

83

Berichte aus dem TFZ

Spritzbares Mulchmaterial im Wein- und Obstbau

Projektpartner:



Spritzbares Mulchmaterial im Wein- und Obstbau



Spritzbares Mulchmaterial im Wein- und Obstbau

Dr. Michael Kirchinger
Dipl.-Ing. Anja Menger
Dr. Daniel Heßdörfer
Dr. Edgar Remmele

Projektpartner:



Berichte aus dem TFZ 83

Straubing, Oktober 2023

Titel: Spritzbares Mulchmaterial im Wein- und Obstbau

**Leiter Gesamtvorhaben
und Teilprojekt TFZ:** Dr. Edgar Remmele

Leiter Teilprojekt LWG: Dr. Daniel Heßdörfer

Autoren: Dr. Michael Kirchinger, TFZ
Anja Menger, LWG
Dr. Daniel Heßdörfer, LWG
Dr. Edgar Remmele, TFZ

Mitarbeiter: Simone Fedeneder, TFZ
Josef Hafner, TFZ
Alexander Franke, TFZ
Christian Deppisch, LWG
Dr. Peter Emberger, TFZ
Philipp Schmitt, LWG
Franziska Haitzmann, LWG

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unter dem Kennzeichen G2/N/18/09 gefördert. Das Vorhaben wurde bearbeitet im Forschungsnetzwerk „ABOW“ Bayern | Österreich | Südtirol. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2023
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, Anja Menger, Dr. Edgar Remmele, Dr. Daniel Heßdörfer, Anna Grundner
Gestaltung: Dr. Michael Kirchinger, Dr. Edgar Remmele
Verlag: Eigenverlag
Erscheinungsort: Straubing
Erscheinungsjahr: 2023

Fotos: Anja Menger (LWG) (Abbildung 6, Abbildung 7, Abbildung 59 und Abbildung 60), Ewald Lardschneider (Versuchszentrum Laimburg) (Abbildung 61 und Abbildung 62), restliche TFZ

Danksagung

Beim Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten bedanken wir uns für die Finanzierung des Vorhabens. Besonderer Dank gilt Herrn Dr.-Ing. Werner Ortinger, Herrn Dr. Wolfram Schaecke und Herrn Florens Dittrich für die stets sehr gute Zusammenarbeit und das entgegengebrachte Vertrauen.

Großer Dank gebührt dem kompletten Forschungs- und Innovationsnetzwerk ABOW, insbesondere dem Koordinator Herrn Dr. Josef Rathbauer (HBLFA Francisco Josephinum BLT Wieselburg), für den konstruktiven Austausch, die zahlreichen Ideen und die guten Gespräche. Außerdem danken wir den Kolleginnen und Kollegen aus dem Netzwerk und den Verantwortlichen an den jeweiligen Versuchsstandorten Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau: Frau Annika Killer, Frau Anna Molitor, Frau Hildegard Cäsar und Herr Alexander Zimmermann, Versuchszentrum Laimburg: Herrn Ewald Lardschneider, Herrn Dr. Arno Schmid und Herr Dr. Markus Kelderer, Universität für Bodenkultur Wien: Herr Dr. Markus Redl und Frau Prof. Dr. Siegrid Steinkellner, HBLA und Bundesamt für Wein- und Obstbau: Frau Dr. Monika Riedle-Bauer und Herrn Franz G. Rosner, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH: Herrn Dr. Swen Follak, Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee: Frau Anna-Lena Haug und Dr. Konni Biegert und der HSWT Versuchsstation für Obstbau Schlachters: Herrn Johannes Werth und Prof. Dr. Dominikus Kitemann.

Die Autoren

Abstract (deutsch)

Beikrautmanagement ist eine übliche Praxis in den Dauerkulturen Obst- und Weinbau. Beikräuter benötigen ebenso wie die Nutzpflanzen Nährstoffe und Wasser. Je stärker der Beikrautbewuchs ist, desto mehr Wachstumsfaktoren können den Kulturpflanzen fehlen. Üblicherweise werden Herbizide eingesetzt, um diese Konkurrenz zu verringern. Allerdings verlieren jedes Jahr mehr chemische Herbizide ihre Zulassung im Obst- und Weinbau, sodass der Bedarf nach Alternativen stetig steigt. Aus diesem Grund wurde in diesem Vorhaben ein neues Verfahren mit einem spritzbaren Mulchmaterial auf Basis nachwachsender Rohstoffe entwickelt, das eine alternative Möglichkeit des Beikrautmanagement bietet. Das Mulchmaterial wurde als Zwei-Komponenten-Gemisch entwickelt, das flüssig ausgebracht werden kann, beim Vermischen der beiden Komponenten aber schnell fest wird. Mit einem eigens für das Vorhaben entwickelten Prototyp kann das Mulchmaterial im Unterstockbereich aufgespritzt werden.

