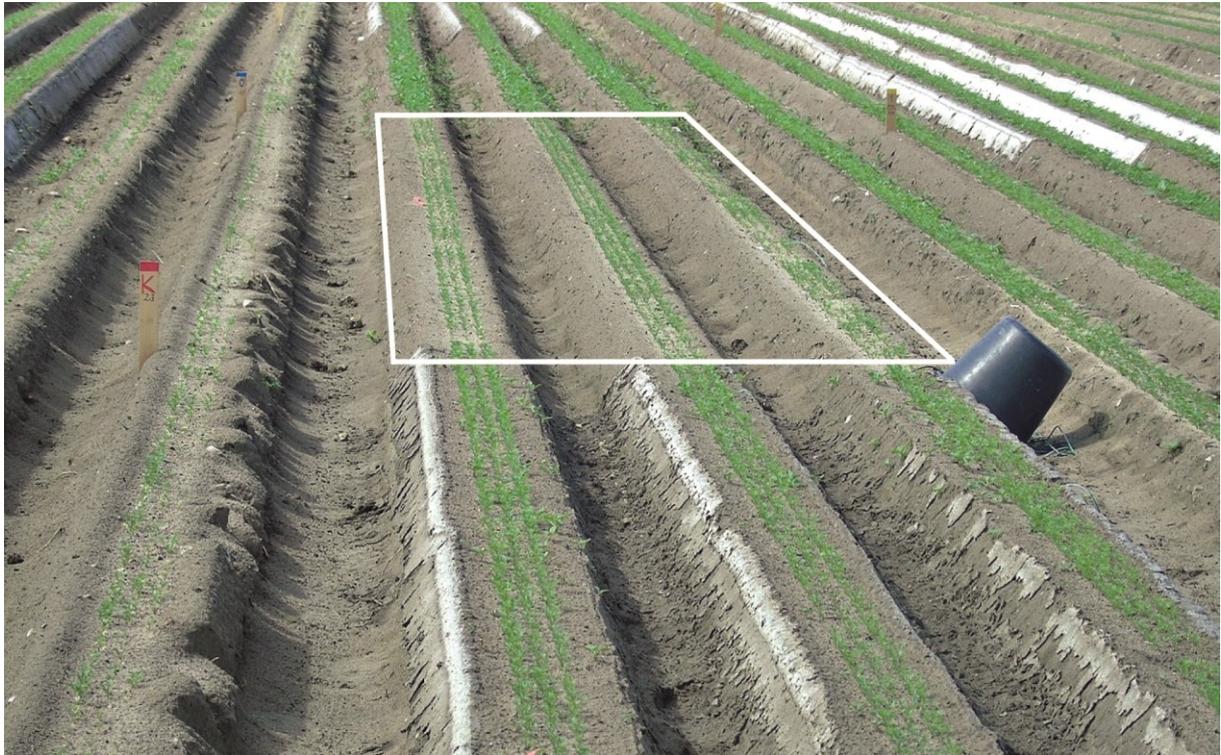


Abbildung 58: Verzögerte Pflanzenentwicklung in der Kontrollvariante Versuch Karotte, Unterfranken, 2022, weiße Markierung: Parzelle 2.3

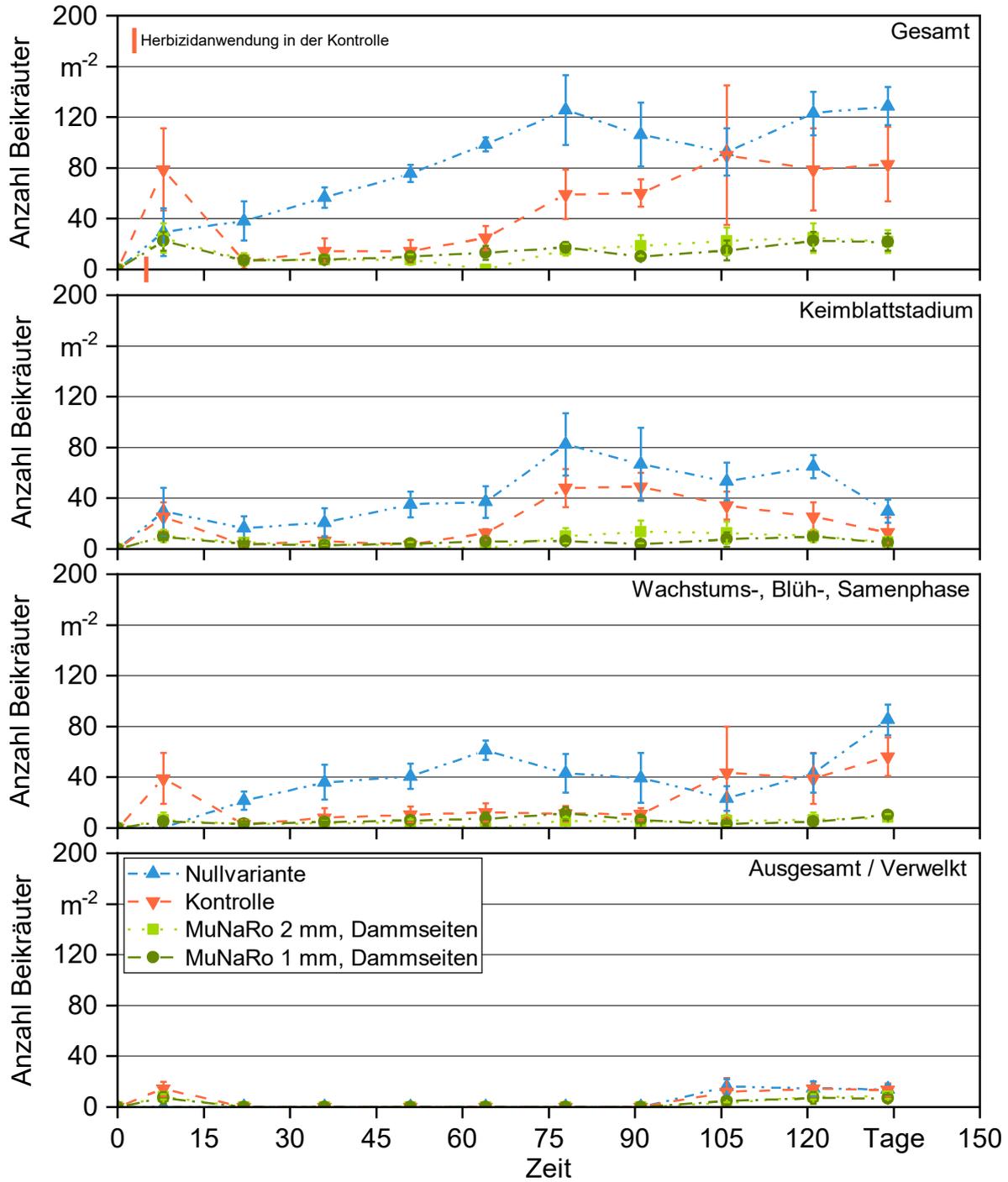


Abbildung 59: Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter in den verschiedenen Wachstumsphasen im Versuch Karotte, Unterfranken, 2022, n = 4

Bodenfeuchte

Als Indikator für die Bodenfeuchte ist der Verlauf der Saugspannung für den Zeitraum von 30.07.2022 bis 08.10.2022 in Abbildung 60 dargestellt. Je höher die Saugspannung ist, desto trockener ist der Boden und geringer die Bodenfeuchte an dieser Stelle.

Bis Mitte September zeigten die Sensoren A und B in der Kontrolle zumeist höhere Saugspannungen an als die Sensoren A, B und C in den Mulchmaterialvarianten. Dies weist darauf hin, dass es im Boden unter dem Mulchmaterial feuchter ist als in der Kontrolle, die keine Mulchauflage hat. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass durch die Beregnung mit Kreisregnern die Fläche technisch bedingt nicht gleichmäßig bewässert wird. Dies zeigen auch die Messdaten anhand deutlich unterschiedlicher Saugspannungen.

Bis Mitte September war der Unterschied zwischen den Varianten deutlich zu beobachten. Mit dem Einsetzen von Niederschlägen ab der zweiten Septemberwoche war der Boden insgesamt feuchter geworden. Gleichzeitig nahm die Evaporation ab. Das spiegelt sich auch in der Grafik wider (Abbildung 60).

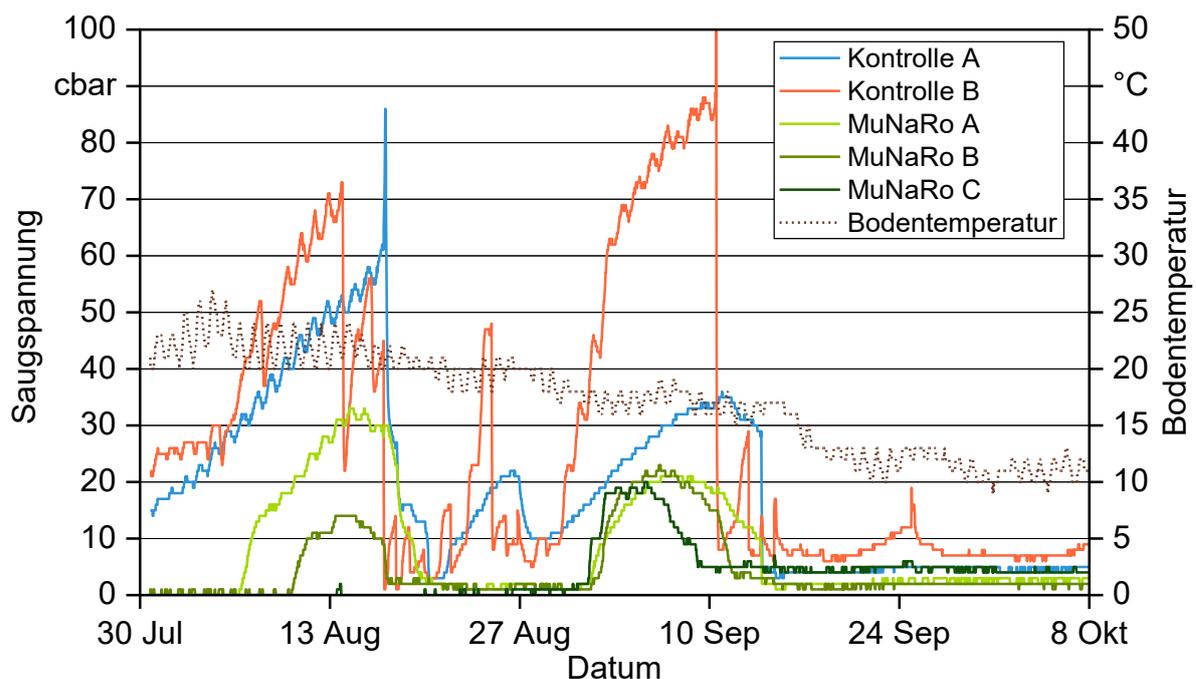


Abbildung 60: Saugspannung in den Varianten und Bodentemperatur im Versuch Karotte, Unterfranken, 2022

Die meisten marktfähigen Karotten wurden aus den Kontrollparzellen geerntet. Auch das Gesamtgewicht geernteter Rüben war hier am höchsten, was aus dem insgesamt besseren Wachstum und der Rübenausbildung resultierte. Die Karotten in der Nullvariante und in den Mulchmaterialvarianten waren insgesamt kleiner und erreichten häufig nicht die Größe der Marktfähigkeit. Ein möglicher Erklärungsansatz für die große Diskrepanz zwischen der Kontrollvariante und den Mulchmaterialvarianten ist der sich unterscheidende

Wasserhaushalt innerhalb der Dämme. Die Bewässerung der Fläche war so eingestellt, dass die Varianten ohne Mulchmaterial ideale Feuchtigkeitsbedingungen hatten. Durch den Verdunstungsschutz des Mulchmaterials war allerdings der Wassergehalt in den Dämmen höher, wodurch die Karotten weniger Masse in die Rüben bildeten. Dieser Effekt würde auch die Färbung des Krauts erklären. In weiteren Versuchen sollte dieser Aspekt näher betrachtet werden.

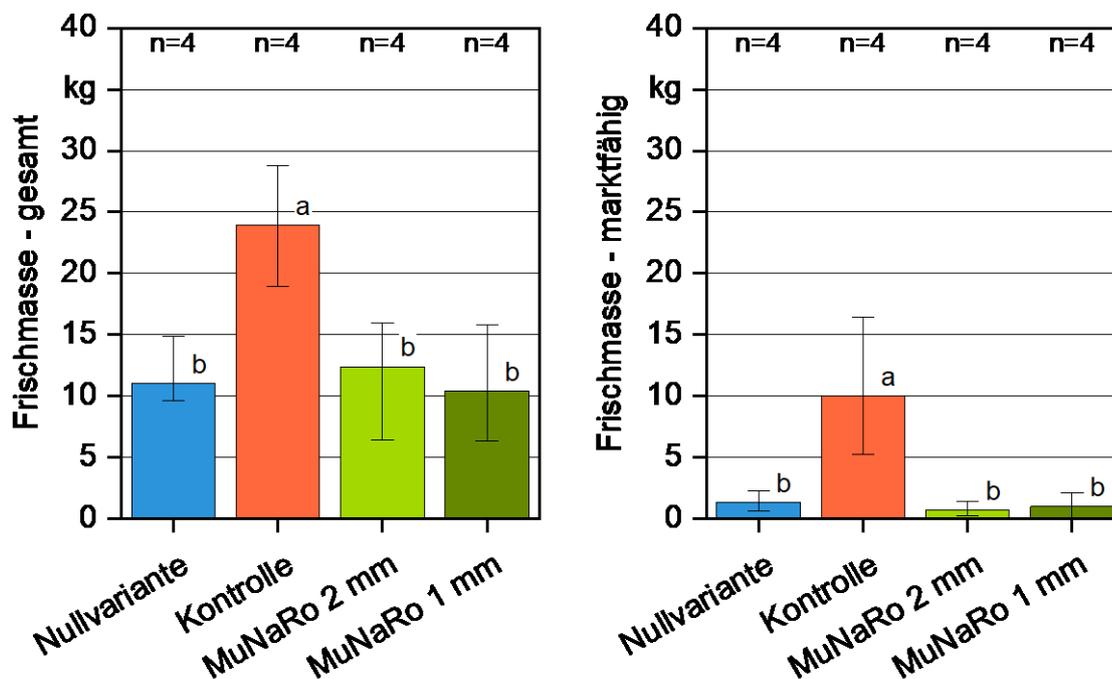


Abbildung 61: Mittelwerte und Spannweiten der Frischmasse – gesamt und marktfähig – der vier Varianten im Versuch Karotte, Unterfranken 2022, 138 Tage Kulturdauer, Mulchmaterial auf den Dammseiten

Zur Untersuchung des möglichen Einflusses des Materials auf die Fauna wurden verschiedene Beobachtungsmethoden durchgeführt. Es wurden Schneckenbretter einen Tag vor Applikation ausgelegt, um die Grundpopulation an Schnecken zu dokumentieren. Die Bretter waren über Nacht ausgelegt. Am Morgen wurden diese auf Schneckenbesatz kontrolliert. Es wurden auf der gesamten Fläche keine Schnecken gefunden.

Um größere Tiere beobachten zu können, wurde eine Fotofalle in der Versuchsfläche aufgestellt. Die Kamera war am südlichen Ende des Versuchs in Richtung Norden in ca. 80 cm Höhe aufgestellt. Es konnte dabei zu Beginn des Versuchs ein Überblick über die gesamte Versuchsfläche gewonnen werden. Die Auswertung der Wildkamera zeigte einige Feldlerchen, Schmetterlinge und Hasen. Es war nicht zu erkennen, dass Tiere auf das Mulchmaterial reagiert haben.

Die Rückstandsbonitur des Mulchmaterials nach der Bodenbearbeitung zeigte keine Reste des Materials mehr. Zwischen Applikation und Rückstandsbonitur lagen 163 Tage.

Fazit Karotte

Der Wunsch nach Applikation der Dammkrone ergibt aus Sicht des Praxisbetriebs in Niederbayern Sinn, da die Dammseiten dort mechanisch bearbeitet werden können. Allerdings war die Kombination aus Applikation und Sämaschinenteknik nicht geeignet, so dass die Mulchschicht stark zerstört wurde und damit ihre Beikraut unterdrückende Funktion nicht mehr vorhanden war. Hier müsste auf ein für das Mulchmaterial schonenderes Saatverfahren zurückgegriffen werden. Die Applikation an den Dammseiten hingegen hat eine sehr gute Beikraut hemmende Wirkung gezeigt. In den Versuchen sowohl 2021 (Niederbayern und Unterfranken) als auch 2022 (Unterfranken) war diese Variante sehr gut. Besonders bei sandigen Böden verleiht das Material den Dämmen zusätzliche Stabilität.

2022 schnitten bei der Erntebonitur die Mulchmaterialvarianten schlechter ab als die Kontrollvariante. Dies könnte auf den höheren Wassergehalt in den Dämmen zurückzuführen sein. Um dies abzuklären, wären weitere Versuche mit gezielter Steuerung des Wasserhaushalts erforderlich. Es wäre denkbar, dass das Mulchmaterial an trockenen Standorten zu einer Einsparung von Wasser führen kann. Es lässt sich festhalten, dass eine Ausbringung des Mulchmaterials auf den Dammseiten eine gute Alternative zu üblichen Methoden darstellen könnte und insbesondere bei sandigen Böden möglicherweise Vorteile aufweist.

6.4.4 Einlegegurke

Niederbayern, 2021

Für die Applikation des Mulchmaterials in Variante 3, bei der das Mulchmaterial die konventionelle Mulchfolie ersetzt, wurden je 15 m der zuvor verlegten Folienbahn herausgeschnitten. Dies ermöglichte, dass der Boden im Applikationsbereich eine glatte Oberflächenstruktur aufwies und dadurch nahezu ideale Bedingungen für die Applikation bot.

Bei der Applikation war ursprünglich für Variante 3 eine Schichtdicke von 5 mm auf eine Breite von 60 cm geplant, appliziert wurde jedoch eine Breite von ca. 75 cm und dadurch reduzierte sich die Schichtdicke auf ca. 3 mm. Während des Versuchs wurde das Applikationsgerät im Frontanbau genutzt, um eine bessere Übersicht für den Fahrer zu bieten. Die Temperatur am Tag der Applikation betrug 7,2 °C. Die Windgeschwindigkeit lag bei 1,6 m/s und der Tagesniederschlag bei 0,7 mm.

Zwei Tage nach Applikation wurden die Gurken gesät, um in Variante 3 als Folienersatz eine trockene Materialschicht für die Saat zu gewährleisten, siehe Abbildung 62. Gesät wurden praxisüblich fünf unterschiedliche Sorten, um eine kontinuierliche Beerntung des Bestands sicherzustellen. Die Verteilung der jeweiligen Sorten in die Saatlöcher ist rein zufällig. Bei der Beurteilung des Gurkenbestands ist dies zu berücksichtigen. Die unterschiedlichen Sorten können im Bestand in der Regel nicht mehr identifiziert werden.



Abbildung 62: Saat Einlegegurke in die konventionelle Mulchfolie in Variante 4 (links) und Saat in das zwei Tage zuvor ausgebrachte Mulchmaterial in Variante 3 (rechts), jeweils mit einem pneumatischen Einzelkornsägerät

Bei der ersten Bonitur nach der Saat wurden in Variante 3 Risse im Mulchmaterial von 20 bis 30 cm Länge und Löcher von ca. 5 × 10 cm festgestellt. Das Mulchmaterial wölbte sich an den Rissen nach oben. Eine mögliche Ursache für die Löcher und Risse ist die mechanische Belastung des Mulchmaterials durch die Andruckrolle der Sämaschine. Ob sich die Beschädigungen vermeiden lassen, wenn die Aussaat zu einem Zeitpunkt erfolgt, zu dem das Mulchmaterial noch nicht stark abgetrocknet und damit noch elastischer ist, sollte in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Zum Zeitpunkt der zweiten Beikrautbonitur wurde beobachtet, dass die Gurkenpflanzen in der Variante 4 besser entwickelt waren als in den anderen Varianten. Bei der dritten Beikrautbonitur wurden die Gurkenpflanzen der dritten Variante etwas schwächer im Wuchs eingeschätzt. Allerdings sind diese Beobachtungen nicht zwingend auf den Einfluss des Mulchmaterials zurückzuführen, da Gurkenpflanzen infolge aufgetretener Kälteschäden vom Betrieb nachgesät wurden. Am vierten Beikrautboniturtermin war die Fläche sehr feucht. Zur Beikrautbonitur 5 wuchsen die Gurkenpflanzen bereits über die Fahrspuren, lediglich in Variante 3 war der Gurkenbestand noch nicht geschlossen. Zu den nachfolgenden Boniturterminen war eine deutliche Stagnation im Aufwuchs der Beikräuter festzustellen. Das Mulchmaterial baute sich ab und in allen Parzellen der Variante 3 lagen die ursprünglich vergrabenen Tropfschläuche frei.

Als Leitbeikräuter können Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli* und *Echinochloa muricata*) und Schwarzer Nachtschatten (*Solanum nigrum*) genannt werden. Vom Betriebsleiter wurde auch die Hirse als Problemkraut genannt.

In Abbildung 63 wird die Entwicklung des Beikrautbesatzes anhand der Anzahl Beikräuter der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Einlegegurke gezeigt. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Boniturspunkte sind die Varianten nur schwerlich miteinander vergleichbar. Die Boniturflächen von Nullvariante, Kontrollvariante und Variante 4 waren zur Hälfte mit Mulchfolie bedeckt, sodass die Anzahl an Beikräutern etwa um die Hälfte geringer war. Es lässt sich feststellen, dass die Anwendung des Mulchmaterials neben der Folie als Herbizidersatz über den kompletten Vegetationszeitraum sehr gut gegen den Aufwuchs von Beikräutern wirkte. Auch der Ersatz der konventionellen Folie, wie sie in der Nullvariante und der Kontrolle verwendet wurde, kann gut bewerkstelligt werden. Nach ca. vier Monaten stieg der Beikrautbesatz geringfügig an, was von der Praxis in der Regel toleriert würde. Grund hierfür ist vermutlich der langsame Abbau des Mulchmaterials.