Feldversuche in verschiedenen Boden-Klima-Räumen und Jahren konnten erste Rückschlüsse auf die Wirksamkeit des Mulchmaterials geben. In den meisten Versuchen war die Beikraut regulierende Wirkung vergleichbar mit einer mehrmaligen Anwendung von Glyphosat oder einer mechanischen Bearbeitung. Zudem konnte in den Versuchen festgestellt werden, dass das Mulchmaterial einen Verdunstungsschutz bietet. Damit eignet sich das Verfahren besonders gut in trocknen Regionen. Zusätzlich wurde der Abbau des Mulchmaterials in Anlehnung an die DIN Norm 17556 untersucht. Unter Laborbedingungen war nach 50 Tagen bereits 25 % des Materials in CO₂ umgesetzt worden.

Alle verwendeten Inhaltsstoffe sind laut Einordnung nach REACH unbedenklich für Mensch und Umwelt. Laut Einschätzung des Bundesamts für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit ist das Mulchverfahren nicht als Pflanzenschutzmittel nach der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 einzuordnen. Damit könnte das Verfahren auch im Ökolandbau verwendet werden.

Die grundsätzliche Machbarkeit des Verfahrens konnte im Projekt gezeigt werden. Weitere Untersuchungen zum optimalen Applikationszeitpunkt und der Schichtdicke sollten noch durchgeführt werden. Für eine praxistaugliche Anwendung sollte auch die Ausbringtechnik verbessert und vereinfacht werden.

Abstract (englisch)

Weed management is a common practice in orchards and vineyards. Weeds need nutrients and water just like crops. The more weeds are present, the more important growth factors may be missing for the crop plants. Herbicides are commonly used to reduce weed growth. However, every year more and more chemical herbicides are losing their approval for use in orchards and vineyards, so the need for alternatives is steadily increasing. For this reason, a new method with a sprayable mulch material based on renewable resources was developed in this project, which offers an alternative possibility for weed management. The mulch material was developed as a two-component mixture that can be applied in liquid form but solidifies quickly when the two components are mixed. With a prototype developed specifically for the project, the mulch material can be sprayed on the rootstock area.

Field trials in different soils and climates and in different years have provided preliminary indications of the effectiveness of the mulch material. In most of the trials, the weed regulating effect was comparable to a repeated application of glyphosate or mechanical treatment. In addition, the trials showed that the mulch material provides protection against evaporation. This makes the method particularly suitable for dry regions. In addition, the degradation of the mulch material was investigated in accordance with DIN norm 17556. In laboratory trials, 25 % of the material had already been converted into CO₂ after 50 days.

According to REACH, all ingredients used are harmless to humans and the environment. According to the assessment of the Federal Office of Consumer Protection and Food Safety, the mulching process is not to be classified as a plant protection product according to regulation (EC) No. 1107/2009. This means that the process could also be used in organic farming.

Proof of principal of the method could be demonstrated in the project. Further investigations on the most suitable time of application and the layer thickness should still be carried out. For a practical application, the application technique should also be improved and simplified.