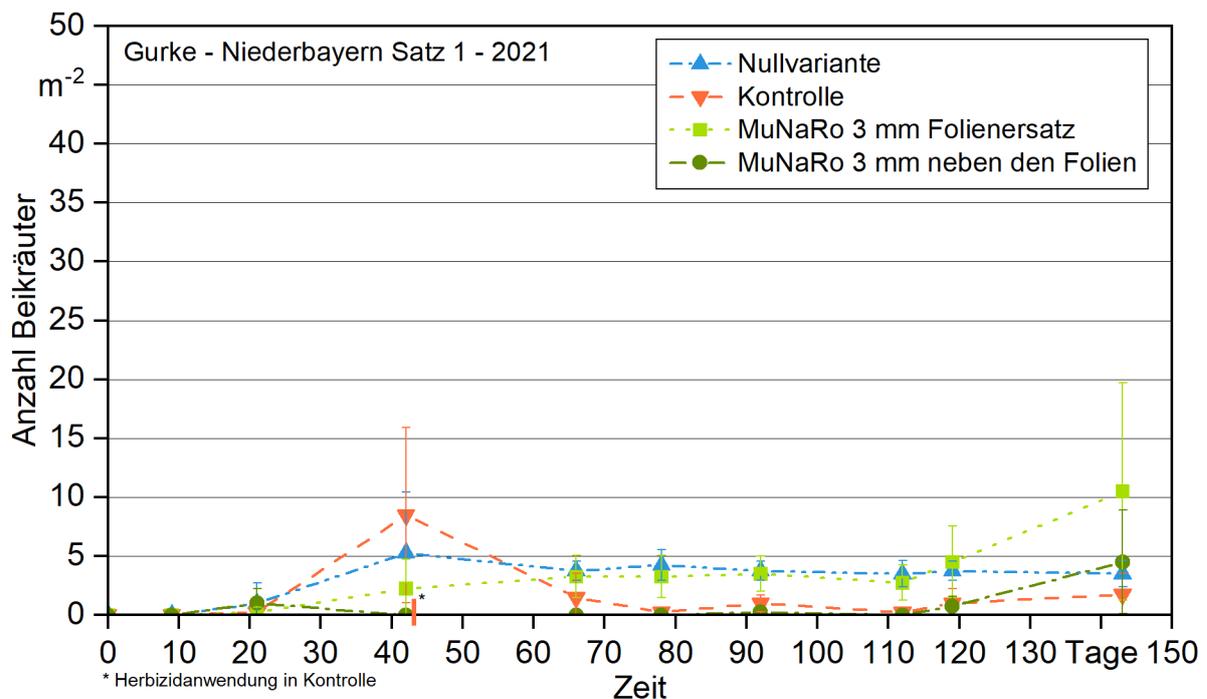


Abbildung 63: Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter der vier Varianten im zeitlichen Verlauf im Versuch Einlegegurke, Niederbayern, 2021

Ende Juli, Anfang August waren Gelbfärbungen an Gurkenblättern feststellbar. Aus diesem Grund wurden Blattproben entnommen und eine Nährstoffanalyse beauftragt. Die Ergebnisse, siehe hierzu Analysebericht in Tabelle 20, ergaben für die einzelnen Varianten keine Auffälligkeiten. Die Schwierigkeit bei der Beurteilung der Analyseergebnisse liegt außerdem darin, dass die Sorteneinflüsse nicht bestimmbar sind.

Tabelle 20: Auszug aus dem Bericht zu den Nährstoffanalysen von Blattproben im Versuch Einlegegurken

Variante	Labor-Nr	Frischmasse g	Wassergehalt %	Gesamt-N Dumas %	P	K	Mg	Ca	Cu	Mn	Zn	Fe	Mo
					%			mg/kg					
1	21114	184,8	73,5	2,43	0,32	1,95	1,06	6,30	10	272	58	933	2
2	21115	157,9	74,5	2,72	0,34	2,08	1,06	6,51	9	250	55	1085	3
3	21116	149,5	71,2	2,05	0,44	1,67	0,99	6,81	8	240	53	1072	2
4	21117	143,5	69,7	2,29	0,32	1,74	1,12	6,36	8	259	54	459	1

Um eine Beurteilung der Unterschiede in der Entwicklung der Pflanzen in den einzelnen Parzellen zu ermöglichen, wurden bei einem Drohnenüberflug Fotos angefertigt. Abbildung 64 zeigt den Zustand der Versuchsparzellen am 25.08.2021 aus der Vogelperspektive.



Abbildung 64: Luftaufnahme der Versuchsfläche Einlegegurke, Niederbayern, 2021 zur Beurteilung des Pflanzenbestands in den einzelnen Parzellen

Tendenziell lässt sich in den Parzellen der Variante 3 eine geringfügig stärkere Gelbfärbung des Bestands beobachten. Im Vergleich mit den Parzellen der Varianten 1, 2 und 4 ist jedoch festzustellen, dass auch vereinzelt in diesen Parzellen eine geringfügig stärkere Gelbfärbung auftritt. Außerdem ist auch auf den dem Versuchsfeld benachbarten Gurkenbeständen eine nicht homogene Färbung festzustellen.

Die Rückstandsbonitur nach 169 Tagen nach Applikation ergab, dass in der Variante 4 keine Mulchmaterialreste gefunden wurden. In Variante 3 sind vereinzelt Reste auf dem Boden feststellbar gewesen. Auffällig waren Reste der konventionellen Mulchfolien in Parzellen der Varianten 1, 2 und 4.

Niederbayern, 2022

Im Bereich der Applikation wurde die zuvor verlegte Mulchfolie ausgeschnitten und entfernt. Der Boden in dem Bereich war durch das Walzen beim vorherigen Verlegen der Folien eben und leicht verdichtet und somit gut vorbereitet für die Applikation des Mulchmaterials. Die Temperatur am Tag der Applikation betrug 12,9 °C. Die Windgeschwindigkeit lag bei 1,9 m/s und der Tagesniederschlag bei 0 mm. In Abbildung 65 ist das Applikationsverfahren im Versuchsjahr 2022 zu sehen. Die Applikation erfolgte gleichzeitig in drei Bahnen. Die Saat in das Mulchmaterial erfolgte einen Tag nach Applikation.



Abbildung 65: Applikation des Mulchmaterials in 3 mm Schichtdicke als Folienersatz in drei Bahnen

Im Versuchsjahr 2022 wurde das Mulchmaterial als Folienersatz getestet. Es wurden zwei Schichtdicken und eine schwarz eingefärbte Variante untersucht. Ein großer Vorteil im Ersatz der konventionellen Kunststofffolien liegt darin, dass eine mechanische Beikrautbekämpfung in den Bereichen zwischen den Folien- bzw. Mulchmaterialbahnen erleichtert oder gar erst möglich wird. Bei konventionellen Folien ist die Gefahr groß, dass sie beim Hacken oder Bürsten beschädigt oder aus der Erde herausgerissen werden. Im Praxisbetrieb wird daher üblicherweise zur Unkrautbekämpfung zwischen den Bahnen ein Herbizid eingesetzt. Der zeitliche Verlauf des Beikrautbesatzes in den unterschiedlichen Parzellen wird in Abbildung 66 dargestellt. Sowohl bei der Nullvariante als auch bei der Kontrolle wurde ein Bereich der Abdeckfolie bonitiert. Die Mulchmaterialvarianten zeigten bereits nach wenigen Wochen vermehrt Bewuchs von Beikräutern. Neben den typischen Beikräutern war auch ein sehr starker Durchwuchs der Vorkultur Kartoffel feststellbar. Die Kartoffelpflanzen wuchsen nahezu ungehindert durch das Mulchmaterial und beschädigten die Schicht. Nach knapp zwei Monaten war der Bewuchs von Hirse in den Mulchmaterialparzellen so stark, dass Pflanzen vom Versuchsbetrieb manuell entfernt wurden. Der Versuch wurde daraufhin zu diesem Zeitpunkt beendet. Im Laufe der Bonituren zeigte sich, dass die Eigenschaften des Mulchmaterials schlechter waren als im Vorjahr. Vermutlich ist das auf eine nicht optimale Applikation des Materials zurückzuführen. Dieser Versuch auf der Gurkenfläche war der erste Einsatz des Applikationsgeräts der Firma Amazonen-Werke. Durch die noch fehlende Praxiserfahrung in der Handhabung des Geräts wurde das Mischungsverhältnis der beiden Komponenten nicht wie vorgesehen erreicht. Zudem kam es zu mehreren kleineren Zwischenfällen, die primär auf fehlende Erfahrung der Bediener im Umgang mit dem Gerät zurückzuführen sind.

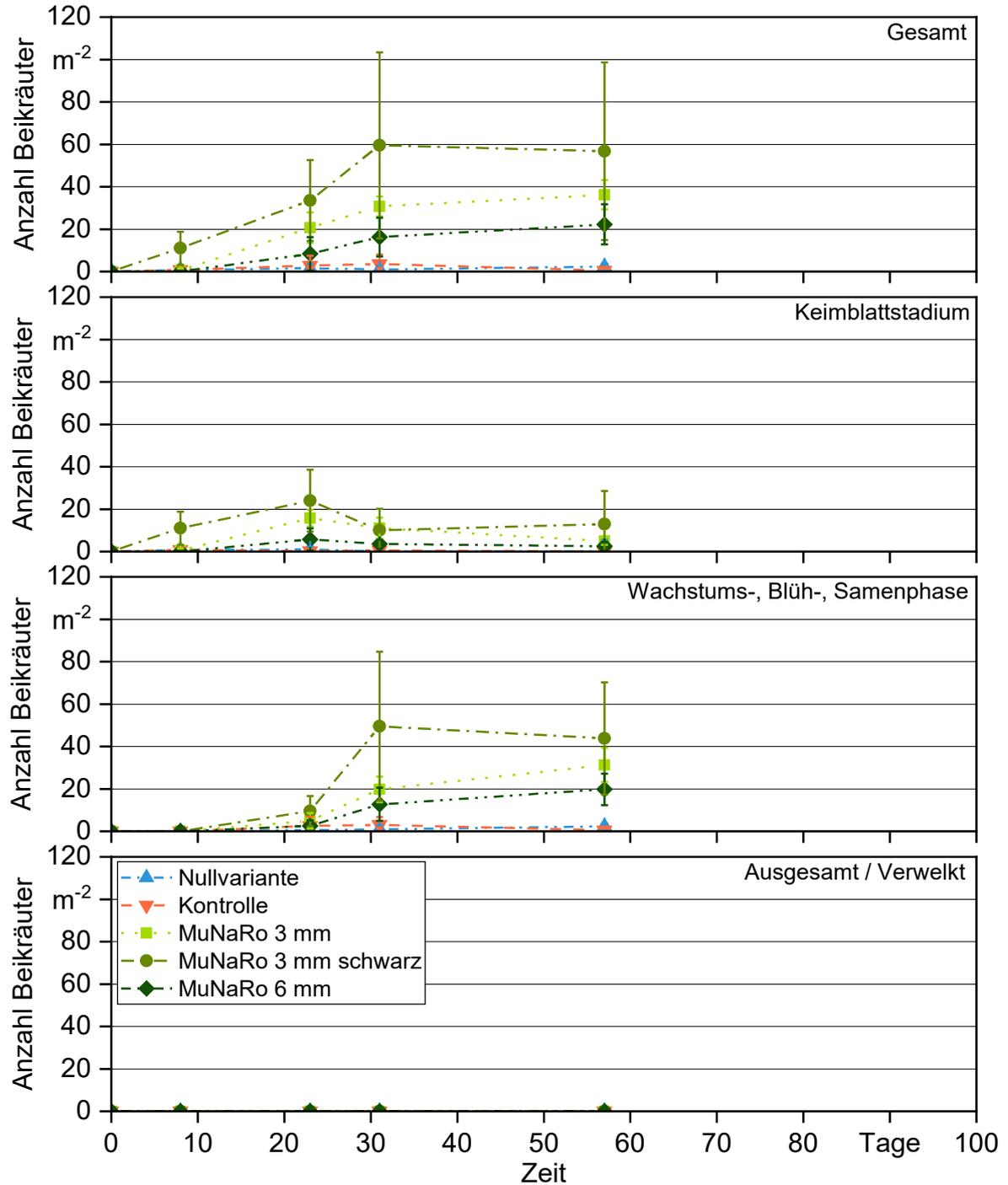


Abbildung 66: Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl Beikräuter in den verschiedenen Wachstumsphasen im Versuch Einlegegurke, Niederbayern, 2022, $n = 4$

Nach acht Tagen konnte festgestellt werden, dass das Material insgesamt sehr rissig und brüchig wurde, siehe Foto links in Abbildung 67. Aufgrund des Durchstechens der Mulchmaterialschiicht beim Säen und der großen mechanischen Belastung der Andruckrollen war das Mulchmaterial teilweise beschädigt worden. Dies führte auch zu einer vermehrten Rissbildung. Erste Beikräuter wuchsen in erster Linie durch diese Risse, vereinzelt bra-

chen sie auch durch das Material, siehe Foto rechts in Abbildung 67. Die langfristigen Schäden durch die Andruckrollen und den Durchwuchs der Vorkultur Kartoffeln zeigt Abbildung 68. Auf der Fläche wurde der Geruch von Rapsöl wahrgenommen, der teilweise als unangenehm empfunden wurde.



Abbildung 67: Rissbildung und Beikrautdurchwuchs 8 Tage nach der Applikation, Versuch Einlegegurke, Niederbayern, 2022



Abbildung 68: Kartoffeldurchwuchs im Versuch Einlegegurke, Niederbayern, 2022 in Variante MuNaRo 3 mm, 31 Tage nach der Applikation

Die Beschaffenheit des Mulchmaterials wurde nach einer Woche als überwiegend nicht klebrig und trocken bonitiert, nur vereinzelt waren leicht klebrige, aber trockene Stellen (Kategorie 2) vorhanden.

Der Aufwuchs der Gurkenpflanzen war im Versuchsfeld insgesamt eher schlecht zu bewerten. Der Betrieb säte deshalb in allen Varianten nach. In jeder Wiederholung der Mulchmaterialvarianten war das Auflaufen der Saat geringer als in den Kontroll- und Nullvarianten. Bei der Zählung der gekeimten Gurkenpflanzen in der Reihe zeigten sich die in Abbildung 69 zusammengefassten Ergebnisse. Die Ursache für die ungenügende Etablierung der Gurkenpflanzen in den Mulchmaterialvarianten war nicht offensichtlich. Die Fähigkeit der Keimung von Gurkensaatgut im Mulchmaterial wurde erfolgreich in Vorversuchen im Gewächshaus getestet und ist somit als für die schlechte Keimung ursächlich zunächst auszuschließen. Eine mögliche Erklärung für das schlechte Keimverhalten in den Mulchmaterialvarianten könnte die Wasserversorgung sein. Für den Versuch wurden in den Mulchmaterialvarianten die Bewässerungstropfschläuche manuell unter die Erde vergraben. Dabei wurde möglicherweise zu wenig auf die exakte Ablage der Schläuche hinsichtlich Tiefe und Entfernung zum Saatloch geachtet. Sollte die Wasserversorgung des Saatguts nicht ausreichend gewährleistet gewesen sein, würde das die ungenügende Keimung erklären.

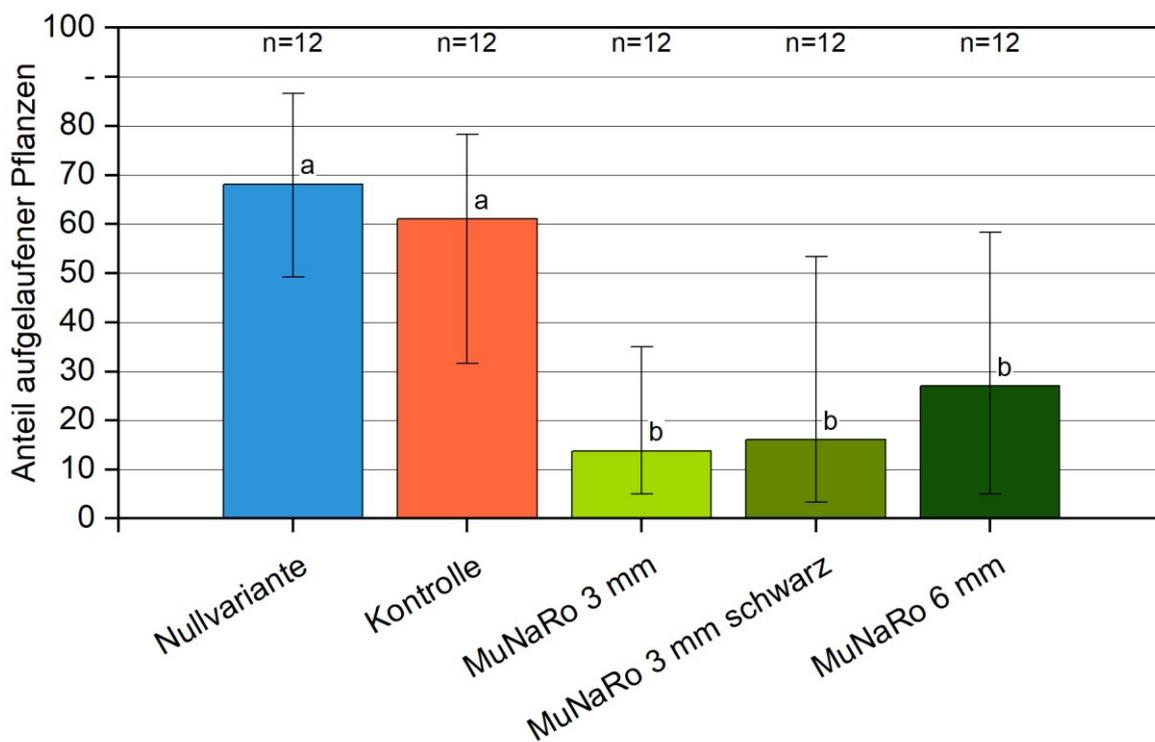


Abbildung 69: Mittelwerte und Spannweiten des Anteils gekeimter Gurkensamen pro Gurkenbahn 23 Tage nach Aussaat (drei Gurkenbahnen pro Parzelle)

Nach 31 Tagen war das Mulchmaterial weiterhin sehr rissig, jedoch keine Verstärkung der Rissbildung gegenüber der vorangegangenen Bonitur festzustellen. Da der Aufwuchs von

Kartoffelpflanzen weiterhin stark zunahm, wurden diese per Hand durch den Betrieb zu diesem Termin entfernt. Zudem wurden Gurkenpflanzen wie im konventionellen Bestand nachgesät. Am Tag der Bonitur wurde die Oberflächentemperatur der Mulchmaterialien gemessen. Dabei war die Temperatur auf den schwarzen Kunststoffolien mit ca. 56 °C am höchsten, danach folgten das schwarz eingefärbte Mulchmaterial mit ca. 51 °C und die beiden nicht eingefärbten Mulchmaterialvarianten mit ca. 42 °C. Durch das Einfärben des Mulchmaterials kann die Oberflächentemperatur nahezu auf die Temperatur der konventionellen Folie erhöht werden. Eine weitere Erhöhung der Konzentration schwarzer Pigmente könnte möglicherweise eine nochmalige Steigerung der Oberflächentemperatur auf der schwarzen Mulchschicht bewirken. Die Ergebnisse der Messungen der Oberflächentemperatur an zwei Tagen sind in Abbildung 70 zusammengestellt.

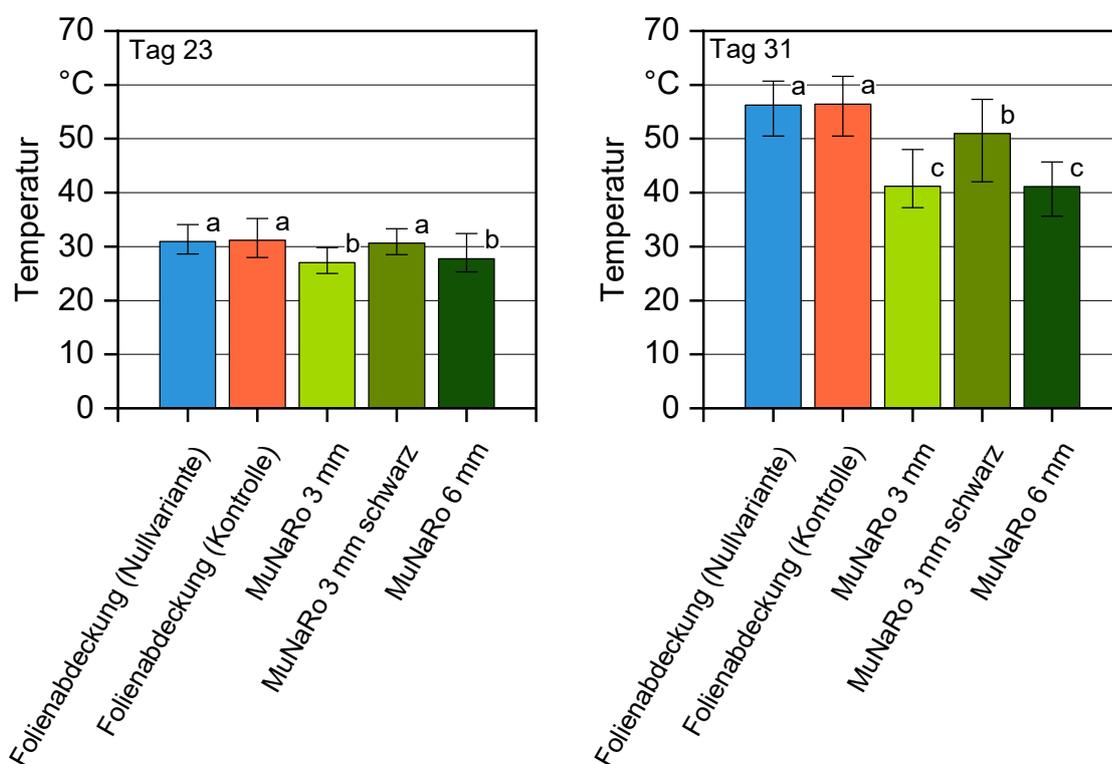


Abbildung 70: Mittelwerte und Spannweiten der Oberflächentemperatur der Folienabdeckung und des MuNaRo-Materials nach 23 und 31 Tagen nach Aussaat im Versuch Einlegegurke, Niederbayern, 2022, $n = 36$

Da der Beikrautbesatz in den MuNaRo-Varianten sehr hoch war, wurde der Versuch am Tag 59, nach der vierten Beikrautbonitur beendet. Das Beikraut hat die Gurkenpflanzen teilweise überragt, sodass diese im Wachstum gehemmt waren. Laut dem Betriebsleiter wäre eine Beerntung mittels Gurkenflieger nicht möglich gewesen. Das Beikraut wurde anschließend manuell entfernt. Den starken Beikrautbewuchs zeigt Abbildung 71.



Abbildung 71: Beikrautbewuchs in Parzelle 4.3 im Versuch Einlegegurke, Niederbayern, 2022, 59 Tage nach der Applikation

72 Tage nach der Applikation wurde noch auf das Stadium des Abbaus und Rückstände des Mulchmaterials bonitiert. Es zeigte sich, dass die Mulchschichten bereits stark im Abbau vorangeschritten waren.

Bei der Bonitur zeigte sich auch, dass der Gurkenbestand in den Mulchmaterialvarianten deutlich schwächer war als in der Nullvariante und in der Kontrollvariante. Teilweise waren größere Lücken im Bestand, was in Abbildung 72 zu erkennen ist.



Abbildung 72: Lückiger Pflanzenbestand und stark zerstörte Mulchschicht zum Boniturzeitpunkt 5 im Versuch Einlegegurke, Niederbayern, 2022

Drohnenaufnahmen (Abbildung 73) am 26.07.2022 bestätigten den Eindruck der schlechten Bestandsentwicklung in den Mulchmaterialvarianten. Als Ursachen sind vor allem die schlechtere Keimung (wie bereits bei der Bonitur nach acht Tagen festgestellt), die größere Konkurrenz durch die Beikräuter und die vermutlich schlechtere Wasserversorgung zu nennen. Beim Herausziehen der Beikräuter wurde die Mulchschicht noch weiter zerstört, sodass nahezu kein Verdunstungsschutz mehr gegeben war. Außerdem ist denkbar, dass mit der Vliesauflage, insbesondere beim häufigen Auf- und Abdecken für die Bonituren, Mulchmaterial auf die Gurkenpflanzen verschleppt wurde, das dann in Folge das Pflanzenwachstum beeinträchtigte. Außerdem könnte mit Mulchmaterial benetztes Vlies zu einer stärkeren mechanischen Belastung der Gurkenpflanzen insbesondere bei Wind (flatterndes Vlies) führen.

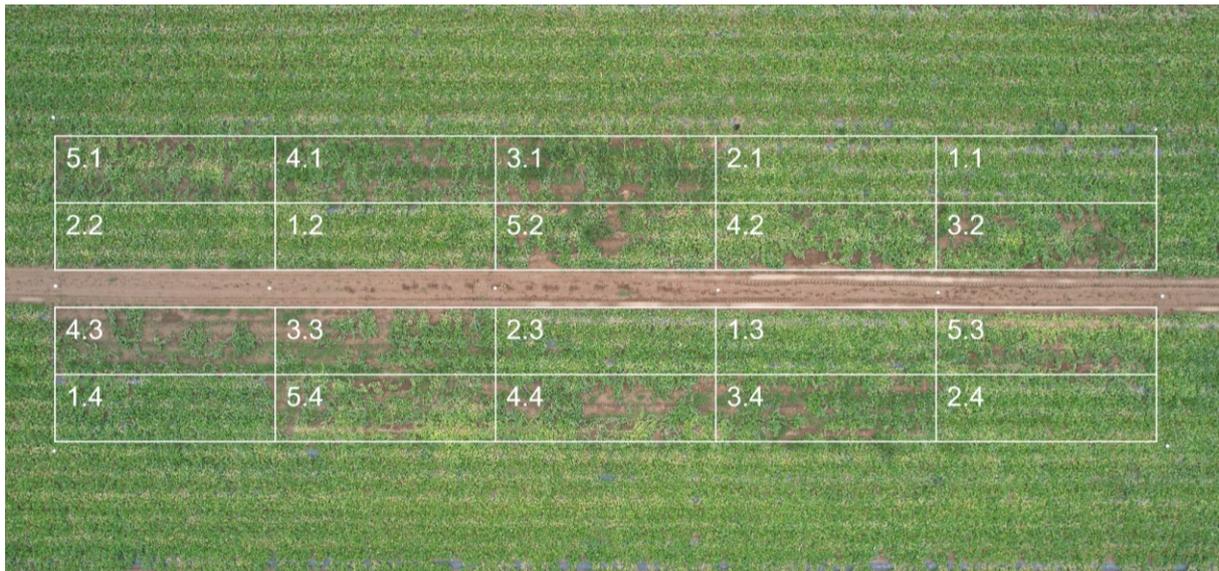


Abbildung 73: Luftaufnahme der Versuchsfläche Einlegegurke, Niederbayern, 2022 vom 26.07.2022 zur Beurteilung des Pflanzenbestands in den einzelnen Parzellen

Auf der Fläche wurden zu den Boniturterminen Kiebitze, Feldlerchen und Hasen gesichtet.

Am 26.09.2022 wurde das Restmaterial auf der Fläche beurteilt. 159 Tage nach der Applikation und 14 Tage nach der Bodenbearbeitung war kein Material mehr sichtbar.

Fazit Einlegegurke

Während die Ergebnisse im ersten Versuchsjahr noch sehr vielversprechend waren, war der Versuch im Jahr 2022 nicht erfolgreich. Es traten zu viele Störeinflüsse während der Kultur sowie Fehler bei der Vorbereitung und Applikation des Mulchmaterials auf, die vermutlich ein gutes Ergebnis der Mulchmaterialvarianten verhinderten. Die grundsätzliche Idee, das Mulchmaterial als Folienersatz zu verwenden, sollte aber nicht ausgeschlossen werden. Es zeigte sich allerdings, dass dieses neuartige Verfahren ein Herbizidverfahren nicht eins zu eins ersetzen kann. Das gesamte Produktionsverfahren muss mit dem Mulchverfahren abgestimmt werden. Das schließt z. B. das Verlegen der Bewässerungsschläuche ein. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Schläuche das Saatgut auch ausreichend mit Wasser versorgen können. Beim Säen sollte das Mulchmaterial möglichst wenig beschädigt werden. Das Durchstechen des Materials zur Saatablage kann toleriert, das heftige Andrücken mit der Rolle sollte jedoch vermieden werden. Durch die Andruckrollen wurde die Mulchschicht so stark beschädigt, dass eine ausreichend hohe Beikraut hemmende Wirkung nicht mehr gewährleistet werden konnte. Weitere Untersuchungen zum Einfluss der Vliesauflage sind erforderlich. Sollte sich die Bewässerungs- und Saatechnik auf das Mulchverfahren abstimmen lassen, könnte nicht nur auf Kunststofffolien verzichtet, sondern zudem der Zwischenbereich neben den Mulchmaterialbahnen problemlos mechanisch gehackt werden. Dies würde die Herbizidaufwendungen senken. Es lässt sich zusammenfassen, dass der Einlegegurkenanbau in Kombination mit dem Mulchverfahren

trotz negativer Erfahrungen im zweiten Versuchsjahr Potenzial besitzt. Weitere Untersuchungen sollten folgen.

6.4.5 Fazit Beikraut hemmende Wirkung des Mulchmaterials

In allen Versuchen zeigte das Mulchmaterial eine Beikraut hemmende Wirkung. Mit zunehmender Schichtdicke ist tendenziell auch eine stärkere Beikrautunterdrückung festzustellen. Voraussetzung für den Erfolg ist eine möglichst geschlossene Mulchschicht mit homogener Schichtdicke. Diese wird erreicht, wenn bei der Applikation das Mischungsverhältnis der Komponenten eingehalten wird und eine sehr gute Vermischung der Flüssigkeiten sichergestellt werden kann. Eine ebene Bodenfläche ist für eine gleichmäßige Schichtausbildung erforderlich – Prismenwalzen zur finalen Beetbereitung sind daher beispielsweise ungeeignet. Einen großen Einfluss auf die Wirkung des Mulchmaterials, wenn es „in der Reihe“ zur Anwendung kommt, haben auch die Pflanz- bzw. Saatverfahren. Bei diesen Arbeitsschritten wird die zunächst geschlossene Materialschicht zumeist beschädigt, was zu einer Reduzierung der Wirkung und auch der Haltbarkeit des Materials führt. Besonders ungeeignet sind Verfahren, die die Mulchmaterialschicht großflächig öffnen. Das ist beispielsweise beim Säen mit einem Säeschar der Fall. Der Mulchmaterialstreifen wird durch das Säaggregat fast vollständig zerstört. Auch Andruckrollen zum Herstellen des Bodenschlusses nach der Saat oder Pflanzung können, wenn sie nicht optimal, insbesondere hinsichtlich der Höhenführung, eingestellt sind, das Material erheblich beschädigen.

Die Versuchsvarianten, in denen das Mulchmaterial zwischen den Reihen ausgebracht wurde, zeigten deutlich weniger Beikrautbewuchs als die Varianten in der Reihe. Dies bestätigt, dass das Material an sich eine gute Beikraut hemmende Wirkung hat, solange es nicht mechanisch beschädigt wird.

Als Voraussetzung für eine erfolgreiche Beikrautunterdrückung ohne negative Einflüsse auf Ertrag und Ernte muss das gesamte Kulturverfahren mit dem Mulchverfahren abgestimmt werden. Dann könnte das Mulchmaterial eine gute Alternative zu konventionellen Folien und Herbiziden darstellen. Dieser Ansatz sollte in weiteren Exaktversuchen untersucht und auf eine Praxistauglichkeit hin optimiert und validiert werden.

6.5 Gewächshausversuche

Da bei den Feldversuchen mit Kopfsalat zum Teil Wuchsdepressionen auftraten, wurde die Verträglichkeit dieser Kultur mit dem Mulchmaterial in Gewächshausversuchen untersucht. Parallel dazu wurde auch die Keimung der Gurken unter Einfluss des Mulchmaterials verglichen, da im Jahr 2022 in diesem Versuch ein hoher Ausfall bei der Keimung der Gurkensämlinge zu beobachten war. Im Folgenden werden einige beispielhafte Ergebnisse berichtet.

Kopfsalat

Die Auswertung der Kopfsalatgewichte, dargestellt in Abbildung 74, zeigt einen signifikanten Unterschied der Varianten. Während sich die Bewässerungsstrategie nicht auf das Gewicht auswirkte, zeigten die Salatköpfe in der Mulchmaterialvariante eine deutliche Wuchsdepression. Zudem hatte die Schichtdicke einen Einfluss auf das Erntegewicht. Der Salat in der dickeren Mulchmaterialvariante war leichter als die Salatköpfe der dünneren Mulchschicht. Dieses Ergebnis lässt den Schluss zu, dass das Mulchmaterial oder einzelne Inhaltsstoffe des Materials zu Wuchsdepressionen führen. Dies erklärt die niedrigeren Gewichte bei den Erntebonituren der Kopfsalat- und Kohlrabi-Feldversuche.

In weiteren Untersuchungen soll der Einfluss einzelner Rezepturkomponenten auf das Wuchsverhalten von Kopfsalat untersucht werden.

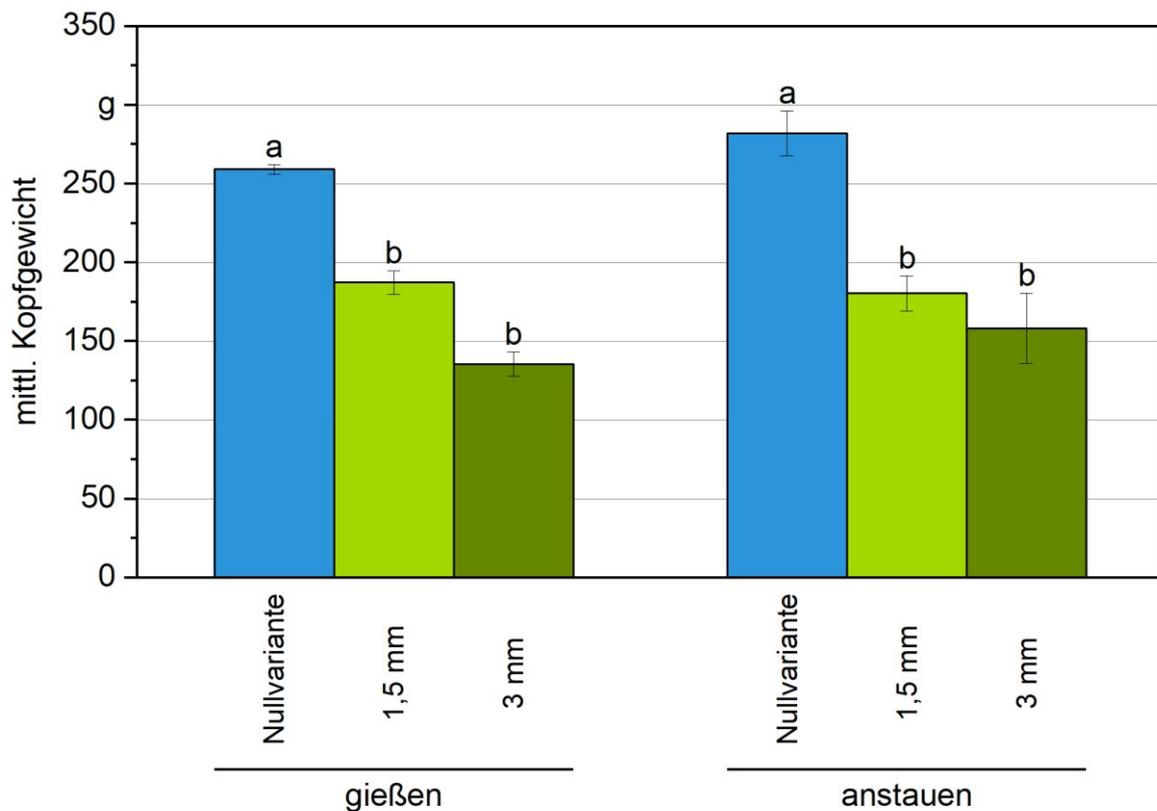


Abbildung 74: Mittelwerte und Standardfehler der mittleren Kopfgewichte der Salatköpfe bei unterschiedlicher Bewässerung, Gewächshausversuch, $n = 9$

Einlegegurke

Der Keimversuch in einer 5 mm dicken Mulchmaterialschicht verlief erfolgreich: Es zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Gurkenpflanzen in der Nullvariante und der Mulchmaterialvariante, siehe hierzu Abbildung 75. Das Ergebnis zeigt, dass das Mulchmaterial auf die Keimung und das Wachstum der Einlegegurke keinen negativen Einfluss hat.

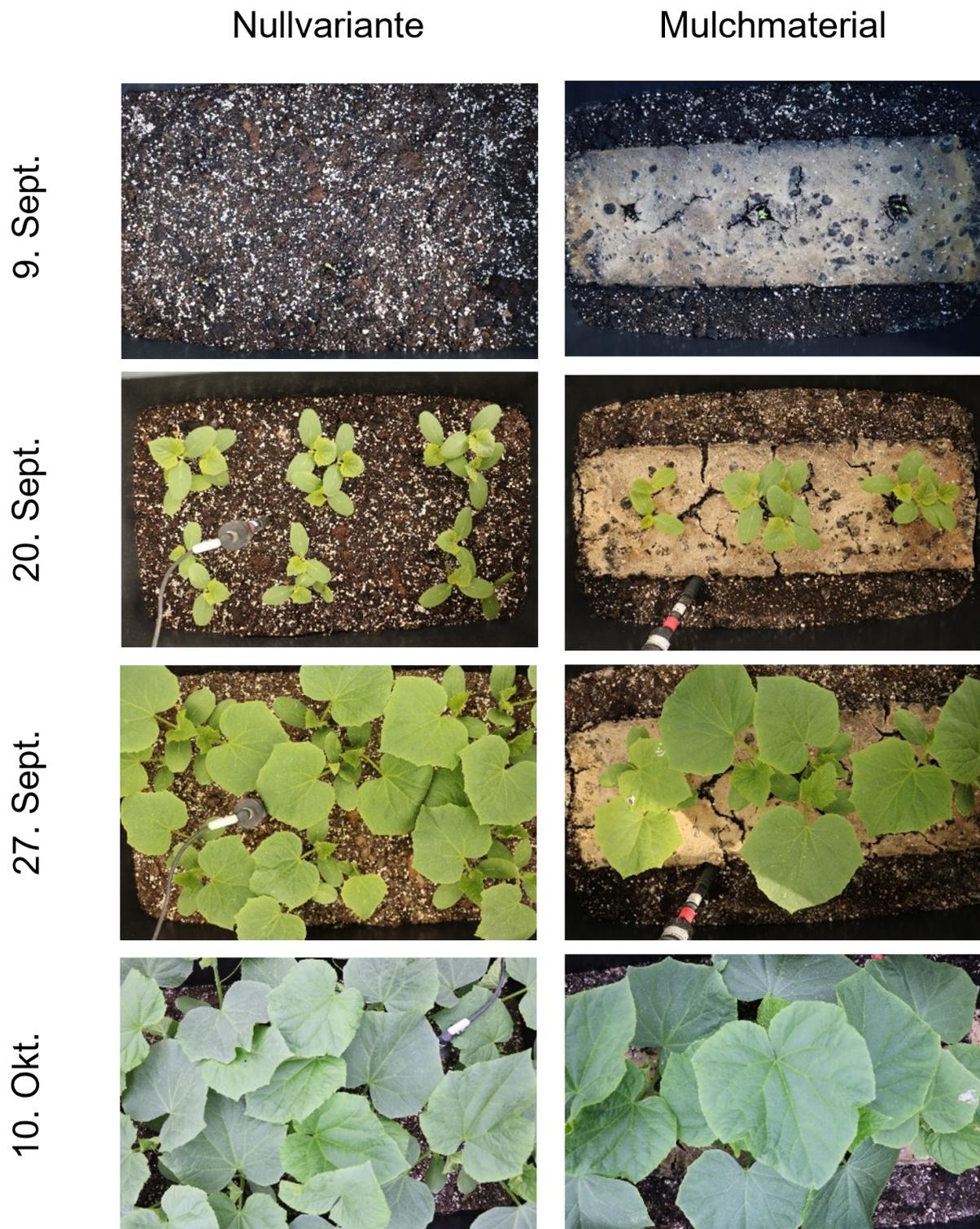


Abbildung 75: Keimung und Wachstum der Gurkenpflanzen, links in der Nullvariante, rechts in einer 5 mm starken Mulchmaterialschicht zu vier Boniturzeitpunkten, Gewächshausversuch

Im weiteren Versuch wurde der Einfluss der Vliesauflage auf das Wachstum untersucht. Hierbei wurden die Pflanzen ohne Vlies und mit Vliesauflage kultiviert. Eine Vliesauflage

war mit Mulchmaterial benetzt, in einer weiteren Variante wurde mit getränktem Vlies abgedeckt und anschließend stark bewässert, um ein Starkregenereignis zu simulieren. Wie in Abbildung 76 zu sehen, hatten die unterschiedlichen Vliesauflagen keinen Einfluss. Ein Unterschied ergab sich lediglich durch die Varianten der Bewässerung. Das Anstauen von unten war hier nachteilig, da die Aussaatkisten mit 30 cm relativ hoch waren und so das Wasser wohl nicht in ausreichender Menge die jungen Pflanzen erreichte. Zwischen den einzelnen Varianten war allerdings kein Unterschied zu erkennen, weder in den über Kopf beregneten Varianten noch in den angestauten Varianten. Somit lässt sich feststellen, dass die schlechte Keimung im Feldversuch im Jahr 2022 mit großer Sicherheit nicht durch das Mulchmaterial bewirkt wurde, sondern wohl andere Ursachen hatte.

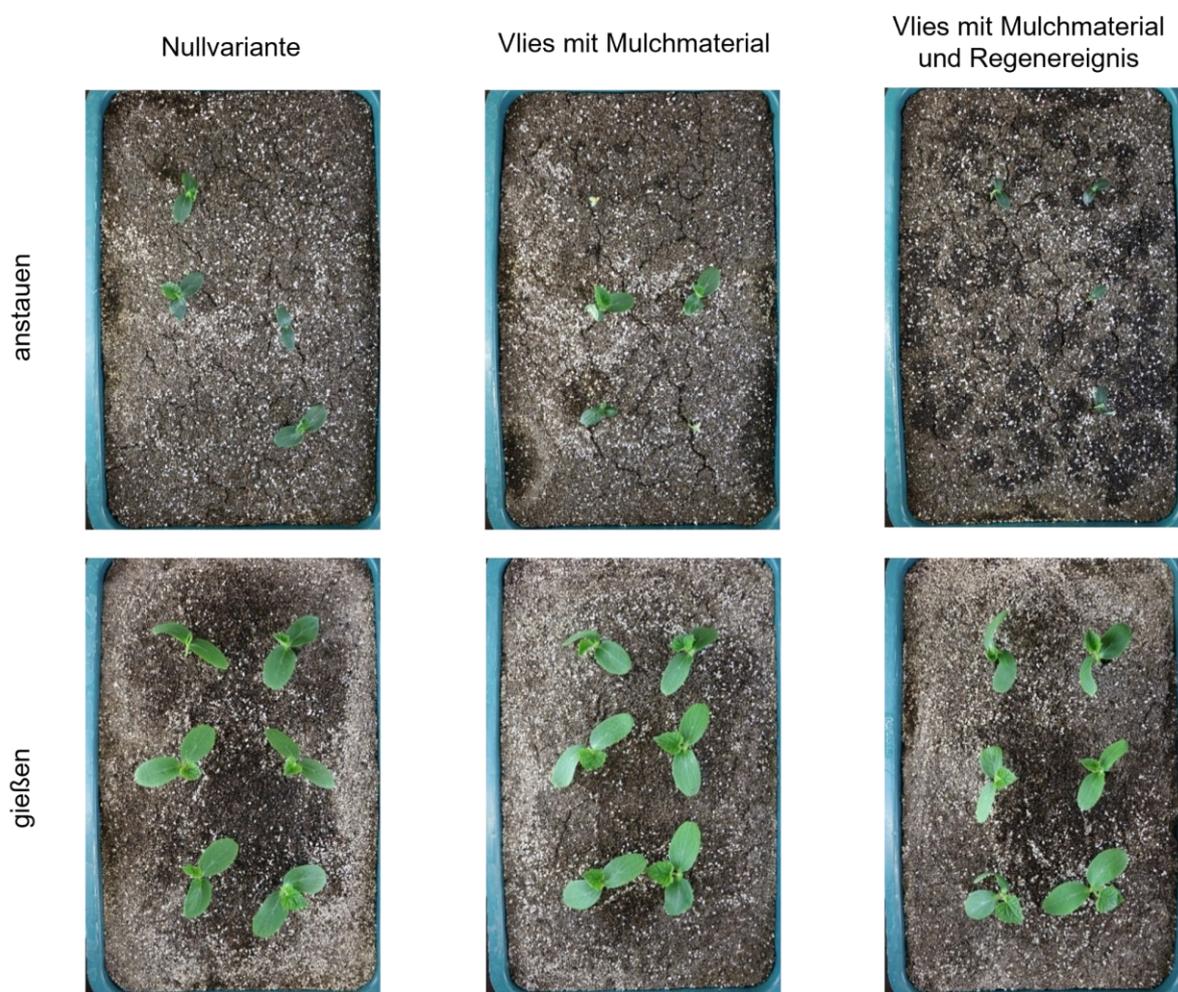


Abbildung 76: Fotobonitur des Gurkenversuchs mit Abdeckvlies mit den Varianten Nullvariante mit unbehandeltem Vlies, mit Mulchmaterial getränktes Vlies und getränktes Vlies mit zusätzlichem Regenereignis

6.6 Umweltwirkungen

6.6.1 Rückstände des Mulchmaterials

Die Ergebnisse zum Verbleib von Rückständen des Mulchmaterials auf und im Boden werden in Unterkapitel 6.4 im Zusammenhang mit den Ergebnissen aus den Feldversuchen erläutert. In der Regel konnten keine Rückstände des Mulchmaterials mehr gefunden werden. Besonders in den Versuchsvarianten mit sehr geringen Schichtdicken von wenigen Millimetern waren so gut wie nie Rückstände sichtbar. Falls Rückstände vorhanden waren, hafteten diese an Erde an. Die Schichtdicken der Materialreste waren allerdings zu gering, um sie exakt vermessen zu können. Diese Rückstände sollten auch im weiteren Fortgang schnell abgebaut werden, da nach der mechanischen Bodenbearbeitung ein intensiverer Kontakt zur Erde und damit zu den Mikroorganismen gegeben ist. Auch bei den Kulturen mit größerer Schichtdicke und längerer Kulturdauer waren in den allermeisten Fällen keine Rückstände mehr zu finden. Dabei sorgte wohl die längere Verweildauer für den Fortschritt beim Abbau des Mulchmaterials. Zusammengefasst waren nur in seltenen Fällen nach der Bodenbearbeitung noch Rückstände des Mulchmaterials nach Ende der Kulturzeit sichtbar.