Inhaltsverzeichnis

Abstract (deutsch)	9
Abstract (englisch)	10
Abbildungsverzeichnis	13
Tabellenverzeichnis	19
Abkürzungsverzeichnis	21
1 Einführung und Problemstellung	23
2 Zielsetzung	25
3 Stand des Wissens	27
3.1 Natürliche Substanzen	27
3.1.1 Pflanzliche Öle	27
3.1.2 Essigsäure	28
3.1.3 Pelargonsäure	28
3.2 Chemisches Herbizid Glyphosat	29
3.3 Biozementierung	29
3.4 Aufspritzbare Materialien	30
3.4.1 Spritzbare Silageabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen	31
3.4.2 Chemische Grundlagen des Polymerisationsprozesses	35
4 Material und Methodik	37
4.1 Entwicklung von Rezepturen für ein spritzbares Mulchmaterial	37
4.1.1 Schrumpfung	38
4.1.2 Quellverhalten.....	38
4.1.3 Hitzebeständigkeit.....	38
4.1.4 Resistenz gegenüber Schimmelbildung	39
4.1.5 Rheologische Materialuntersuchungen	39
4.1.6 Einfluss der Witterung	39
4.1.7 Versuche zur Abbaubarkeit des Mulchmaterials	39
4.1.8 Rückstandsanalytik Pflanzenöl im Boden	41
4.2 Experimente im Gewächshaus	42
4.2.1 Keimtests	42
4.2.2 Vortests mit Vorzugsrezepturen	42
4.3 Entwicklung einer Applikationstechnik	44
4.3.1 Konzeption einer linearen Vorschubeinheit.....	44
4.3.2 Aufbau und Optimierung des Applikationssystems	45
4.3.3 Bestimmung der Durchflussmenge	46
4.3.4 Düsentests.....	46

4.4	Feldversuche	47
4.4.1	Versuchsflächen.....	48
4.4.1.1	LWG Veitshöchheim Weinbau.....	48
4.4.1.2	Kompetenzzentrum für Obstbau Bodensee Bavendorf	48
4.4.1.3	LWG Veitshöchheim Obstbau	48
4.4.1.4	Versuchsgut Götzhof – Langenzersdorf – Weinanlage (Österreich).....	48
4.4.1.5	Versuchsgut Haschhof – Kierling – Obstanlage (Österreich).....	48
4.4.1.6	Laimburg (Südtirol).....	49
4.4.2	Wetterdaten am Standort Veitshöchheim	49
4.4.3	Versuchsaufbau am Standort Veitshöchheim Weinbau.....	50
4.4.4	Versuchsvarianten am Standort LWG Veitshöchheim Weinbau	50
4.4.5	Technische Parameter der Versuche mit dem spritzbaren Mulchmaterial	54
4.4.6	Bodenbedeckungsgrad der Beikrautvegetation	56
4.4.7	Einfluss auf die Beikrautarten und die Beikrauttrockenmasse	58
4.4.8	Einfluss auf das Rebenwachstum	58
4.4.8.1	Blattflächenindex (LAI, Leaf Area Index)	58
4.4.8.2	Einfluss auf den Reifeverlauf der Trauben und den Ertrag	59
4.4.9	Abschätzung der Bodenaktivität durch die Tea-Bag-Index-Methode	60
4.4.10	Beeinflussung des Wasserhaushalts durch das Mulchmaterial	60
4.4.10.1	Messung der volumetrischen Bodenfeuchte bei Versuchen am TFZ-Standort Straubing.....	60
4.4.10.2	Messung der volumetrischen Bodenfeuchte am Standort der LWG Veitshöchheim.....	61
4.4.10.3	Messung der gesättigten Wasserleitfähigkeit des Bodens am Standort der LWG Veitshöchheim.....	62
5	Ergebnisse und Diskussion	63
5.1	Ökologisch unbedenkliche Substanzen.....	63
5.1.1	Biomasse und Beikrautarten natürliche Substanzen 2021 und 2022.....	63
5.1.2	Ertragsanalysen	65
5.1.3	Blattflächenindex (LAI)	66
5.2	Alternatives Mulchverfahren auf Basis Nachwachsender Rohstoffe.....	68
5.2.1	Rezepturenentwicklung	68
5.2.1.1	Optimierung des Bindemittels.....	68
5.2.1.2	Optimierung des Geliermittels	70
5.2.1.3	Optimierung der Füllstoffe	72
5.2.1.4	Optimierung des Konservierungsmittels	74
5.2.1.5	Optimierung des Gelierhilfsmittels	75
5.2.2	Analyse von Prüfkörpern im Labormaßstab	77
5.2.2.1	Schrumpfverhalten	77
5.2.2.2	Quellungsverhalten	80
5.2.2.3	Temperaturbeständigkeit.....	81
5.2.2.4	Einfluss der Witterung	82
5.2.2.5	Rheologische Materialeigenschaften.....	84
5.2.2.6	Bestimmung der Gelierzeit	85
5.2.2.7	Versuche zur Abbaubarkeit des Mulchmaterials.....	86
5.2.2.8	Rückstandsanalytik Pflanzenöl im Boden.....	89
5.2.3	Praxisnahe Versuche im Gewächshaus	91
5.2.3.1	Auswahl der Beikräuter und Bestimmung der Keimfähigkeit	91
5.2.3.2	Spritzversuche im Gewächshaus auf Aussaatkisten	92
5.2.4	Entwicklung der Applikationstechnik	94