6.6.2 Biologischer aerober Abbau des Mulchmaterials

Um den Abbau des Materials unter aeroben Bedingungen zu untersuchen, wurden Laborversuche durchgeführt. Der ermittelte Zeitraum für einen aeroben Abbau unter Laborbedingungen wird sich nicht exakt mit der Zeit decken, in der das Material in der Natur abgebaut wird. Die Bedingungen in der Natur sind vielschichtiger und komplexer als sie im Labormaßstab nachgebildet werden können. Die Methode ermöglicht aber Aussagen über eine grundsätzliche Tendenz des Abbaus, die zur Orientierung dienen können. Die Untersuchungsmethode im Labor ist an die Norm DIN EN ISO 17556 (Stand September 2019) [8] angelehnt. Diese beruht auf der Messung der freigewordenen Menge Kohlenstoffdioxid, die aus dem Abbau kohlenstoffhaltiger Kunststoffe im Boden resultiert.

Um den zeitlichen Verlauf der Freisetzung darstellen zu können, wurde die freigewordene Menge CO₂ aufaddiert und über die Anzahl der Tage aufgetragen. Den Abbauvorgang zeigt Abbildung 77. Das Referenzmaterial Stärke ist in kurzer Zeit sehr gut abbaubar [13] und kann so auch während eines kurzen Beobachtungszeitraums als Referenz für eine gute Abbaubarkeit dienen. Diese Annahme bestätigte sich auch beim Versuch. Nach 50 Tagen war bereits gut ein Drittel der Stärke abgebaut. Das Mulchmaterial zeigte ebenfalls eine gute Abbaubarkeit, wenn auch die Rate etwas niedriger als bei der reinen Stärke war. So waren zum selben Zeitpunkt aus dem Mulchmaterial bereits knapp 1000 mg CO₂ entstanden. Damit waren ca. 25 % des Materials abgebaut. Der Abbau des Mulchmaterials hängt stark von den einzelnen Rezepturkomponenten ab. Es liegen gut abbaubare Stärke und Pflanzenöl vor. Die unbehandelten, ligninhaltigen Zellulosefasern bauen sich etwas langsamer ab. Dieser Versuch zeigte, dass sich das Mulchmaterial unter den vorherrschenden Laborbedingungen gut abbaut. In der Praxis liegen meist andere Bedingungen vor, wodurch es zu Abweichungen bei der Abbaurrate kommt. Die Geschwindigkeit

des Abbaus in der Praxis hängt unter anderem von der Witterung ab. Viele Niederschläge begünstigten beispielsweise den Abbau, während trockenes Wetter den Abbau verzögert.

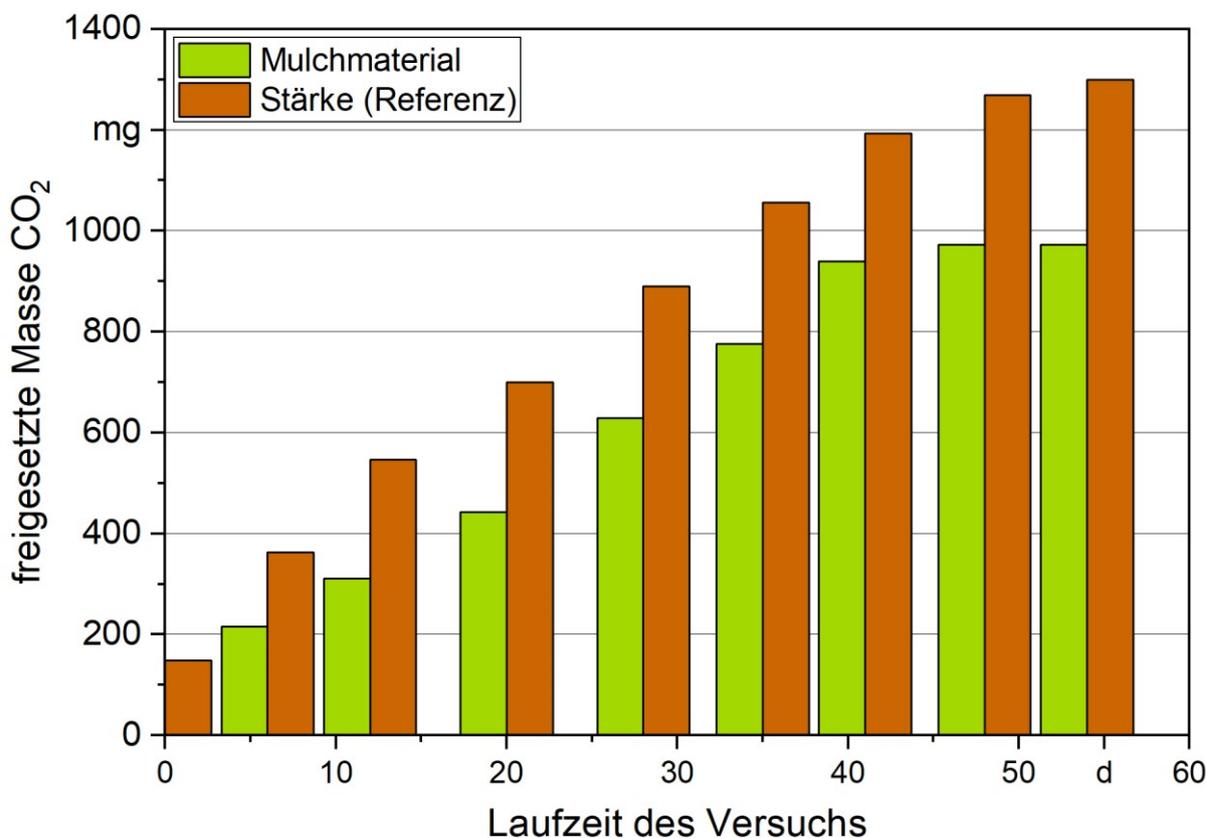


Abbildung 77: Freigesetzte Menge Kohlenstoffdioxid aufsummiert über 50 Tage aus dem Abbau von Mulchmaterial und Stärke (Referenz)

6.6.3 Auswaschung von Pflanzenöl in den Boden

Um etwaige Rückstände des Mulchmaterials im Boden feststellen zu können, wurde die Erde direkt unter der Mulchabdeckung auf Rapsöl analysiert. Rapsöl wurde als Indikator ausgewählt, da die anderen Inhaltsstoffe allesamt gut wasserlöslich sind, durch Niederschläge also ausgewaschen werden können. Das hydrophobe Rapsöl hingegen kann nur sehr schwer ausgewaschen werden, liegt daher gegebenenfalls länger im Boden vor und wird idealerweise von Mikroorganismen abgebaut.

Die gewonnenen Rückstände der Soxhlet-Extraktion wurden mittels Gaschromatografie (GC) auf Rapsöl untersucht. Hierfür wurde der Peak der methylierten Ölsäure ($R_T = 12,5$ min, $m/z = 264,2$) ausgewählt. Ölsäure ist die größte Fraktion der Fettsäuren in Rapsöl. Zur Verifizierung der Methode und zur Feststellung des Detektionslimits wurden Bodenproben mit definierten Mengen Rapsöl versetzt, extrahiert und ebenfalls gaschromatografisch vermessen. Die Nachweisgrenze dieser Methode lag bei 5 mg pro 150 g Boden, das entsprach 33 mg Rapsöl pro kg Boden). In Abbildung 78 ist der Peak bei der gaschromatografischen Messung der methylierten Ölsäure bei 12,5 min zu erkennen.

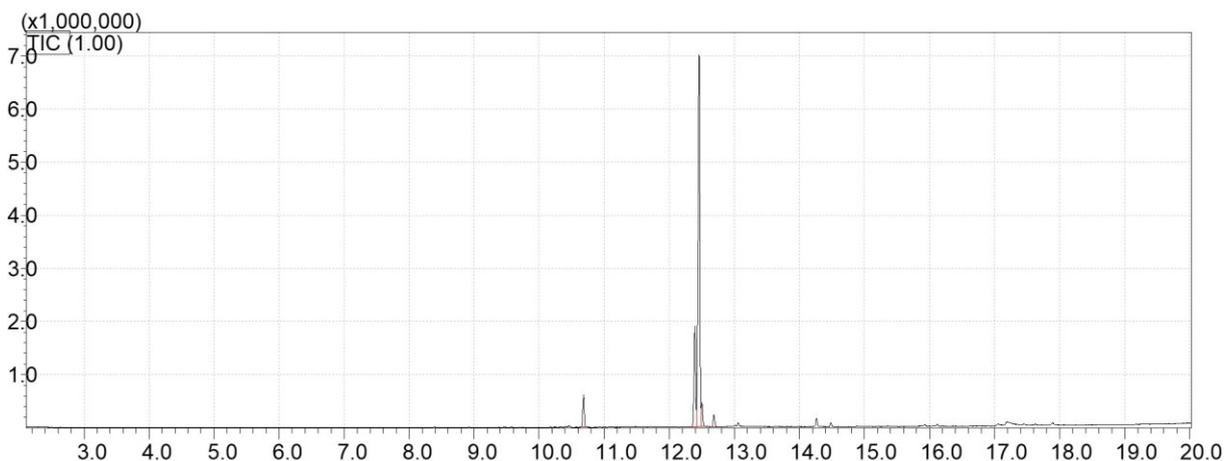


Abbildung 78: GC-Messung einer Probe mit zugesetzten 5 mg Rapsöl – Peak der methylierten Ölsäure bei 12,5 min

Mit derselben Methode wurden auch die Rückstände der Extraktion von Bodenmaterial aus dem Bereich unter dem Mulchmaterial und von Boden des Referenzstreifens ohne Mulchmaterial untersucht. Bei beiden Varianten konnte allerdings kein Peak bei der entsprechenden Retentionszeit detektiert werden, siehe Abbildung 79 und Abbildung 80. Dadurch lässt sich feststellen, dass sich drei Monate nach der Applikation des Mulchmaterials weniger als 33 mg Rapsöl pro Kilogramm Erde (Nachweisgrenze der Methode) im Boden befanden.

Die Bodenproben für die Extraktion wurde von einer Fläche von ca. 10 cm × 10 cm entnommen, was 0,01 m² entspricht. Bei einer Aufwandmenge von 5 l/m² Mulchmaterial sind 15 g Rapsöl auf diese Fläche ausgebracht worden. Das Detektionslimit von 33 mg/kg entsprach daher 0,22 % der ausgebrachten Menge Pflanzenöl.

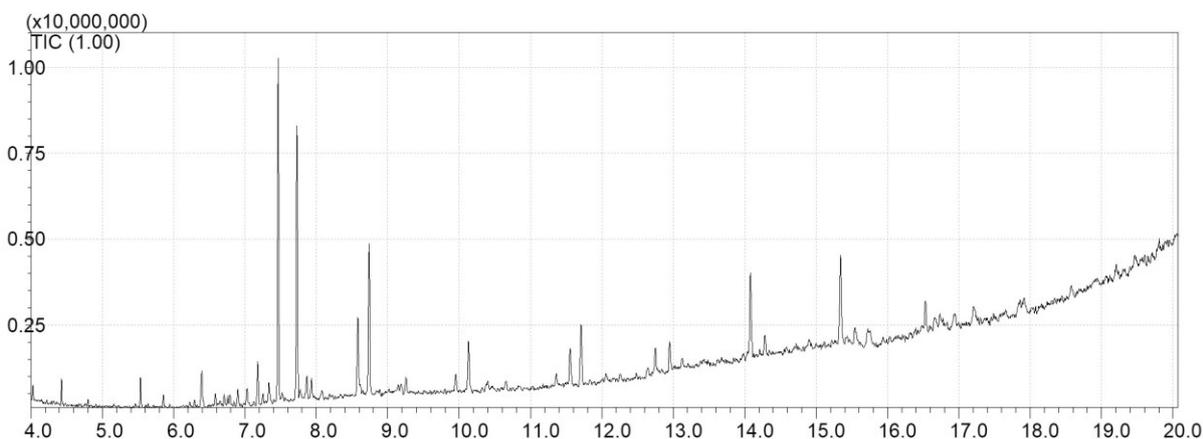


Abbildung 79: GC-Messung einer Bodenprobe, entnommen unter einer mit Mulchmaterial abgedeckten Fläche

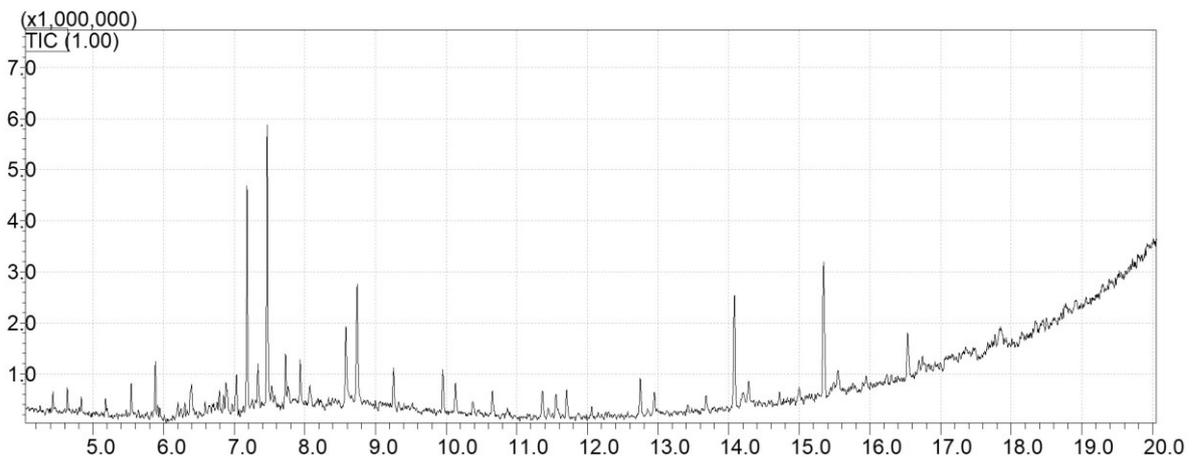


Abbildung 80: GC-Messung einer Bodenprobe, entnommen unter einer nicht mit Mulchmaterial abgedeckten Fläche

6.6.4 Einfluss auf Wildtiere

Mithilfe der Wildtierkameras wurden bei den Feldversuchen unterschiedliche Tierarten dokumentiert: unter anderem Rehe, Hasen, Füchse, Gänse, Krähen, Feldlerchen und Kiebitze, siehe auch Abbildung 81. Jedoch wird kein besonderes Interesse der Tiere am Material verzeichnet. In einem Fall wurde beobachtet, dass ein Fuchs an einer Stelle, an der eine größere Menge Mulchmaterial ausgetreten ist, siehe Abschnitt 5.5.3 Versuch Kohlrabi, Unterfranken, Satz 2, das Mulchmaterial gefressen hat. Es wurde nicht beobachtet, dass er dadurch Schaden genommen hat. Abschließend lässt sich zum derzeitigen Wissensstand sagen, dass das Mulchmaterial wohl keinen Einfluss auf Vögel und größere Wirbeltiere hat. Diese fühlen sich weder besonders zu dem Material hingezogen, noch werden sie davon abgeschreckt. In weiteren Studien sollte dieser Aspekt allerdings fortwährend beobachtet werden, um die Datenlage abzusichern.

Die Bonitur auf Gastropoden verblieb ohne Ergebnis, da weder in den Kontrollvarianten noch in den Mulchmaterialvarianten Schnecken zu finden waren.

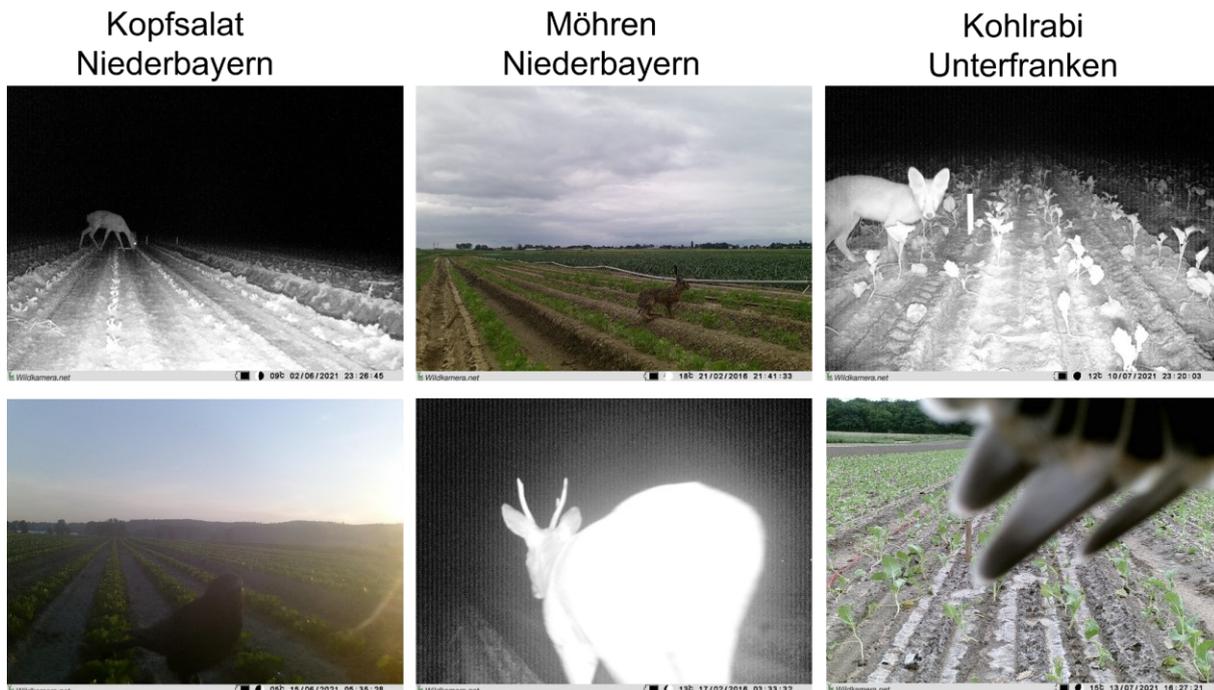


Abbildung 81: Typische Aufnahmen von Vögeln und größeren Wirbeltieren mit Wildtierkameras in unterschiedlichen Feldversuchen im Jahr 2021

6.6.5 Bodenleben

Der Einfluss des Mulchmaterials auf das Bodenleben wird mithilfe des Tea-Bag-Index abgeschätzt. Abbildung 82 zeigt die Zersetzungsrate k und die Stabilisierungsrate S für alle Versuche, bei denen diese Methode zum Einsatz kam. Es ist festzustellen, dass die für k und S bestimmten Werte unter den jeweiligen gleichen Bedingungen bereits hohe Standardabweichungen aufweisen. Für diese hohe Variabilität ist keine einzelne Ursache festzustellen. Da die Bodenaktivität durch Bodentemperatur und -feuchte beeinflusst wird, kann hier beispielsweise bereits die Art des verwendeten Bewässerungssystems (Tropfschlauch oder Überkopfbewässerung) Einfluss nehmen. Aufgrund des Einsatzes der Methode bei unterschiedlichen Kulturen musste zudem die Inkubationszeit der Teebeutel der Kulturdauer angepasst werden. Während nach KEUSKAMP et al. [27] 90 Tage Inkubationszeit für die meisten Bodenräume empfohlen werden, waren beim Kopfsalat lediglich 35 bis 36 Tage Inkubationszeit möglich, beim Versuch Gurke hingegen lag die Inkubationszeit im Jahr 2021 bei 148 Tagen.

Um den zum Teil unterschiedlichen Gegebenheiten Rechnung zu tragen, wurden die Daten mittels einer einfaktoriellen ANOVA ausgewertet. Der Faktor ist die Behandlungsvariante (Nullvariante, Kontrolle und MuNaRo). Für alle untersuchten Kombinationen aus Kultur, Standort und Inkubationszeit ergeben die durchgeführten Varianzanalysen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Behandlungsstufen.

Die erhobenen Daten sind aufgrund der hohen Standardabweichungen schwierig zu interpretieren. Dennoch weisen die durchgeführten Analysen übereinstimmend darauf hin,

dass die Behandlungsvariante keinen signifikanten Einfluss auf die Faktoren k und S hat und somit nicht davon auszugehen ist, dass das MuNaRo Material die Bodenaktivität erheblich beeinflusst.

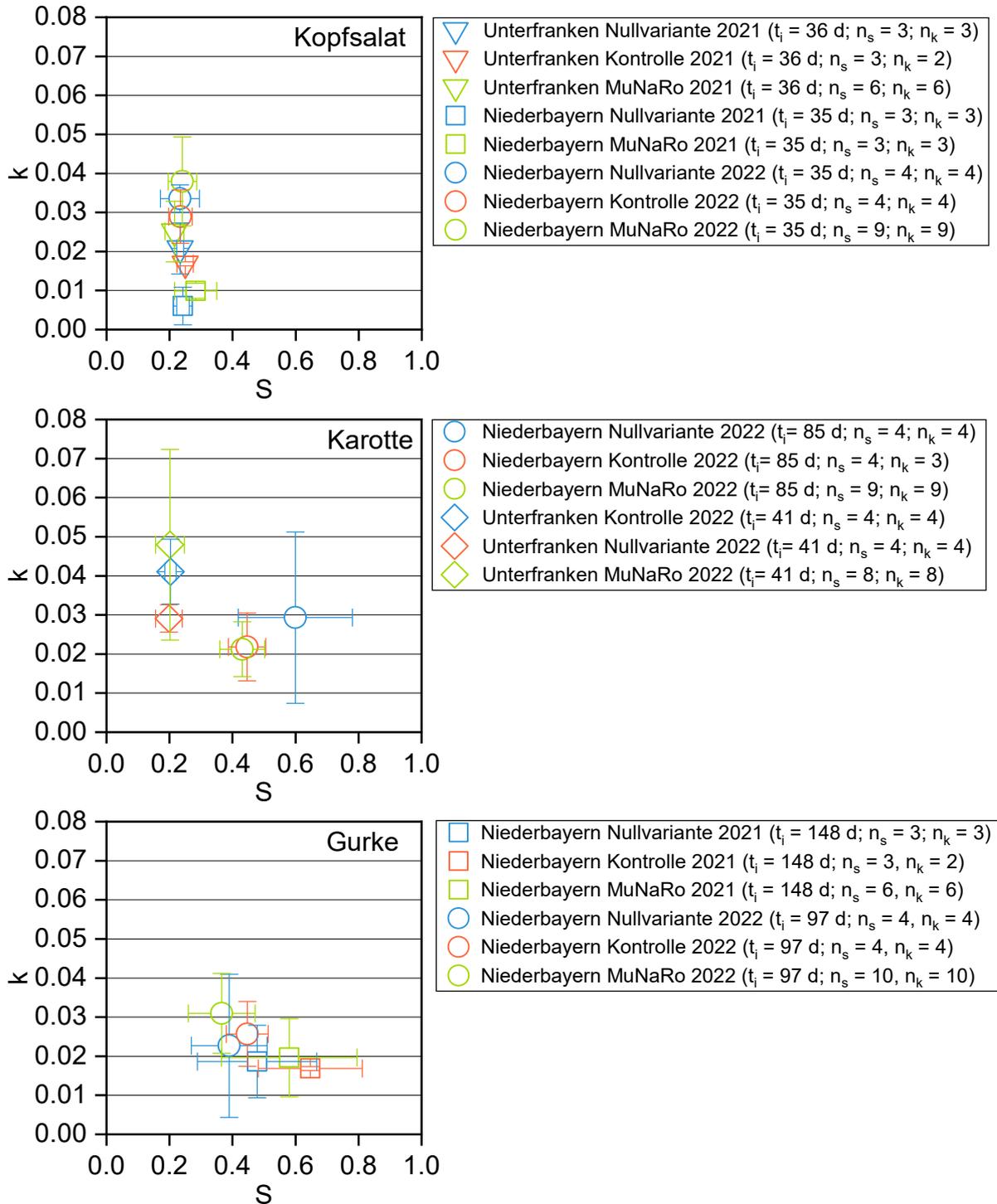


Abbildung 82: Mittelwerte und Standardabweichungen der Zersetzungsrate k und des Stabilisierungsindex S des Tea-Bag-Index zur Abschätzung des Einflusses des Mulchmaterials auf das Bodenleben für alle Feldversuche (t_i : Inkubationszeit der Teebeutel)

6.7 Ökonomische Einordnung

Die ökonomische Einordnung des MuNaRo-Verfahrens erfolgt beispielhaft für die Kulturen Kopfsalat, Karotte und Einlegegurke. Dabei werden die Kosten des MuNaRo-Verfahrens mit je zwei Varianten einer herkömmlichen Kulturführung (Herbizidbehandlung, mechanische und thermische Beikrautregulierung) verglichen. Die Verfahrensvarianten sowie die getroffenen Annahmen sind in Unterkapitel 5.8 genauer beschrieben. Tabelle 21 zeigt für die Kulturarten Kopfsalat, Karotte und Einlegegurke die Mehrkosten je Hektar Kulturfläche für das MuNaRo-Verfahren im Vergleich zu je zwei herkömmlichen Verfahrensvarianten.

Tabelle 21: Mehrkosten des MuNaRo-Verfahrens im Vergleich zu je zwei herkömmlichen Verfahrensvarianten für Kopfsalat (Ko), Karotte (Ka) und Einlegegurke (Gu)

Variante	Ko2	Ko3	Ka2	Ka3	Gu2	Gu3	Einheit
Kulturart	Kopfsalat		Karotte		Einlegegurke		
Verfahrenskurzbeschreibung	Abbaubare Mulchfolie, Hacken	Herbizid	Hacken, Jäten, Abflammen	Herbizid	Abbaubare Folie, Herbizid	PE-Folie, Herbizid	
Mehrkoste MuNaRo-Verfahren (Ko1, Ka1, Gu1)	3.310	3.691	3.943	8.801	6.810	6.446	€/ha

Die Kosten für das MuNaRo-Verfahren sind bei allen Kulturen immer deutlich höher als für die Vergleichsvarianten. Die Differenzkosten liegen für Kopfsalat bei 3.310 (Ko2) und 3.691 (Ko3) €/ha, für Karotte bei 3.943 (Ka2) und 8.801 (Ka3) €/ha und für Einlegegurke bei 6.446 (Gu3) und 6.810 (Gu2) €/ha. Das bedeutet beispielsweise für den Kopfsalatanbau, dass sich die Produktionskosten eines Salatkopfs bei Anwendung des MuNaRo-Verfahrens im Vergleich zur Beikrautbekämpfung mit einem Herbizid um ca. vier Cent erhöhen würden (Annahme: Ernte von 90.000 Salatköpfen je Hektar).

Am kostengünstigsten schneiden die Herbizidvarianten ab. Die Kosten für das Herbizid sowie dessen Ausbringung sind erwartungsgemäß geringer als die Kosten für eine mechanische Beikrautregulierung und das MuNaRo-Verfahren. In Karotte sind die größten Unterschiede zwischen der Herbizidvariante und der Variante mit ausschließlich mechanischer und thermischer Beikrautregulierung erkennbar. Die geringeren Kostenunterschiede zwischen Ka2 und dem MuNaRo-Verfahren (Ka1) als zwischen Ka3 und Ka1 ergeben sich vor allem aus dem hohen Arbeitsaufwand für mehrmaliges Jäten mit einem Beetflieger bei Ka2. Die geringsten Mehrkosten des MuNaRo-Verfahrens wurden in Kopf-

salat ermittelt. Dies liegt vor allem daran, dass bei der kurzen Kulturdauer von Kopfsalat bereits eine dünne MuNaRo-Schicht von ca. 1 mm ausreicht, was vergleichsweise wenig MuNaRo-Material erfordert. Die reinen Materialkosten im MuNaRo-Verfahren betragen bei Kopfsalat 4.000 €/ha, bei Karotte 4.800 €/ha und bei Einlegegurke 7.200 €/ha.

Abbildung 83 zeigt die Kosten für die Applikation des MuNaRo-Materials in Kopfsalat in Abhängigkeit der relativen Änderung der Material-, Arbeitskraft- und Maschinenkosten von den Modellfallannahmen.

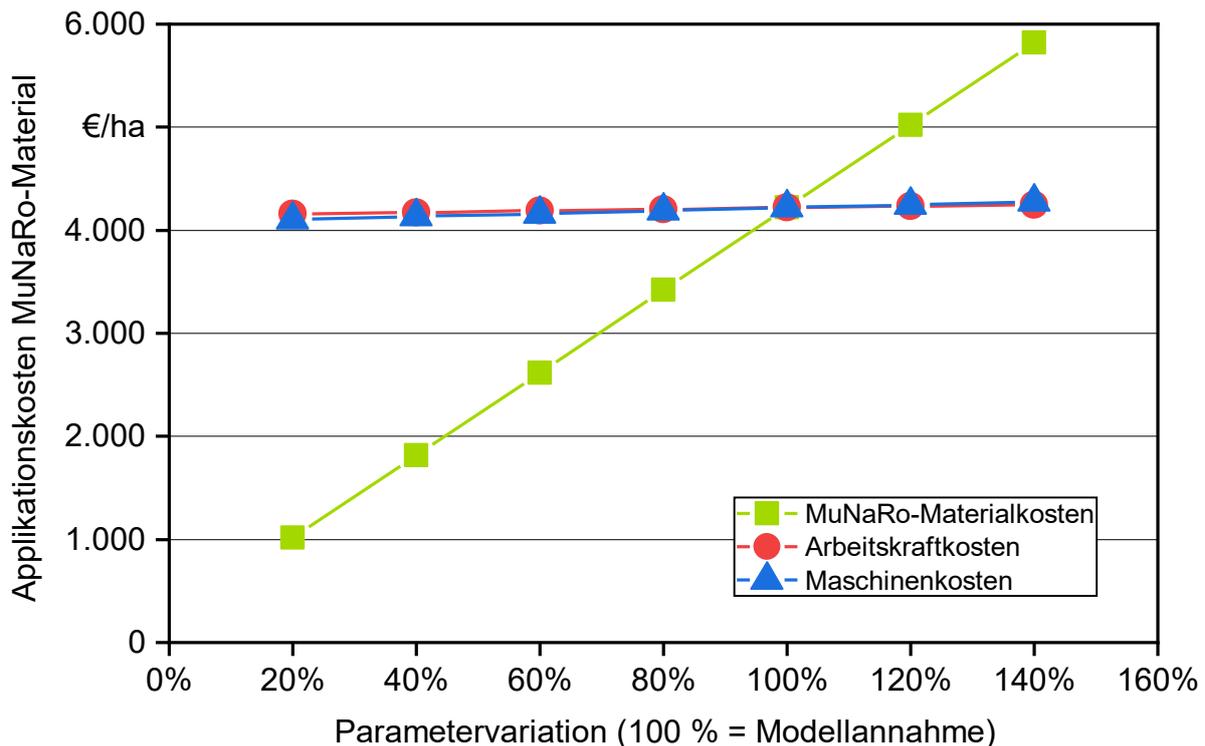


Abbildung 83: Sensitivität der Kosten für das Ausbringen des MuNaRo-Materials in Kopfsalat in Abhängigkeit der relativen Änderung der Material-, Arbeitskraft- und Maschinenkosten gegenüber den Modellfallannahmen

Abbildung 83 verdeutlicht, dass die weitaus größte Kostensensitivität das MuNaRo-Material aufweist. Geringere Maschinen- und Arbeitskraftkosten fallen demgegenüber kaum ins Gewicht. Für eine bessere Konkurrenzfähigkeit des MuNaRo-Verfahrens mit etablierten Verfahren der Beikrautregulierung, seien es Herbizidanwendungen oder auch mechanische und thermische Behandlungen, sind deshalb prioritär die Materialkosten je Hektar zu senken.

Dies kann beispielsweise durch günstigere Einkaufspreise der MuNaRo-Bestandteile oder eine geringere Ausbringmenge infolge dünnerer Materialschichten und kleinerer bedeckter Bodenflächen (schmalere Streifen) erreicht werden. Auch eine Rezepturanpassung, bei der teure Bestandteile reduziert bzw. ersetzt werden, ist möglich. Schließlich kann auch die Verwendung kostengünstiger Füllstoffe oder das Aufschäumen des Materials eine

deutliche Kostenreduktion bewirken. Da Rapsöl und Natriumalginat zusammen mehr als die Hälfte der gesamten Materialkosten ausmachen, sind diese besonders zu beachten. Könnten die Mulchmaterialkosten auf etwa 20 % der derzeit kalkulierten 0,60 €/l, also auf 0,12 €/l gesenkt werden, dann würden die reinen Materialkosten im MuNaRo-Verfahren bei Kopfsalat um 3.200 €/ha, bei Karotte um 3.840 €/ha und bei Einlegegurke um 5.760 €/ha geringer sein. Damit wäre das MuNaRo-Verfahren gegenüber den herbizidlosen Varianten Ko2 in Kopfsalat nur noch um 110 €/ha und Ka2 in Karotte nur noch um 103 €/ha teurer und somit nahezu konkurrenzfähig.

Da in diesem Vorhaben primär die grundlegende Funktionalität des MuNaRo-Verfahrens untersucht wurde, kann noch nicht abgeschätzt werden, wie groß das Potenzial zur Kostenreduktion ist. Dies bedarf gezielter Rezepturoptimierungen und Applikationsversuche mit dem Ziel der Minimierung des aufzubringenden MuNaRo-Materials. Die Reduzierung der Verfahrenskosten ist eine wichtige Voraussetzung zur Etablierung des MuNaRo-Verfahrens in der Praxis.

6.8 Energie- und Treibhausgasbilanz

Mit der Energie- und Treibhausgasbilanz sollen einerseits erste Erkenntnisse zum Umweltprofil des Mulchmaterials aufgezeigt werden. Zur Einordnung dieses Umweltprofils wird die Anwendung mit herkömmlichen Varianten der Beikrautregulierung verglichen.

Umweltprofil des Mulchmaterials MuNaRo

Die Analyse des Umweltprofils des Mulchmaterials MuNaRo belegt THG-Emissionen in Höhe von 0,673 kg CO₂-Äq/kg sowie einen nicht erneuerbaren Energieaufwand von 6,55 MJ/kg. Die in Abbildung 84 dargestellte prozentuale Verteilung der THG-Emissionen sowie des nicht erneuerbaren Energieaufwands verdeutlicht den großen Einfluss von Rapsöl, Stärke und Glycerin am Umweltprofil des Materials. Während Rapsöl einen Anteil von ca. 55 % an den THG-Emissionen hat, liegt der Anteil am nicht erneuerbaren Energieaufwand bei 31 %. Rapsöl hat allerdings mit 30 %, neben Wasser (44,56 %) auch den höchsten Massenanteil am Material, gefolgt von Stärke mit 12,25 % (Abbildung 85).

THG-Emissionen: 0,673 g CO₂-Äq. kg⁻¹

nicht-erneuerbarer Energieaufwand: 6,55 MJ kg⁻¹

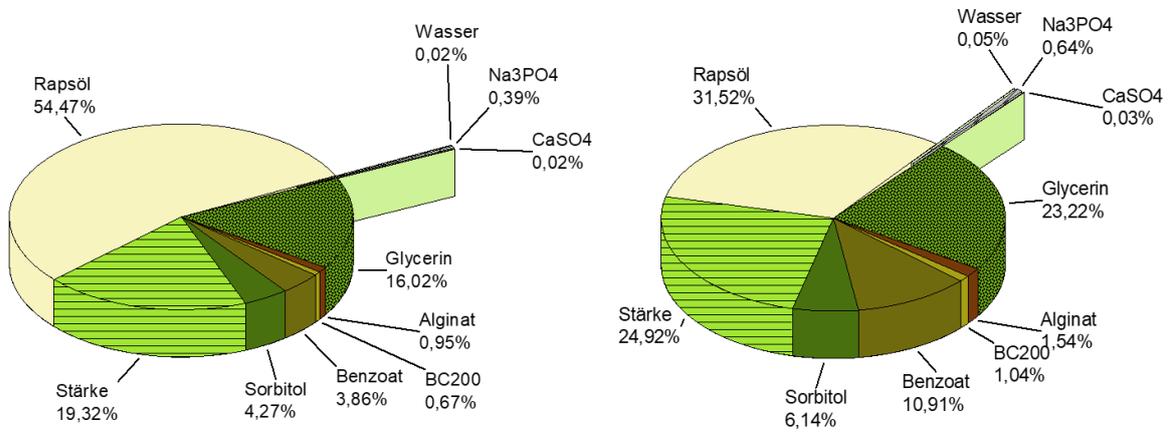


Abbildung 84: Prozentuale Verteilung der THG-Emissionen (links) und des kumulierten nicht erneuerbaren Energieaufwands (rechts) des Mulchmaterials

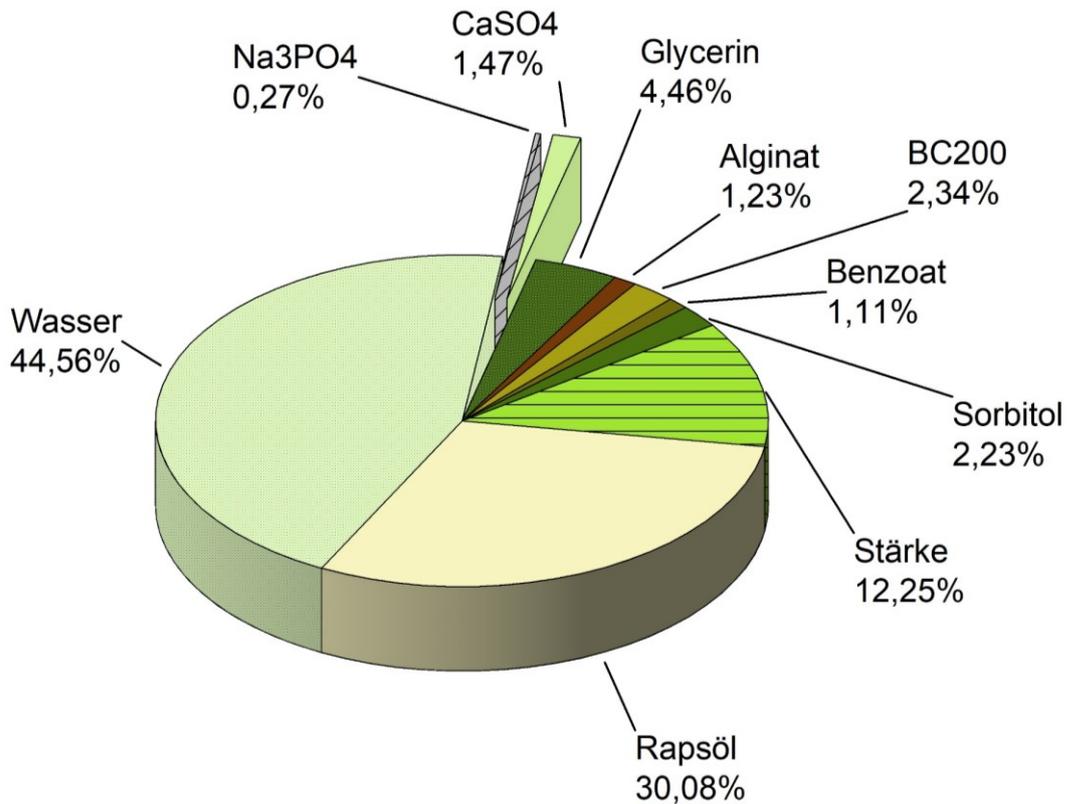


Abbildung 85: Massenzusammensetzung des Mulchmaterials MuNaRo

Die Bereitstellung von Wasser hat trotz des hohen Massenanteils keinen Einfluss auf die THG- und Energiebilanz des Materials. Glycerin dagegen hat zwar mit 4,46 % einen geringen Massenanteil, allerdings mit 16 % und 22 % einen bedeutenden Anteil an der THG-

und Energiebilanz. Dies ist auch die Rezepturkomponente mit dem größten THG-Rucksack (2,41 kg CO₂-Äq./kg) und nicht erneuerbarem Energieaufwand, gefolgt von Rapsöl (1,22 kg CO₂-Äq./kg).

Eine Einordnung des Materials zur Beikrautregulierung kann allerdings nur unter Berücksichtigung der Anwendung (MuNaRo-Verfahren) im Vergleich mit anderen Varianten der Beikrautregulierung erfolgen.

Variantenvergleich

Die Anwendung des Mulchmaterials MuNaRo wird beispielhaft für die Kulturen Kopfsalat, Karotte und Einlegegurke bewertet. Dabei werden die THG-Emissionen sowie der nicht erneuerbare Energieaufwand des MuNaRo-Verfahrens mit konventionellen Varianten einer herkömmlichen Kulturführung (Herbizidbehandlung, mechanische und thermische Beikrautregulierung) verglichen. Die Verfahrensvarianten sowie die getroffenen Annahmen sind in den Unterkapiteln 5.8 und 5.9 beschrieben. Im Vergleich zur ökonomischen Einordnung konnte die Variante mit abbaubarer Mulchfolie nicht berücksichtigt werden. Für eine Analyse dieser Variante stehen keine Informationen zum THG-Rucksack sowie zum nicht erneuerbaren Energieaufwand der abbaubaren Mulchfolie zur Verfügung.

In Abbildung 86 ist die Differenz der THG-Emissionen sowie des nicht erneuerbaren Energieaufwands zwischen dem MuNaRo-Verfahren und den herkömmlichen Varianten der Beikrautregulierung dargestellt. Das MuNaRo-Verfahren stellt die Baseline dar. Es wird deutlich, dass das MuNaRo-Verfahren sowohl höhere THG-Emissionen als auch einen höheren nicht erneuerbaren Energieaufwand im Vergleich zu den herkömmlichen Verfahren aufzeigt. Ursache der deutlich höheren Emissionen und des höheren Energieaufwands ist der Materialeinsatz beim MuNaRo-Verfahren, der bei den drei betrachteten Kulturen mit knapp 90 % die dominierende Größe einnimmt. Dies zeigt sich auch daran, dass beim Anbau von Einlegegurken die Mehremissionen des MuNaRo-Verfahrens mit 7.395 kg CO₂-Äq./ha am höchsten sind. Für den Anbau von Einlegegurken wurde eine Schichtdicke des Materials von 3 mm berücksichtigt, wohingegen die Schichtdicke beim Anbau von Kopfsalat und Karotten nur 2 mm beträgt.

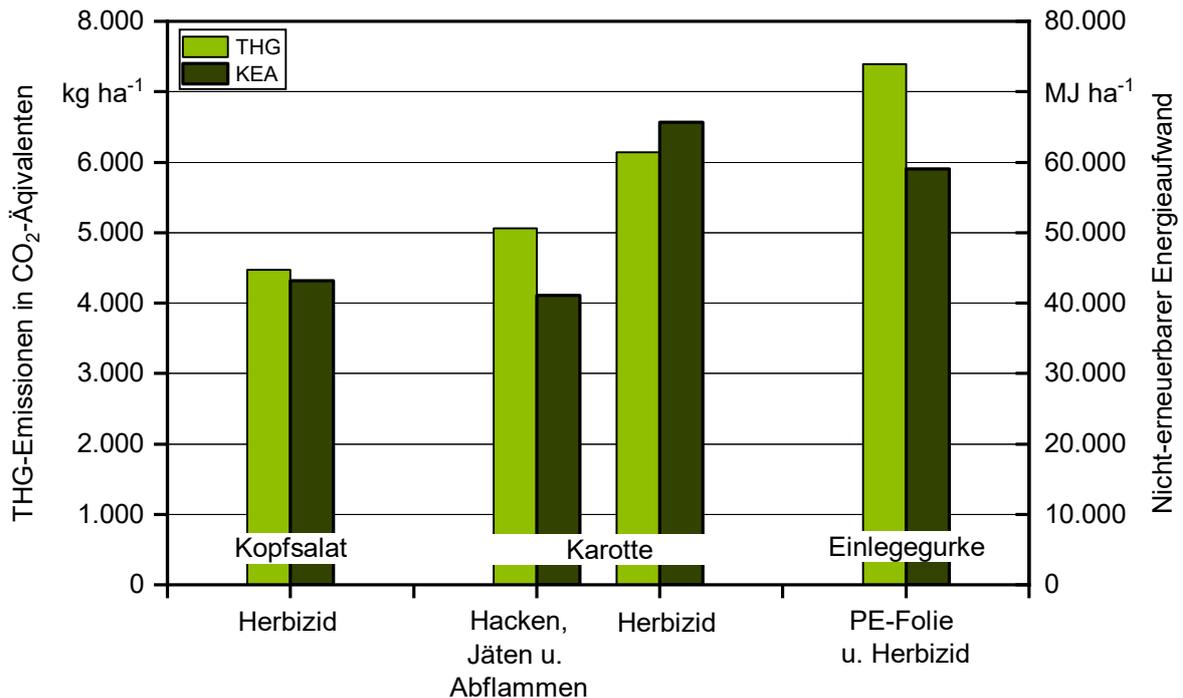


Abbildung 86: Differenz der THG-Emissionen und des nicht erneuerbaren Energieaufwands zwischen dem MuNaRo-Verfahren und den herkömmlichen Anbauvarianten von Kopfsalat, Karotte und Einlegegurke

Der Materialeinsatz für den Anbau von Kopfsalat beträgt 6.660 l/ha, für den Anbau von Karotten 8.000 l/ha und für den Anbau von Einlegegurken sogar 12.000 l/ha. Der Mehraufwand an nicht erneuerbaren Energien zeigt ein differenzierteres Bild. Zwar ist auch hier der Materialeinsatz beim MuNaRo-Verfahren die entscheidende Größe, allerdings wird der Energieaufwand der herkömmlichen Varianten durch die erforderlichen Prozessenergien und -einsatzstoffe stärker beeinflusst, als es bei den THG-Emissionen der Fall ist. Dies wird vor allem bei der Variante Hacken, Jäten und Abflammen beim Anbau von Karotten sowie bei der Variante PE-Folie und Herbizideinsatz beim Anbau von Einlegegurken deutlich. Der nicht erneuerbare Energieaufwand für die Bereitstellung des Flüssiggases einerseits und der PE-Mulchfolie andererseits hat bei diesen Varianten einen deutlich größeren Einfluss auf die Ergebnisse als die Bereitstellung und Ausbringung von Herbiziden.

Für die Interpretation der Ergebnisse gilt es zu berücksichtigen, dass Analyse und Bewertung des MuNaRo-Verfahrens auf Annahmen aus den Feldversuchen sowie auf der ökologischen Analyse der Materialzusammensetzung gründen. Insbesondere in der Aufwandmenge des Mulchmaterials wird ein großes Potenzial gesehen, nicht nur wie oben beschrieben die Kosten des Verfahrens, sondern auch die THG-Emissionen und den nicht erneuerbaren Energieaufwand deutlich zu reduzieren.

Gleichzeitig sollte überprüft werden, ob die Auswahl der Indikatoren THG-Emissionen und nicht erneuerbarer Energieaufwand für die Bewertung und Einschätzung des Umweltprofils des Mulchmaterials MuNaRo im Vergleich zu anderen Verfahren der Unkrautregulie-

rung ausreichend sind. Insbesondere im Kontext der Farm-to-Fork-Strategie, die eine Reduzierung des Einsatzes gefährlicher Pestizide um 50 % bis 2030 vorsieht, um die Biodiversität der Flächen in Europa wieder zu erhöhen, sollten weitere Indikatoren untersucht werden. Ein möglicher Indikator wäre die Bewertung der Ökotoxizität.

6.9 Rechtliche Einordnung

Die Inhaltsstoffe des Mulchmaterials basieren größtenteils auf nachwachsenden Rohstoffen. Alle Stoffe sind nach der REACH-Verordnung als unbedenklich für den Menschen und die Umwelt eingestuft.

Auf Anfrage teilt das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit mit, „dass das [...] entwickelte Mulchmaterial nicht als Pflanzenschutzmittel in den Geltungsbereich der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 fällt. Das Mulchmaterial arbeitet im Wesentlichen physikalisch/mechanisch, was bei anderen Verfahren (Hitze, mechanische Beikrautunterdrückung) ebenfalls der Fall ist.“¹

Somit steht der Weg offen, dass das Mulchmaterial auch im ökologischen Landbau zur Beikrautunterdrückung eingesetzt werden könnte.

¹ Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, GZ 200.25000.0.390514, Schreiben vom 10. Mai 2022.

7 Zusammenfassung

In vielen Kulturen des Gemüsebaus wird in der Regel ein Beikrautmanagement betrieben. Dies ist unter anderem erforderlich, weil Kulturpflanzen mit den Beikräutern sowohl um Nährstoffe als auch um Wasser konkurrieren oder die Beikräuter die Wachstumsbedingungen der Kulturpflanzen auf andere Art und Weise einschränken. Im konventionellen Gemüsebau werden üblicherweise Herbizide zur Beikrautbekämpfung eingesetzt. Es werden aber auch mechanische Verfahren zur Beikrautregulierung angewendet, wie zum Beispiel Hacken, Striegeln und Bürsten, oder die Beikräuter werden mit Mulchfolien am Wachstum (physikalische Beikrautunterdrückung) gehindert. Seitens der Gesellschaft, aber auch des Lebensmitteleinzelhandels und aufgrund europäischer Regelungen, wie der „Vom Hof auf den Tisch“-Strategie der Europäischen Kommission, nimmt die Notwendigkeit zu, den Herbizideinsatz zu reduzieren. Zudem verlieren immer mehr Herbizide ihre Zulassung und dürfen deshalb nicht mehr in bestimmten Kulturen eingesetzt werden. Die physikalische ist ebenso wie die mechanische Beikrautbekämpfung zeit- und kostenintensiv. Mulchfolien bestehen zudem in der Regel aus fossilen Rohstoffen und hinterlassen große Mengen Plastikmüll, der aufgrund seiner starken Verschmutzung häufig einem Recycling nicht zugeführt werden kann. Sie sind zudem sehr windanfällig und müssen daher beschwert oder eingegraben werden. Verfahrensbedingt besteht die Gefahr, dass Folienreste in der Umwelt zurückbleiben. Die auf Basis von Mineralöl hergestellten Mulchfolien durch solche auf der Grundlage biogener Rohstoffe, die gegebenenfalls auch biologisch abbaubar sind, zu ersetzen, ist daher eine nur zum Teil zufriedenstellende Lösung.

Um eine neue, umweltfreundliche Methode zum Beikrautmanagement aufzuzeigen, wurde ein spritzbares, biologisch abbaubares Mulchmaterial auf Basis nachwachsender Rohstoffe entwickelt und bereits in Dauerkulturen im Wein- und Obstbau getestet.

Ziel dieses Vorhabens ist es, die Eignung des neuartigen Mulchverfahrens für den Einsatz im Gemüsebau zu untersuchen. Im Fokus steht die Beikraut unterdrückende Wirkung, begleitend sollen auch spezifische Umweltwirkungen untersucht werden. Zudem soll ein für die Praxis taugliches Applikationsgerät konzipiert und für die Feldversuche im zweiten Jahr eingesetzt werden.

Das spritzbare Mulchmaterial wurde im Projekt ABOW („Alternatives Beikrautmanagement im Obst- und Weinbau“, gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, G2/N/18/09) entwickelt. Das Zwei-Komponenten-Gemisch setzt sich wie folgt zusammen: Die Ölkomponente A enthält als Basis Rapsöl mit 30,8 Masse-%, Natriumalginat als Geliermittel mit 1,3 Masse-%, Calciumsulfat als Gelierhilfsstoff mit 1,5 Masse-% sowie Zellulosefasern als Füllstoff mit 2,4 Masse-%. Die wässrige Komponente B besteht aus dem Bindemittel Stärke mit 12,5 Masse-%, dem Lösungsmittel Wasser mit 45,6 Masse-%, dem Weichmacher Glycerin mit 4,6 Masse-%, dem Gelierhilfsmittel Natriumphosphat mit 0,3 Masse-% und dem Feuchthaltemittel Sorbitol mit 2,3 Masse-%. Die Inhaltsstoffe des Mulchmaterials basieren größtenteils auf nachwachsenden Rohstoffen. Alle Stoffe sind nach der REACH-Verordnung als unbedenklich für den Menschen und die Umwelt eingestuft. Die zwei Flüssigphasen A und B werden kurz vor oder beim Ausbringen innig miteinander vermengt und mit einem Spritzgerät flüssig

ausgebracht. Das Mulchmaterial geliert schnell auf der Erdoberfläche, härtet nach einer vorbestimmbaren Zeitspanne aus und ist damit nicht windanfällig. Durch die physikalische Barriere sollen Beikräuter in ihrer Keimung gehemmt und bereits gekeimte Pflanzen im Wachstum gehindert werden. Das Mulchmaterial baut sich im weiteren Verlauf biologisch ab. Die Geschwindigkeit des Abbaus ist von der Rezeptur des Mulchmaterials, von der Schichthöhe, aber auch von Umgebungsbedingungen, z. B. Temperatur und Feuchtigkeit, abhängig.

In Vorversuchen sollen Varianten der Grundrezeptur des Mulchmaterials mit Labormethoden und mit einem Laborapplikationsgerät untersucht werden. Für die streifenförmige Ausbringung des Mulchmaterials in Gemüsekulturen soll ein Applikationsgerät für die Versuche optimiert, eine Machbarkeitsstudie für ein Seriengerät erstellt und ein Prototyp aufgebaut werden. Das Gesamtverfahren Beikrautunterdrückung mit einem spritzbaren Mulchmaterial soll in Zusammenarbeit mit Gemüsebaubetrieben entwickelt, optimiert und demonstriert werden. In praxisnahen Feldversuchen werden über zwei Anbaujahre die Rezeptur des Mulchmaterials und die Schichtdicke sowie die Kombination des Mulchverfahrens mit mechanischer Beikrautbekämpfung variiert. Getestet wird im Anbau der folgenden Gemüsekulturen, zum Teil in mehreren Sätzen pro Versuchsjahr: Salat, ca. sechs Wochen Kulturzeit und Kohlrabi ca. zwölf Wochen Kulturzeit als Reihenkulturen, die Dammkultur Karotte, ca. zwölf Wochen Kulturzeit, sowie Freilandgurke mit 16 bis 20 Wochen Kultur- und Erntezeit als flächig wachsende Kultur. Variiert werden zudem die Kulturverfahren sowie der Standort bzw. der Boden-Klima-Raum: Unterfranken mit geringen Niederschlägen auf Sand- und Lehmboden und Gäuboden in Niederbayern mit mittleren Niederschlägen auf Lößboden. Die Versuche werden bei Praxisbetrieben durchgeführt, wo die Versuchspartellen in den laufenden Betrieb integriert werden. Alle Betriebe sind konventionell anbauende Gemüsebaubetriebe, die zur Beikrautunterdrückung üblicherweise auch Herbizide einsetzen. Die Versuche werden mit vier Wiederholungen je Variante randomisiert angelegt. Die Anordnung der Partellen erfolgt als Block- oder Streifenanlage.

Eine deutliche Beikraut unterdrückende Wirkung des aufgespritzten Mulchmaterials konnte in den meisten Versuchsvarianten nachgewiesen werden. Der Erfolg hängt aber von vielen Einflussfaktoren ab, z. B. Bodenart, Bodenfeuchte und Bodenvorbereitung, Beikrautdruck sowie Präzision der Applikation. Das Mulchverfahren muss daher in das betriebliche Produktionssystem integriert und das Anbauverfahren mit dem Mulchverfahren abgestimmt werden. Beispielsweise ist eine geeignete Sä- und Pflanztechnik, die das zuvor aufgebrauchte Mulchmaterial nicht stark beschädigt oder gar zerstört, Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung des Mulchmaterials in der Pflanzreihe. Als Nebeneffekt in den Versuchen zeigte sich, dass das Mulchmaterial Karottendämme stabilisieren konnte; dies insbesondere bei sandigem Boden. Außerdem zeigten Messungen des Wassergehalts unter der Mulchschicht im Vergleich zum unbedeckten Boden, dass das Material die Evaporation verringert und dadurch eine die Bodenfeuchte regulierende Wirkung hat. Aufgrund der streifenförmigen Ausbringung oder der Kombination mit Unterflurbewässerung, z. B. mit Tropfschlauchsystemen, konnte bisher keine eingeschränkte Wasserversorgung

der Kulturpflanzen beobachtet werden. Diese Zusammenhänge müssen jedoch durch weitere Untersuchungen belegt werden.

Während im ersten Projektjahr das Mulchmaterial mit einem selbstgebauten Applikationsgerät „zwischen den Reihen“ ausgebracht wurde, entwickelten und bauten die Firmen Amazonen-Werke und Schmotzer einen Prototyp, mit dem im zweiten Projektjahr „in der Reihe“ und als Folienersatz appliziert werden konnte. Mit diesem Applikationsgerät konnte das Mulchmaterial im Rahmen der Versuche überwiegend präzise und reproduzierbar ausgebracht und die Machbarkeit des Konzepts demonstriert werden. Herausforderungen bestehen jedoch hinsichtlich der Bildung von Ablagerungen und Verstopfungen im Bereich der Austragdüsen, vor allem bei längeren Arbeitsunterbrechungen. Eine Optimierung des Geräts u. a. hinsichtlich Pumpleistung, Durchsatz, Düsen, Tropf-Stopp und ggf. Vormischung der Komponenten ist jedoch auf dem Weg zu einem Seriengerät noch erforderlich. Die Vermischung der Komponenten A und B im Sprühstrahl funktionierte in den Versuchen zufriedenstellend und würde zur Verringerung des Reinigungsaufwands beitragen. Beeinflusst wird die Vermischung der beiden Phasen u. a. durch die Düsenart, den Druck und die Temperatur bzw. die Viskosität der Flüssigphasen. Das im Statikmischer vorgemischte Mulchmaterial ermöglicht hingegen bei gleichem Materialaufwand größere Schichtdicken und stabilere Mulchschichten. Eine Festlegung auf ein bevorzugtes Mischverfahren muss, auch unter Einbeziehung ökonomischer Aspekte, noch erfolgen. Die erforderlichen Schichtdicken wurden je nach angestrebter Funktionsdauer der Mulchschicht bzw. der Kulturdauer der Gemüsekulturen in den bisherigen Versuchen zwischen 1 und 5 mm variiert. Die verfahrenstechnischen Parameter, wie z. B. minimale Streifenbreite und minimale Schichtdicke (kultur- und flächenspezifische Materialaufwandmengen) in Abhängigkeit der erwünschten Funktionszeit oder zeitlicher Abstand zwischen Applikation und Saat bzw. Pflanzung in das Material, müssen noch exakt ermittelt werden. Die bisherigen Untersuchungen zeigten, dass eine einmalige Applikation ausreichend ist. Die Materialaufwandmenge im Kopfsalatanbau (1 mm Schichtdicke und 20 cm Streifenbreite) beträgt ca. 6.500 l/ha und im Einlegegurkenanbau (3 mm Schichtdicke und 60 cm Streifenbreite) 12.000 l/ha. Diese Aufwandmengen gilt es zu reduzieren.

Das Mulchverfahren ist nicht für jede Kultur gleich gut geeignet. Wuchsdepressionen, beispielsweise bei Kopfsalat, waren im Feldversuch vor allem in der Juvenilphase festzustellen. Dieser Effekt konnte auch bei Versuchen mit einer reduzierten Anzahl an Einflussfaktoren im Gewächshaus beobachtet werden. Die genauen Ursachen sind noch nicht ergründet. Zum Teil werden die Wachstumsverzögerungen durch längere Kulturzeiten wieder aufgeholt. In einer folgenden Projektphase sollten beispielsweise die Wechselwirkungen einzelner Rezepturkomponenten auf das Wachstum von Gemüsejungpflanzen geprüft werden.

Die Variabilität der Ergebnisse aus den praxisnahen Feldversuchen hinsichtlich Beikraut unterdrückender Wirkung, Ertrag und Qualität des Ernteguts war hoch, wodurch statistisch gesicherte Aussagen nur zum Teil abgeleitet werden konnten. Einflüsse waren beispielsweise Staunässe in einzelnen Parzellen, ungleichmäßige Bewässerung, hoher Beikrautdruck durch die Vorfrucht oder auch ungleichmäßige Saat und Pflanzung. Die Durchführung der Versuche auf Praxisbetrieben war nur eingeschränkt geeignet, um die vielfältigen

Einflüsse auf die Wirksamkeit des Verfahrens variieren bzw. dokumentieren zu können. Weitere Feldversuche und Gewächshausversuche unter optimierten Bedingungen sind daher erforderlich.

Neben den Beikraut unterdrückenden Eigenschaften wurden auch weitere Umwelteinflüsse des Mulchmaterials untersucht: Das Mulchmaterial baut sich in Abhängigkeit von dem Volumen-Oberflächenverhältnis, den Mikroorganismen und Umweltfaktoren, wie Wasser, Temperatur und Einstrahlung, unterschiedlich schnell ab. Der Abbau konnte sowohl im Feldversuch als auch im Laborexperiment in Anlehnung an die Methode DIN EN ISO 17556 nachgewiesen werden. Eine Anreicherung des Mulchmaterials in der Umwelt ist somit nicht zu erwarten. Die nicht wasserlösliche Rezepturkomponente Rapsöl konnte drei Monate nach der Ausbringung des Mulchmaterials im Boden unter der Mulchschicht nicht nachgewiesen werden. Dies deutet darauf hin, dass Rapsöl aus dem Mulchmaterial nicht ausgewaschen wird oder ausgewaschene Rapsölmengen entsprechend schnell abgebaut werden. Mit dem Teebeutelindex wurde der Einfluss des Mulchverfahrens auf die Bodenaktivität untersucht. Zwischen den Mulchmaterialvarianten und den Referenzvarianten waren keine signifikanten Unterschiede festzustellen.

Vögel und größere Wirbeltiere werden nach derzeitigem Kenntnisstand vom Mulchmaterial nicht negativ beeinflusst. Dokumentationen mit Wildtierkameras ergaben keine Anhaltspunkte. Bisher sind keine negativen Einflüsse auf Insekten und andere tierische Organismen bekannt geworden. Weitere begleitenden Untersuchungen, z. B. bezüglich des Einflusses auf Regenwürmer, sind jedoch erforderlich.

Das MuNaRo-Verfahren weist nach einer ersten Treibhausgas- und Energiebilanz zum gegenwärtigen Entwicklungsstand sowohl höhere Treibhausgasemissionen als auch einen höheren nicht erneuerbaren Energieaufwand im Vergleich zu den Verfahren Herbizidbehandlung oder auch mechanische und thermische Beikrautregulierung auf. Ursache der deutlich höheren Emissionen und des höheren Energieaufwands ist der Materialeinsatz beim MuNaRo-Verfahren, der bei den drei betrachteten Kulturen mit knapp 90 % die dominierende Größe einnimmt. Im Weiteren sollte überprüft werden, ob die Auswahl der Indikatoren THG-Emissionen und nicht erneuerbarer Energieaufwand für die Bewertung und Einschätzung des Umweltprofils des Mulchmaterials MuNaRo im Vergleich zu anderen Verfahren der Unkrautregulierung ausreichend sind. Ein weiterer sinnvoller Indikator wäre beispielsweise die Bewertung der Ökotoxizität.

Die ökonomische Einordnung des neuartigen Mulchverfahrens zum gegenwärtigen Entwicklungsstand zeigt, dass das Mulchverfahren im Vergleich zum Herbizideinsatz derzeit nicht wirtschaftlich ist. Ziel weiterer Arbeiten muss sein, den Materialaufwand zu verringern und die Materialkosten zu senken. Das Mulchverfahren konkurriert unter ökonomischen Aspekten künftig mit hochautomatisierten Hackverfahren und mit dem Einsatz biobasierter und biologisch abbaubarer Mulchfolien. Eine Optimierung des Verfahrens unter ökonomischen Aspekten und eine Fortschreibung der Bewertung mit einem angepassten Benchmarking ist erforderlich.

Das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit ist der Ansicht, „dass das [...] entwickelte Mulchmaterial nicht als Pflanzenschutzmittel in den Geltungsbereich der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 fällt. Das Mulchmaterial arbeitet im Wesentlichen physikalisch/mechanisch, was bei anderen Verfahren (Hitze, mechanische Beikrautunterdrückung) ebenfalls der Fall ist.“ Somit steht der Weg offen, dass das Mulchmaterial auch im ökologischen Landbau zur Beikrautunterdrückung eingesetzt werden könnte.

Das neu entwickelte Verfahren zur Beikrautunterdrückung mit einem spritzbaren Mulchmaterial aus nachwachsenden Rohstoffen zeigt im Gemüsebau zum gegenwärtigen Entwicklungsstand grundsätzlich eine gute Wirkung gegenüber Beikräutern bei gleichzeitig wenig bedenklichen weiteren Umweltwirkungen. Das Verfahren weist noch ein großes Potenzial für verfahrenstechnische und ökonomische Optimierungen auf.

Quellenverzeichnis

- [1] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2021): BodenREISE Bayern. <https://www.lfu.bayern.de/boden/bodenreise/index.htm> (Stand: 20.10.2023)
- [2] BILLMANN, B.; BLUM, H.; BRUNS, C.; ECHIM, T.; GEORGE, E.; HOMMES, M. ET AL. (2006): Planung, Anlage und Auswertung von Versuchen im ökologischen Gemüsebau. Handbuch für die Versuchsanstellung. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL). Frick, Schweiz, Frankfurt am Main.
- [3] BRAUNACK, M. V.; ADHIKARI, R.; FREISCHMIDT, G.; JOHNSTON, P.; CASEY, P. S.; WANG, Y. et al. (2020): Initial Experimental Experience with a Sprayable Biodegradable Polymer Membrane (SBPM) Technology in Cotton. *Agronomy* 10 (4), S. 584. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040584>.
- [4] BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (BVL) (2022): Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse der Meldungen gemäß § 64 Pflanzenschutzgesetz für das Jahr 2020, 14 Seiten.
- [5] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) (2021): Gemüseernte auf dem Freiland – Endgültiges Ergebnis. Landwirtschaft – Statistik und Berichte des BMEL – Ernten. Stand: 18.06.2021. Unter Mitarbeit von S. Uhl. Wiesbaden (Statistischer Monatsbericht des Bundesministeriums für Landwirtschaft und Ernährung, MBT-0112530-0000). <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/statistischer-monatsbericht-des-bmel-kapitel-a-landwirtschaft>.
- [6] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2006): DIN EN ISO 14044: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Oktober 2006. Berlin: Beuth-Verlag, 84 Seiten.
- [7] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2009): DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. November 2009. Berlin: Beuth-Verlag, 40 Seiten.
- [8] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2019): DIN EN ISO 17556: Kunststoffe – Bestimmung der vollständigen aeroben Bioabbaubarkeit von Kunststoffmaterialien im Boden durch Messung des Sauerstoffbedarfs in einem Respirometer oder der Menge des entstandenen Kohlendioxids (ISO 17556:2019); Deutsche Fassung EN ISO 17556:2019; September 2019.
- [9] SCHRÖER, J.; LIPPS, J.; MEYER, G. (2011): Funktionsschicht einer Gebäudehülle, Gebäudehülle und Verfahren zum Herstellen einer Funktionsschicht. Patentanmeldung DE102009049284A1.
- [10] DREIER, T. (2000): Ganzheitliche Systemanalyse und Potenziale biogener Kraftstoffe. Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der Technischen Universität München.
- [11] DRESSLER, D.; HAAS, R.; REMMELE, E. (2018): Regionalspezifische Treibhausgasemissionen der Rapserzeugung in Bayern. Berichte aus dem TFZ 59. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 140 Seiten, ISSN 1614-1008.

- [12] DRESSLER, D.; ENGELMANN, K.; SERDJUK, M.; REMMELE, E. (2018): Rapsölkraftstoffproduktion in Bayern. Analyse und Bewertung ökologischer und ökonomischer Wirkungen nach der ExpResBio-Methode. Berichte aus dem TFZ 50. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 163 Seiten, ISSN 1614-1008.
- [13] ENCALADA, K., ALDÁS, M. B., PROAÑO, E., & VALLE, V. (2018). An overview of starch-based biopolymers and their biodegradability. *Ciencia e Ingeniería*, 39 (3), 245–258.
- [14] EUROPÄISCHE KOMMISSION (2020): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. „Vom Hof auf den Tisch“ – eine Strategie für ein faires, gesundes und umweltfreundliches Lebensmittelsystem. COM (2020) 381 final. Brüssel. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ea0f9f73-9ab2-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF, 25 Seiten.
- [15] EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance Fatty acids C7 to C18 (approved under Regulation (EC) No 1107/2009 as Fatty acids C7 to C20). *EFSA J.* 2013, 11, 3023.
- [16] FIGURA, L.; STECHMANN, H. (2012): Multifunktionale, sprühfähige und biologisch abbaubare Folien auf Basis nachwachsender Rohstoffe im landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturpflanzenbau. Abschlussbericht zu Teilvorhaben 4. Aufgabengebiet: Permeation. In: MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG (HRSG.): Multifunktionale, sprühfähige und biologisch abbaubare Folien auf Basis nachwachsender Rohstoffe im landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturpflanzenbau. Förderkennzeichen 22010307 (07NR103. Schlussbericht zum Vorhaben. Halle-Wittenberg: Zentrum für Umweltwissenschaften (UZU), S. 1–62.
- [17] GARMING, H. (2022): Steckbriefe zum Gartenbau in Deutschland: Gemüsebau. Braunschweig: Thünen-Institut für Betriebswirtschaft, 10 Seiten.
- [18] GLOMB, M.; KUMMERLÖWE, C.; STENGEL, K.; FIGURA, L.; STECHMANN; H. (2012): Multifunktionale, sprühfähige und biologisch abbaubare Folien auf Basis nachwachsender Rohstoffe im landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturpflanzenbau. FKZ 22010307, 22010407, 22010507 und 22010607. Halle, Osnabrück, Rudolstadt, Quakenbrück: Eigenverlag.
- [19] GOLDHOFER, H.; DUNST, A. (2005): Die Einlegegurken. IN: BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) (HRSG.): Feldgemüseanbau in Bayern. Ökonomik wichtiger Kulturen. Mai 2005. Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik (LfL-Information), S. 11–20.
- [20] GÜNTHER, D., (UMWELTBUNDESAMT (UBA)) (2021): Berechnungsgrundlage Klimainventar. schriftliche Mitteilung an Empfänger: Daniela Dressler (Technologie- und Förderzentrum [TFZ]) (Stand: 20.07.2021).
- [21] GUYTON, K. Z.; LOOMIS, D.; GROSSE, Y.; EL GHISSASSI, F.; BENBRAHIM-TALLAA, L.; GUHA, N. ET AL. (2015): Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. *The Lancet Oncology* 16 (5), S. 490–491. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)70134-8](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)70134-8).
- [22] HAUSER, M. UND MITARBEITER (2013): Höhere Erträge im Gemüsebau durch Mulchfolien. *Südtiroler Landwirt* Nr. 7 vom 12.03.2013.

- [23] HENNING, V.; STRAETER, C. (2008) Erstellung von Produktinformationen und eines Kalkulationsprogramms zur Nutzung abbaubarer Mulchfolien sowie die Erstellung einer Ökobilanz für Biokunststofftöpfe und Mulchfolien aus nachwachsenden Rohstoffen. Abschlussbericht. FKZ 22027305 und 22009706. Freising, Hannover: Eigenverlag. <https://doi.org/10.2314/GBV:620139323>.
- [24] HERMANN, D. (2022): Innovationen in der Pflanzenschutztechnik. In: FRERICHS, L. (HRSG.): Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge. <https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202202030931-0>.
- [25] INTERNATIONALE GEOTEXTIL GMBH (2023), Homepage der Firma. <https://www.igg.de/>.
- [26] JOHNSTON, P.; BRAUNACK, M.; CASEY, P. S.; BRISTOW, K. L.; ADHIKARI, R. (2020): Glasshouse study of a sprayable, degradable polymer to reduce water use in cotton establishment. *Soil Research* 58 (4), S. 379. <https://doi.org/10.1071/SR19306>.
- [27] KEUSKAMP, J. A.; DINGEMANS, B. J. J.; LEHTINEN, T.; SARNEEL, J. M.; HEFTING, M. M.; MULLER-LANDAU, H. (2013): Tea Bag Index. A novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution* 4 (11), S. 1070–1075. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12097>.
- [28] KIRCHINGER, M.; MENGER A.; HEßDÖRFER D.; REMMELE E. (2023): Alternatives Beikrautmanagement im Obst- und Weinbau mit ökologisch unbedenklichen Substanzen und einem alternativen Mulchverfahren auf Basis Nachwachsender Rohstoffe. Berichte aus dem TFZ, Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) (in Vorbereitung).
- [29] KOSAN, B.; MEISTER, F. (2006): Verfahren zur Herstellung von modifizierten Polysacchariden mit verbesserten hydrophoben Eigenschaften. Patent EP 1 449 852 B1, 8 Seiten.
- [30] KUMMERLÖWE, C.; TRAUTZ, D.; HAUNER, M.; DEHNEL, G.; HÜSING, B.; VERGARA HERNANDEZ, M. E.; KIELHORN, A. (2012): Multifunktionale, sprühhfähige und biologisch abbaubare Folien auf Basis nachwachsender Rohstoffe im landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturpflanzenbau. Teilbericht 2. In: MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG (HRSG.): Multifunktionale, sprühhfähige und biologisch abbaubare Folien auf Basis nachwachsender Rohstoffe im landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturpflanzenbau. Förderkennzeichen 22010307 (07NR103), Laufzeit: 15.10.2008 bis 31.03.2012. Schlussbericht zum Vorhaben. Halle-Wittenberg: Zentrum für Umweltwissenschaften (UZU), S. 1–85.
- [31] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E. V. (KTBL) (2017): Gemüsebau. Freiland und Gewächshaus. KTBL-Datensammlung. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. 652 Seiten, ISBN: 978-3-945088-41-8.
- [32] LABER, H.; LATTASCHKE, G. (HRSG.) (2020): Gemüsebau. 3., erw. Aufl. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.
- [33] NASE, M.; SCHAWALLER, D., HEINZE M., HERFORT, S. (2016): Entwicklung einer neuartigen biologisch abbaubaren Mulchfolie mit einstellbarer biologischer Abbauezeit. FKZ 22035414, 22026915, 22029215 und 22026815, Hof, Ilsfeld, Südliches Anhalt, Berlin.
- [34] PÉRONNE, D. (2016): Une bâche comestible. *La France Agricole* 71 (3665), S. 35.

- [35] POEHLING, H., STECK, M. (2015): Entwicklung einer biologisch abbaubaren, sprühfähigen Mulchfolie aus NaWaRos zur Steigerung der Nachhaltigkeit beim integrierten Pflanzenschutz von intensiven gartenbaulichen Freilandkulturen. FKZ 22008214 und 22014815, Hannover, Ulm.
- [36] RECKLEBEN, Y. (2016): Entwicklung und Erprobung eines Prototyps zur großflächigen Ausbringung von Stärkeschaum auf Fahrtilos. Abschlussbericht – Kurzfassung zum Abschlussbericht. Osterrönnfeld: Fachhochschule Kiel, Fachbereich Agrarwirtschaft, Fachbereich Agrarwirtschaft, Fachgebiet Landtechnik, 11 Seiten.
- [37] RECKLEBEN, Y.; LINDENBECK, M.; BONN, W. (2017): Stärke statt Plastik. Optimale Siloabdeckung aus natürlichen Rohstoffen – Keine Verschwendung von Ressourcen. Forschungsprojekt der Fachhochschule Kiel, EKSH-Projektförderung, Energieforschung in Schleswig-Holstein, Projektzeitraum: 07/2014 bis 06/2016. Gesellschaft für Energie und Klimaschutz Schleswig-Holstein (EKSH) (Hrsg.). Kiel: Fachhochschule Kiel. EKSH-Projektbericht, Nr. 2/2017, 4 Seiten.
- [38] ROEDER, O.; REMMELE, E.; KIRCHHOFF, V.; BARTEL, R.; SCHWARZ, W. (2007): Abdeckmaterial für Biomasse und Verfahren zu dessen Herstellung. Patent EP 1 998 955 B1, 10 Seiten.
- [39] ROßBERG, D.; HOMMES, M. (2018): NEPTUN-Gemüsebau 2017. Hg. v. Julius-Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Braunschweig, Deutschland. Institut für Strategien und Folgenabschätzung. Kleinmachnow (Berichte aus dem Julius-Kühn-Institut, 199).
- [40] ROßBERG, D.; MICHEL, V.; GRAF, R.; NEUKAMPF, R. (2007): Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 59 (7), S. 155–161.
- [41] SAMSEL, A.; SENEFF, S. (2013): Glyphosate, pathways to modern diseases II. Celiac sprue and gluten intolerance. *Interdisciplinary Toxicology* 6 (4), S. 159–184. <https://doi.org/10.2478/intox-2013-0026>.
- [42] SCHREIEDER, V.; EMBERGER, P.; ANDRADE, D.; REMMELE, E. (2018): Überführung einer Siloabdeckung auf Basis nachwachsender Rohstoffe in die Praxisreife. Berichte aus dem TFZ, Nr. 58. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 143 Seiten, ISSN 1614-1008.
- [43] SIMON, S.; REMMELE, E.; RIEPL, H.; DÖRRSTEIN, J.; EMBERGER, P. (2015): Weiterentwicklung einer Siloabdeckung auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Berichte aus dem TFZ, Nr. 42. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 227 Seiten, ISSN 1614-1008.
- [44] SOMMER, I. (2012): Entwicklung und Charakterisierung von Schutzfolien aus nachwachsenden Rohstoffen. Dissertation. Halle-Wittenberg: Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Zentrum für Ingenieurwissenschaften, 115 Seiten.
- [45] STENKEL, K., MEISTER, F. (2015): Entwicklung biologisch abbaubarer, sprühfähiger Flüssigsilofolie auf Polysaccharidbasis zur Konservierung und Lagerung von landwirtschaftlichen Produkten. BMWi ZIM KF2099117CJ2, Rudolstadt.
- [46] THIEL, A.; FLIEGER, A.; NASE, M. (2020): Entwicklung einer neuartigen biologisch abbaubaren Mulchfolie mit einstellbarer biologischer Abbaupzeit; Teilvorhaben 1: Entwicklung und Prüfung. BMEL Förderkennzeichen: 22035414, Hof.

- [47] UHL, A.; WEINFURTNER, S.; BRÜCKNER, S.; WEINERT, A.-T.; RÖBL, G.; ETTLE, T.; GASSNER, T.; REMMELE, E.; RÖDER, O.; OSTERTAG, J.; SPIEKERS, H. (2011): Entwicklung einer Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen. Projektpartner: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Grub; Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik. Berichte aus dem TFZ, Nr. 27. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 169 Seiten, ISSN 1614-1008.
- [48] Weber, C. (2003): Folien aus biologisch abbaubaren Werkstoffen für den Einsatz im Gemüsebau. FKZ 22015899. Hannover: Eigenverlag. <https://doi.org/10.2314/GBV:492147752>.
- [49] SCHALLER, J.; STENGEL, K.; MEISTER, F.; RIEDE, S. (2013): Flüssig anwendbare multifunktionale Beschichtungsfilm. Patentanmeldung WO 2013/143696.
- [50] SCHALLER, J.; STENGEL, K.; MEISTER, F.; SCHÖBITZ, M.; RIEDE, S. (2015): Zusammensetzung für flüssig anwendbare multifunktionale Beschichtungsfilm. Patentanmeldung WO 2015/044293.
- [51] WERNET, G.; BAUER, C.; STEUBING, B.; REINHARD, J.; MORENO-RUIZ, E.; WEIDEMA, B. (2016): The ecoinvent database version 3 (part I). Overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21 (9), S. 1218–1230.
- [52] WOLF, C.; DRESSLER, D.; ENGELMANN, K.; KLEIN, D.; WEBER-BLASCHKE, G.; BÖSWIRTH, T.; BRYZINSKI, T.; EFFENBERGER, M.; HIJAZI, O.; HÜLSBERGEN, K.-J.; MAZE, M.; REMMELE, E.; RÖDER, H.; SCHULZ, C.; SERDJUK, M.; THUNEKE, K.; TIEMANN, A.; ZERLE, P. (2016): ExpResBio – Methoden. Methoden zur Analyse und Bewertung ausgewählter ökologischer und ökonomischer Wirkungen von Produktsystemen aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen. Berichte aus dem TFZ 45. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für nachwachsende Rohstoffe (TFZ). 165 Seiten, ISSN 1614-1008.

Anhang

Anhang 1: Daten zur Kultur Kopfsalat in Niederbayern (Versuchsjahr 2021 – Satz 1, 62 Tage Kulturdauer)

Maßnahme	Datum	Tage nach Pflanzung	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Düngung	06.03.2021	-3	Volldünger 60-60-150	200 kg/ha
Pflanzung	09.03.2021	0	-	-
Herbizid in Kontrolle	09.03.2021	0	Kerb Flo	1,6 l/ha
Applikation Beikrautbonitur 0	18.03.2021	9	-	-
Beikrautbonitur 1	25.03.2021	16	-	-
Beikrautbonitur 2	07.04.2021	29	-	-
Düngung	10.04.2021	32	Kalkammonsalpeter	200 kg/ha
Hacken	10.04.2021	32	-	-
Beikrautbonitur 3	19.04.2021	41	-	-
Beikrautbonitur 4	28.04.2021	50	-	-
Beikrautbonitur 5	10.05.2021	62	-	-
Ernte	10.05.2021	62	-	-
Restmaterialbonitur	09.06.2021	92	-	-

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 7,2 °C
- Globalstrahlung in Summe: 253.362 Wh/m²
- Niederschlag: 67 mm
- Bewässerung: zweimal Überkopfberegnung mit je 24 l/m²

Anhang 2: *Daten zur Kultur Kopfsalat in Niederbayern (Versuchsjahr 2021 – Satz 2, 40 Tage Kulturdauer)*

Maßnahme	Datum	Tage nach Pflanzung	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Pflanzung	29.05.2021	0	-	-
Düngung	30.05.2021	1	Volldünger 60-60-150	200 kg/ha
Applikation Beikrautbonitur 0	02.06.2021	4	-	-
Herbizid in Kontrolle	09.06.2021	11	Kerb Flo	1,8 l/ha
Herbizid in Kontrolle	09.06.2021	11	Cadou SC	0,2 l/ha
Beikrautbonitur 1	09.06.2021	11	-	-
Fungizid	11.06.2021	13	Ortiva	1 l/ha
Düngung	19.06.2021	21	Kalkammonsalpeter	200 kg/ha
Hacken	19.06.2021	21	Hacken	-
Fungizid	19.06.2021	21	Ortiva	1 l/ha
Beikrautbonitur 2	24.06.2021	26	-	-
Fungizid	28.06.2021	30	Ridomil Gold MZ	2 l/ha
Insektizid	28.06.2021	30	Movento OD 150	-
Beikrautbonitur 3	06.07.2021	38	-	-
Ernte	08.07.2021	40	-	-
Restmaterialbonitur	21.07.2021	53	-	-

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 19,2 °C
- Globalstrahlung in Summe: 252.141 Wh/m²
- Niederschlag: 153 mm

Anhang 3: *Daten zur Kultur Kopfsalat in Unterfranken (Versuchsjahr 2021 – Satz 1, 70 Tage Kulturdauer)*

Maßnahme	Datum	Tage nach Pflanzung	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Düngung	23.03.2021	-9	Entec perfect 15-5-20	660 kg/ha
Pflanzung	01.04.2021	0	-	-
Herbizid in Kontrolle	04.04.2021	3	Kerb Flo	2,5 l/ha
Applikation Beikrautbonitur 0	08.04.2021	7	-	-
Herbizid in Kontrolle	10.04.2021	9	Cadou SC	250 ml/ha
Fungizid	13.04.2021	12	Acrobat Plus	2 kg/ha
Fungizid	13.04.2021	12	Signum	1,5 kg/ha
Insektizid	13.04.2021	12	Mavrik Vita	200 ml/ha
Beikrautbonitur 1	15.04.2021	14	-	-
Hacken	28.04.2021	27	-	-
Beikrautbonitur 2	29.04.2021	28	-	-
Düngung	09.05.2021	38	Harnstoff 46-0-0 Kalksalpeter 15,5-26,5 CaO	43 kg/ha 60 kg/ha
Beikrautbonitur 3	12.05.2021	41	-	-
Fungizid	18.05.2021	47	Revus	600 ml/ha
Fungizid	18.05.2021	47	Teldor	1,5 kg/ha
Insektizid	18.05.2021	47	Movento OD 150	480 ml/ha
Beikrautbonitur 4	28.05.2021	57	-	-
Beikrautbonitur 5	10.06.2021	70	-	-
Ernte	10.06.2021	70	-	-
Restmaterialbonitur	05.07.2021	95	-	-

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 11,9 °C
- Globalstrahlung in Summe: 340.557 Wh/m²
- Niederschlag: 129 mm

Anhang 4: Daten zur Kultur Kopfsalat in Unterfranken (Versuchsjahr 2021 – Satz 2, 52 Tage Kulturdauer)

Maßnahme	Datum	Tage nach Pflanzung	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Pflanzung	03.07.2021	0	-	-
Düngung	05.07.2021	2	Entec perfect 15-5-20	600 kg/ha
Applikation Beikrautbonitur 0	07.07.2021	4	-	-
Herbizid in Kontrolle	10.07.2021	7	Kerb Flo	2,5 l/ha
Fungizid	10.07.2021	7	Acrobat Plus	2 kg/ha
Fungizid	10.07.2021	7	Signum	1,5 kg/ha
Insektizid	10.07.2021	7	Mavrik Vita	200 ml/ha
Insektizid	10.07.2021	7	Steward	85 g/ha
Beikrautbonitur 1	13.07.2021	10	-	-
Fungizid	22.07.2021	19	Ortiva	1 l/ha
Insektizid	22.07.2021	19	Steward	85 g/ha
Hacken	23.07.2021	20	-	-
Beikrautbonitur 2	27.07.2021	24	-	-
Fungizid	30.07.2021	27	Teldor	1,5 kg/ha
Fungizid	30.07.2021	27	Revus	600 ml/ha
Insektizid	30.07.2021	27	Movento OD 150	480 ml/ha
Beikrautbonitur 3	10.08.2021	38	-	-
Ernte	10.08.2021	38	-	-
Restmaterialbonitur	24.08.2021	52	-	-

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 19,6 °C
- Globalstrahlung in Summe: 199.896 Wh/m²
- Niederschlag: 104 mm
- Bewässerung: Überkopfbewässerung, Menge unbekannt

Anhang 5: Kulturdaten Kopfsalat, Niederbayern, 2022

Termin	Datum	Tage nach Pflanzung	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Applikation	06.07.2022	-1	-	-
Herbizid	07.07.2022	0	Kerb Flo	1,85 l/ha
Pflanzung	07.07.2022	0	-	-
Beikrautbonitur 0	07.07.2022	0	-	-
Fungizid	11.07.2022	4	Proplant	1,5 l/ha
Fungizid	11.07.2022	4	Ortiva	1,0 l/ha
Beikrautbonitur 1	15.07.2022	8	-	-
Düngung	20.07.2022	13	Kalkammonsalpeter	2 dt/ha
Hacken	20.07.2022	13	-	-
Fungizid	21.07.2022	14	Orondis Plus	0,15 l/ha
Fungizid	21.07.2022	14	Ortiva	1,0 l/ha
Beikrautbonitur 2	28.07.2022	21	-	-
Insektizid	01.08.2022	25	Movento OD 150	0,48 l/ha
Ernte	10.08.2022	34	-	-
Restmaterialbonitur	07.09.2022	62	-	-

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 21,5 °C
- Globalstrahlung in Summe: 219.111 Wh/m²
- Niederschlag: 16 mm
- Bewässerung: Überkopfbewässerung, zweimal je 15 l/m² und dreimal je 18 l/m²

Anhang 6: Kulturdaten Kopfsalat, Unterfranken, 2022

Termin	Datum	Tage nach Pflanzung	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Düngung	03.06.2022	-18	Patentkali (30 % K ₂ O)	250 kg/ha
Düngung	20.06.2022	-1	Novatec Premium 15-3-20	550 kg/ha
Applikation	20.06.2022	-1	-	-
Beikrautbonitur 0	20.06.2022	-1	-	-
Pflanzung	21.06.2022	0	-	-
Herbizid in Kontrolle	22.06.2022	1	Kerb Flo	2,5 l/ha
Herbizid in Kontrolle	23.06.2022	2	Cadou SC	250 ml/ha
Fungizid	24.06.2022	3	Orvego	800 ml/ha
Insektizid	24.06.2022	3	Mavrik Vita	200 ml/ha
Insektizid	24.06.2022	3	Steward	85 g/ha
Insektizid	24.06.2022	3	Signum	1,5 kg/ha
Beikrautbonitur 1	29.06.2022	8	-	-
Fungizid	09.07.2022	18	Ortiva	1 l/ha
Insektizid	09.07.2022	18	Trebon 30 EC	200 ml/ha
Beikrautbonitur 2	13.07.2022	22	-	-
Fungizid	18.07.2022	27	Teldor	1,5 kg/ha
Fungizid	18.07.2022	27	Revus	600 ml/ha
Insektizid	18.07.2022	27	Movento OD 150	480 ml/ha
Beikrautbonitur 3	27.07.2022	36	-	-
Erntebonitur	27.07.2022	36	-	-
Ernte	03.08.2022	43	-	-
Restmaterialbonitur	18.08.2022	58	-	-

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 23,1 °C
- Globalstrahlung in Summe: 277.172 Wh/m²
- Niederschlag: 18 mm
- Bewässerung: Überkopfbewässerung, durchschnittlich 7,4 l/m²d

Anhang 7: Kulturdaten Kohlrabi, Satz 1, Niederbayern, 2021

Maßnahme	Datum	Tage nach Pflanzung	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Düngung	30.05.2021	-1	Volldünger 60-60-150	75 kg/ha
Pflanzung	31.05.2021	0	-	-
Applikation Beikrautbonitur 0	02.06.2021	2	-	-
Beikrautbonitur 1	09.06.2021	9	-	-
Herbizid in Kontrolle	11.06.2021	11	Butisan	0,8 l/ha
Düngung	19.06.2021	19	Kalkammonsalpeter	200 kg/ha
Hacken	19.06.2021	19	-	-
Beikrautbonitur 2	24.06.2021	24	-	-
Beikrautbonitur 3	06.07.2021	36	-	-
Beikrautbonitur 4	20.07.2021	50	-	-
Ernte	21.07.2021	51	-	-
Restmaterialbonitur	02.09.2021	94	-	-

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 19,5 °C
- Globalstrahlung in Summe: 298.303 Wh/m²
- Niederschlag: 186 mm

Anhang 8: Kulturdaten Kohlrabi, Unterfranken, Satz 1

Maßnahme	Datum	Tage nach Pflanzung	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Insektizid	02.04.2021	-1	Spintor	12 ml/1000 Pfl
Pflanzung	03.04.2021	0	-	-
Düngung	03.04.2021	0	Entec -26-	610 kg/ha
Düngung	03.04.2021	0	Kalimagnesia 0-0-30-20	310 kg/ha
Herbizid in Kontrolle	03.04.2021	0	Batisan	1 l/ha
Fungizid	03.04.2021	0	Acrobat Plus	2 kg/ha
Insektizid	03.04.2021	0	Karate Zeon	75 ml/ha
Applikation Beikrautbonitur 0	08.04.2021	5	-	-
Beikrautbonitur 1	15.04.2021	12	-	-
Beikrautbonitur 2	29.04.2021	26	-	-
Beikrautbonitur 3	12.05.2021	39	-	-
Düngung	14.05.2021	41	Harnstoff 46-0-0	100 kg/ha
Fungizid	18.05.2021	45	Forum	2 l/ha
Insektizid	18.05.2021	45	Steward	85 g/ha
Insektizid	18.05.2021	45	Spintor	200 ml/ha
Insektizid	18.05.2021	45	-	-
Beikrautbonitur 4	28.05.2021	55	-	-
Insektizid	01.06.2021	59	Spintor	200 ml/ha
Beikrautbonitur 5	14.06.2021	72	-	-
Ernte	14.06.2021	72	-	-
Restmaterialbonitur	05.07.2021	93	-	-

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 12,4 °C
- Globalstrahlung in Summe: 363.251 Wh/m²
- Niederschlag: 129 mm

Anhang 9: Kulturdaten Kohlrabi Unterfranken Satz 2

Maßnahme	Datum	Tage nach Pflanzung	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Düngung	19.06.2021	-17	Kalimagnesia 0-0-30-20	700 kg/ha
Düngung	19.06.2021	-17	Kalkstickstoff -20-	270 kg/ha
Pflanzung	06.07.2021	0	-	-
Applikation Beikrautbonitur 0	07.07.2021	1	-	-
Düngung	08.07.2021	2	Entec -26-	350 kg/ha
Herbizid in Kontrolle	10.07.2021	4	Butisan	1 l/ha
Fungizid	10.07.2021	4	Acrobat Plus	2 kg/ha
Insektizid	10.07.2021	4	Karate Zeon	75 ml/ha
Insektizid	10.07.2021	7	Steward	85 g/ha
Beikrautbonitur 1	13.07.2021	7	-	-
Fungizid	22.07.2021	16	Forum	2 l/ha
Insektizid	22.07.2021	16	Spintor	200 ml/ha
Beikrautbonitur 2	27.07.2021	21	-	-
Düngung	28.07.2021	22	Kalkammonsalpeter 26-0-0-	100 kg/ha
Fungizid	03.08.2021	28	Forum	2 l/ha
Insektizid	03.08.2021	28	Spintor	200 ml/ha
Beikrautbonitur 3	09.08.2021	34	-	-
Beikrautbonitur 4	24.08.2021	49	-	-
Ernte	25.08.2021	50	-	-
Restmaterialbonitur	22.10.2021	108	-	-

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 19,3 °C
- Globalstrahlung in Summe: 251.339 Wh/m²
- Niederschlag: 115 mm

Anhang 10: Kulturdaten Karotte, Niederbayern, Satz 1, 2021

Maßnahme	Datum	Tage nach Pflanzung	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Düngung	31.05.2021	0	Volldünger 12-12-17	100 kg/ha
Saat	31.05.2021	0	-	-
Applikation Beikrautbonitur 0	01.06.2021	1	-	-
Herbizid in Kontrolle	02.06.2021	2	Stomp	3,5 l/ha
Herbizid in Kontrolle	02.06.2021	2	Sencor liquid	0,3 l/ha
Beikrautbonitur 1	09.06.2021	9	-	-
Beikrautbonitur 2	24.06.2021	24	-	-
Beikrautbonitur 3	06.07.2021	36	-	-
Beikrautbonitur 4	20.07.2021	50	-	-
Beikrautbonitur 5	09.08.2021	70	-	-
Beikrautbonitur 6	16.08.2021	77	-	-
Ernte	17.08.2021	78	-	-
Restmaterialbonitur	05.10.2021	127	-	-

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 18,8 °C
- Globalstrahlung in Summe: 442.823 Wh/m²
- Niederschlag: 258 mm

Anhang 11: Kulturdaten Karotte, Unterfranken, Satz 1, 2021

Maßnahme	Datum	Tage nach Pflanzung	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Grubbern	22.03.2021	-4	-	-
Düngung	22.03.2021	-4	Potush Kali 37 %	200 kg/ha
Saat	26.03.2021	0	-	-
Düngung	26.03.2021	0	Entec -26-	270 kg/ha
Herbizid in Kontrolle	31.03.2021	5	Bandur	3 l/ha
Herbizid in Kontrolle	31.03.2021	5	Stomp Aqua	1 l/ha
Herbizid in Kontrolle	31.03.2021	5	Centium 36 CS	130 ml/ha
Applikation				
Beikrautbonitur 0	08.04.2021	13	-	-
Beikrautbonitur 1	15.04.2021	20	-	-
Beikrautbonitur 2	29.04.2021	34	-	-
Beikrautbonitur 3	12.05.2021	47	-	-
Beikrautbonitur 4	28.05.2021	63	-	-
Beikrautbonitur 5	11.06.2021	77	-	-
Insektizid	18.06.2021	84	Coragen	175 ml/ha
Fungizid	18.06.2021	84	Signum	1 kg/ha
Beikrautbonitur 6	23.06.2021	89	-	-
Düngung	01.07.2021	97	Volldünger 12-12-17	180 kg/ha
Beikrautbonitur 7	05.07.2021	101	-	-
Beikrautbonitur 8	13.07.2021	109	-	-
Ernte	15.07.2021	111	-	-
Restmaterialbonitur	10.08.2021	137	-	-

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 14,4 °C
- Globalstrahlung in Summe: 561.780 Wh/m²
- Niederschlag: 255 mm

Anhang 12: Kulturdaten Karotte, Niederbayern, 2022

Termin	Datum	Tage nach Saat	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Düngung	18.04.2022	-2	Volldünger NPK 12/12/17	800 kg/ha
Applikation	19.04.2022	-1	-	-
Saat	20.04.2022	0	-	-
Beikrautbonitur 1	27.04.2022	7	-	-
Beikrautbonitur 2	12.05.2022	22	-	-
Herbizid	19.05.2022	29	Bandur Stomp Aqua Centium	1,5 l/ha 2,0 l/ha 0,1 l/ha
Beikrautbonitur 3	20.05.2022	30	-	-
Herbizid	01.06.2022	40	Stomp Aqua Centium	2,0 l/ha 0,1 l/ha
Beikrautbonitur 4	02.06.2022	41	-	-
Beikrautbonitur 5	15.06.2022	54	-	-
Beikrautbonitur 6	30.06.2022	69	-	-
Beikrautbonitur 7	14.07.2022	83	-	-
Beikrautbonitur 8	28.07.2022	97	-	-
Ernte	09.08.2022	109	-	-
Restmaterialbonitur	26.09.2022	157	-	-

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 17,6 °C
- Globalstrahlung in Summe: 662.095 Wh/m²
- Niederschlag: 214 mm
- Bewässerung: Überkopfbewässerung, einmal 15 l/m²d und zweimal 25 l/m²d

Anhang 13: Kulturdaten Karotte, Unterfranken, 2022

Termin	Datum	Tage nach Saat	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Grubbern	11.06.2022	-7	Rotavator-Grubber	-
Düngung	11.06.2022	-7	PotashpluS 37 %	550 kg/ha
Kreiseln	18.06.2022	0	Kreiselegge	-
Saat	18.06.2022	0	-	-
Applikation	20.06.2022	2	-	-
Herbizid in Kontrolle	22.06.2022	4	Bandur	3 l/ha
Herbizid in Kontrolle	22.06.2022	4	Stomp Aqua	1 l/ha
Herbizid in Kontrolle	22.06.2022	4	Centium 36 CS	130 ml/ha
Beikrautbonitur 0	21.06.2022	3	-	-
Eingraben Feuchte-sensoren	27.06.2022	9	-	-
Beikrautbonitur 1	29.06.2022	11	-	-
Beikrautbonitur 2	13.07.2022	25	-	-
Beikrautbonitur 3	27.07.2022	39	-	-
Fungizid	02.08.2022	45	Askon	1 l/ha
Fungizid	02.08.2022	45	Signum	1 kg/ha
Insektizid	02.08.2022	45	Minecto one	187 g/ha
Düngung	10.08.2022	53	NPK 12-12-17	500 kg/ha
Beikrautbonitur 4	11.08.2022	54	-	-
Beikrautbonitur 5	24.08.2022	67	-	-
Fungizid	01.09.2022	75	Signum	1 kg/ha
Fungizid	01.09.2022	75	Askon	1 l/ha
Fungizid	01.09.2022	75	Kumulus WG	1,5 kg/ha
Insektizid	01.09.2022	75	Minecto one	187 g/ha
Beikrautbonitur 6	07.09.2022	81	-	-
Beikrautbonitur 7	20.09.2022	94	-	-
Beikrautbonitur 8	05.10.2022	109	-	-
Ausgraben Feuchte-sensoren	10.10.2022	114	-	-
Beikrautbonitur 9	20.10.2022	124	-	-
Beikrautbonitur 10	02.11.2022	137	-	-
Ernte	03.11.2022	138	-	-
Restmaterialbonitur	30.11.2022	163	-	-

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 19,3 °C
- Globalstrahlung in Summe: 599.640 Wh/m²
- Niederschlag: 189 mm

Aufgrund der hohen Temperaturen und kaum natürlicher Niederschläge wurde eine Überkopfberegnung mit insgesamt 380 l/m² durchgeführt. Angesichts der Trockenheit wurde zu Beginn der Kultur täglich eine Bewässerung mit 2 l/m² durchgeführt, bis die Möhren längere Wurzeln gebildet hatten. Nach ca. drei Wochen wurde auf eine Bewässerung alle zwei Tage umgestellt. Im Schnitt wurden täglich (bis 05.10., 109 Tage nach der Saat) 3,5 l/m² beregnet.

Anhang 14: Kulturdaten Einlegegurke, Niederbayern, 2021

Maßnahme **	Datum	Tage nach Applikation	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Applikation Beikrautbonitur 0	19.04.2021	0	-	-
Saat	21.04.2021	2	-	-
Beikrautbonitur 1	28.04.2021	9	-	-
Beikrautbonitur 2	10.05.2021	21	-	-
Beikrautbonitur 3	31.05.2021	42	-	-
Herbizid in Kontrolle	31.05.2021	44	Glyphosat	-
Fungizid	18.06.2021	60	*	-
Fungizid	23.06.2021	65	*	-
Beikrautbonitur 4	24.06.2021	66	-	-
Fungizid	28.06.2021	70	-	-
Fungizid	05.07.2021	77	-	-
Beikrautbonitur 5	06.07.2021	78	-	-
Fungizid	11.07.2021	83	*	-
Fungizid	17.07.2021	89	*	-
Beikrautbonitur 6	20.07.2021	92	-	-
Fungizid	20.07.2021	92	*	-
Fungizid	26.07.2021	98	*	-
Blattproben	02.08.2021	105	-	-
Fungizid	03.08.2021	106	*	-
Insektizid	03.08.2021	106	Kiron, Ordoval	-
Beikrautbonitur 7	09.08.2021	112	-	-
Fungizid	09.08.2021	112	*	-
Beikrautbonitur 8	16.08.2021	119	-	-
Fungizid	17.08.2021	120	*	-
Fungizid	24.08.2021	127	*	-
Drohnenaufnahmen	25.08.2021	128	-	-
Beikrautbonitur 9	09.09.2021	143	-	-
Wurzelbonitur	09.09.2021	143	-	-
Restmaterialbonitur	05.10.2021	169	-	-

* Fungizide: Ranman top, Ortiva, Infinito, Isagrar wax phos, Score, Collis und Orvego.

** Über die Saison verteilt wurde siebenmal über Tropf gedüngt mit Kali, Stickstoff und Volldünger (180 kg/ha N, 15 kg/ha P, 260 kg/ha K).

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 15,9 °C
- Globalstrahlung in Summe: 744.442 Wh/m²
- Niederschlag: 448 mm

Anhang 15: Kulturdaten Einlegegurke, Niederbayern, 2022

Termin	Datum	Tage nach Applikation	Dünge- und Pflanzenschutzmittel	Menge
Applikation	19.04.2022	0	-	-
Beikrautbonitur 0	20.04.2022	1	-	-
Saat	20.04.2022	1	-	-
Beikrautbonitur 1	27.04.2022	8	-	-
Beikrautbonitur 2	12.05.2022	23	-	-
Beikrautbonitur 3 und manuelles Entfernen Kartoffeldurchwuchs	20.05.2022	31	-	-
Herbizid in Kontrolle	20.05.2022	31	Glyphosat	3 l/ha
Fotodokumentation	02.06.2022	44	-	-
Fungizid	11.06.2022	53	*	2,5 l/ha
Beikrautbonitur 4	15.06.2022	57	-	-
Fungizid	16.06.2022	58	*	4,52 l/ha
Manuelle Beikrautentfernung und Versuchsabbruch	17.06.2022	59	-	-
Fungizid	21.06.2022	63	*	1,12 l/ha
Fungizid	29.06.2022	71	*	1,55 l/ha
Beikrautbonitur 5	30.06.2022	72	-	-
Fungizid	04.07.2022	76	*	5,5 l/ha
Insektizid	07.07.2022	79	Kiron, Ordoval	1,22 l/ha
Fungizid	11.07.2022	83	*	0,75 l/ha
Insektizid	11.07.2022	83	Kiron, Ordoval	1,22 l/ha
Fotodokumentation	14.07.2022	86	-	-
Fungizid	18.07.2022	90	*	2,95 l/ha
Fungizid	25.07.2022	97	*	1,52 l/ha
Fungizid	02.08.2022	105	*	3,25 l/ha
Fungizid	09.08.2022	112	*	4 l/ha
Insektizid	17.08.2022	120	Kiron, Ordoval	1,22 l/ha
Fungizid	17.08.2022	120	*	2,2 l/ha
Fungizid	25.08.2022	128	*	3,8 l/ha
Restmaterialbonitur	26.09.2022	159	-	-

* Fungizide: Ranman top, Ortiva, Infinito, Isagrar wax phos, Score, Collis, Orvego.

** Über die Saison verteilt wurde über Tropf gedüngt mit Kali, Stickstoff und Volldünger (121 kg/ha N, 15 kg/ha P, 252 kg/ha K).

Umweltbedingungen zwischen Pflanzung und Ernte:

- Durchschnittliche Bodentemperatur: 16,8 °C
- Globalstrahlung in Summe: 493.326 Wh/m²
- Niederschlag: 214 mm
- Bewässerung: 330 l/m² gesamt über Tropfschläuche

Berichte aus dem TFZ

Bisher erschienene Ausgaben der Schriftenreihe des Technologie- und Förderzentrums:

- 1 Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich – Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis
- 2 Erprobung der Brennwerttechnik bei häuslichen Holzhackschnitzelheizungen mit Sekundärwärmetauscher
- 3 Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland
- 4 Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzzentralheizungsanlagen kleiner Leistung
- 5 Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards
- 6 Entwicklung einer Prüfmethode zur Bestimmung der Cetanzahl von Rapsölkraftstoff
- 7 Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Rapsöl als Kraftstoff und dem Motorenöl in pflanzenöлтаuglichen Motoren
- 8 Wärmegewinnung aus Biomasse – Begleitmaterialien zur Informationsveranstaltung
- 9 Maize as Energy Crop for Combustion – Agricultural Optimisation of Fuel Supply
- 10 Staubemissionen aus Holzfeuerungen – Einflussfaktoren und Bestimmungsmethoden
- 11 Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren
- 12 Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich – Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen
- 13 Getreidekörner als Brennstoff für Kleinf Feuerungen – Technische Möglichkeiten und Umwelteffekte
- 14 Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl- und Dieselkraftstoff betriebenen Traktors
- 15 Befragung von Betreibern dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen
- 16 Schnellbestimmung des Wassergehaltes im Holzsplit
- 17 Untersuchungen zum Einsatz rapsölbetriebener Traktoren beim Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Ökologischen Landbau und Tierhaltung Kringell
- 18 Miscanthus als nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse als bayerischen Forschungsarbeiten
- 19 Miscanthus: Anbau und Nutzung – Informationen für die Praxis

- 20 Prüfung der Eignung von Verfahren zur Reduktion ablagerungs- und aschebildender Elemente in Rapsölkraftstoff bei der dezentralen Erzeugung
- 21 Kleine Biomassefeuerungen – Markt Betrachtungen, Betriebsdaten, Kosten und Wirtschaftlichkeit
- 22 Partikelemissionen aus Kleinfeuerungen für Holz und Ansätze für Minderungsmaßnahmen
- 23 Bewertung kostengünstiger Staubabscheider für Einzelfeuerstätten und Zentralheizungskessel
- 24 Charakterisierung von Holzbriketts
- 25 Additivierung von Rapsölkraftstoff – Auswahl der Additive und Überprüfung der Wirksamkeit
- 26 Status quo der dezentralen Ölgewinnung – bundesweite Befragung
- 27 Entwicklung einer Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen
- 28 Sorghumhirse als nachwachsender Rohstoff – Sortenscreening und Anbauszenarien
- 29 Sorghum als Energiepflanze – Optimierung der Produktionstechnik
- 30 Ethanol aus Zuckerhirse – Gesamtkonzept zur nachhaltigen Nutzung von Zuckerhirse als Rohstoff für die Ethanolherstellung
- 31 Langzeiterfahrungen zum Einsatz von Rapsölkraftstoff in Traktoren der Abgasstufen I und II
- 32 Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufe IIIA – Prüfstanduntersuchungen und Feldeinsatz auf Betrieben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft
- 33 Betriebs- und Emissionsverhalten eines pflanzenöлтаuglichen Traktors mit Rapsöl, Sojaöl und Sonnenblumenöl
- 34 Dezentrale Ölsaatenverarbeitung 2012/2013 – eine bundesweite Befragung
- 35 Additivierung von Rapsölkraftstoff – Projektphase 2: Langzeit- und Prüfstanduntersuchungen
- 36 Nutzer- und Brennstoffeinflüsse auf Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen
- 37 Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat
- 38 Untersuchung der Praxistauglichkeit eines Elektrofilters für Kleinfeuerungsanlagen
- 39 Eignung von Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung
- 40 Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel
- 41 Qualitätssicherung bei der dezentralen Herstellung von Rapsölkraftstoff nach DIN 51605

- 42 Weiterentwicklung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe
- 43 Brennstoffqualität von Holzpellets
- 44 Herstellung und Demonstration der Praxistauglichkeit von Traktoren mit Motoren der Abgasstufe IV im Betrieb mit Pflanzenöl
- 45 ExpResBio – Methoden
- 46 Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern
- 47 Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufen I bis IIIB
- 48 Sorghum als Biogassubstrat – Präzisierung der Anbauempfehlungen für bayerische Anbaubedingungen
- 49 Zünd- und Verbrennungsverhalten alternativer Kraftstoffe
- 50 Rapsölkraftstoffproduktion in Bayern – Analyse und Bewertung ökologischer und ökonomischer Wirkungen nach der ExpResBio-Methode
- 51 Emissions- und Betriebsverhalten eines Biomethantraktors mit Zündstrahlmotor
- 52 Schnellbestimmung des Wassergehalts von Holzhackschnitzeln
- 53 Bioenergieträger mit Blühaspekt: Leguminosen-Getreide-Gemenge
- 54 Dauerkulturen – Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung
- 55 Lagerung von Holzhackschnitzeln
- 56 Holzhackschnitzel aus dem Kurzumtrieb
- 57 Optimierungspotenziale bei Kaminöfen – Emissionen, Wirkungsgrad und Wärmeverluste
- 58 Überführung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe in die Praxisreife
- 59 Regionalspezifische Treibhausgasemissionen der Rapsverarbeitung in Bayern
- 60 Langzeitmonitoring pflanzenöлтаuglicher Traktoren der Abgasstufen I bis IV
- 61 Nutzereinflüsse auf die Emissionen aus Kaminöfen
- 62 Abgasverhalten von Fahrzeugen im realen Betrieb mit alternativen Kraftstoffen – Bestimmung mit einem portablen Emissionsmesssystem (PEMS)
- 63 Rapsölkraftstoff als Energieträger für den Betrieb eines forstwirtschaftlichen Vollernters (Harvester)
- 64 Amaranth als Biogassubstrat – Selektion zur Erarbeitung praxistauglicher Amaranthlinien für bayerische Standorte
- 65 Schwierige Pelletbrennstoffe für Kleinfeuerungsanlagen – Verbrennungstechnische Optimierung durch Additivierung und Mischung
- 66 Einflussfaktoren auf die NO_x-Emissionen in Hackschnitzelheizwerken zwischen 1 und 5 Megawatt

- 67 Gärrestversuch Bayern – Prüfung der langfristigen Nachhaltigkeit der Nutzungspfade Biogas und BtL
- 68 Hanf zur stofflichen Nutzung – Stand und Entwicklungen
- 69 Grundlagenorientierte Untersuchungen zum Zünd- und Verbrennungsverhalten von Pflanzenölkraftstoff und Übertragung auf ein Motorsystem der Abgasstufe V (EVOLUM)
- 70 Effiziente Lagerungs- und Aufbereitungsverfahren für Holzhackschnitzel
- 71 Ertragsstabilität, Etablierung und Umweltparameter mehrjähriger Energiepflanzen – Dauerkulturen II
- 72 Stoffliche Nutzung von Biomasseaschen als Baustein der Bioökonomie
- 73 Agri-Photovoltaik – Stand und offene Fragen
- 74 Erweiterte Holzpelletcharakterisierung – Einfluss bekannter und neuer Brennstoffparameter auf die Emissionen aus Pelletöfen und -kesseln
- 75 Entwicklung von Umbruchstrategien für Dauerkulturflächen und Weiterführung des Gärrestdüngungsversuchs in Durchwachsener Silphie
- 76 Mineralisch verschmutzte Holzbrennstoffe – Teil 1: Auswirkungen auf die Verbrennung
- 77 Paludikulturen für Niedermoorböden in Bayern – Thermische Verwertung
- 78 Verwertung und Anbauoptimierung von Hanf als Nachwachsender Rohstoff
- 79 Realemissionen und Nutzungsgrade von kleinen automatisch beschickten Holz-Zentralheizungskesseln mittels Lastzyklus-Methode – Methodenentwicklung und Ergebnisse einer Serienprüfung
- 80 Klimafreundliche Landmaschinen im Feldtest
- 81 HVO-Diesel für Traktoren – Analyse zum Einsatz des paraffinischen Dieselmotorkraftstoffs HVO auf Staatsbetrieben
- 82 Innovative Verfahrensketten für Holzbrennstoffe mit einem Duplex-Schneckenhacker
- 83 Spritzbares Mulchmaterial im Wein- und Obstbau
- 84 Spritzbares Mulchmaterial im Gemüsebau