5.2.4.1	Entwicklung einer linearen Vorschubeinheit.....	94
5.2.4.2	Entwicklung des Applikationssystems SAM	95
5.2.4.3	Anmischen der Komponenten bei Feldversuchen.....	99
5.2.4.4	Entwicklung der Applikationsmethode „Vermischen im Sprühstrahl“	100
5.2.4.5	Höhenanpassung des Düsensystems an den Boden.....	106
5.2.4.6	Abschließendes Fazit.....	107
5.2.5	Ergebnisse der Praxisversuche	108
5.2.5.1	Wetterdaten	108
5.2.5.2	Beikraut regulierende Wirkung des spritzbaren Mulchmaterials.....	109
5.2.5.3	Einfluss der Schichtdicke auf die Wirksamkeit des Mulchmaterials.....	111
5.2.5.4	Dichte der häufigsten vorkommenden Beikrautarten	114
5.2.5.5	Einfluss des Applikationszeitpunkts auf die Wirksamkeit des Mulchmaterials	120
5.2.5.6	Einfluss der Witterung auf die Wirksamkeit des Mulchmaterials	122
5.2.5.7	Einfluss der Bodenbeschaffenheit auf die Wirksamkeit des Mulchmaterials ..	125
5.2.5.8	Weiterführende Untersuchungen	129
5.2.5.8.1	Beeinflussung des Wasserhaushalts durch das Mulchmaterial.....	129
5.2.5.8.2	Messung der gesättigten Wasserleitfähigkeit.....	133
5.2.5.8.3	Einfluss des Mulchmaterials auf das Bodenleben mittels Tea-Bag-Methode .	134
5.2.5.8.4	Erntedaten	136
5.2.5.8.5	Blattflächenindex (LAI).....	137
5.2.5.8.6	Einfluss auf den Reifeverlauf der Trauben und Ertrag	138
5.2.5.8.7	Junganlagen	138
5.2.6	Kostenkalkulation.....	141
5.2.7	Mögliche Wirkungsweise und rechtliche Einordnung des Mulchmaterials.....	144
5.3	Fazit zur Eignung ökologisch unbedenklicher Substanzen und des innovativen spritzbaren Mulchverfahrens zum Beikrautmanagement	145
Zusammenfassung	147	
Quellenverzeichnis	149	
Anhang	157	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Praxistest der aufspritzbaren Silageabdeckung.....	35
Abbildung 2:	Schematischer Aufbau des Abbaubarkeitsversuchs nach DIN EN ISO 17556:2019-09	40
Abbildung 3:	Aufbau des Abbaubarkeitsversuchs mit drei Nullprobenkolben (links), drei Probenkolben (Mitte) und drei Referenzkolben (rechts)	41
Abbildung 4:	Aussaatkisten mit Beikräutern vor und nach Applikation mit dem Mulchmaterial.....	43
Abbildung 5:	Bestimmung des Spritzwinkels für die Komponenten A und B mit unterschiedlichen Düsentypen	47
Abbildung 6:	Beispiel Vegetationsaufnahme und binäres Format der Vegetationsaufnahme nach Berechnung des Bodenbedeckungsgrads, weiße Bereiche entsprechen dem Bereich der gezählten grünen Pixel.....	57
Abbildung 7:	Links: Schematische Darstellung des Boniturrahmens zur Ermittlung des Bodenbedeckungsgrads der Beikrautvegetation im Unterstockbereich der Rebe. Rechts: Schematische Darstellung der LAI-Messung mit der VitiCanopy-App; A: Darstellung der Tablet-Platzierung unterhalb der Reblaubwand; B: Fotografie der Laubwand; C: binäres Format der Fotografie B zur Berechnung des LAI	57
Abbildung 8:	Platzieren der Sensoren zur Bestimmung der volumetrischen Bodenfeuchte in einer Tiefe von 15 cm bzw. 30 cm im Boden	61
Abbildung 9:	Mittlere Trockenmasse (MW \pm SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat sowie der natürlichen Substanzen Rapsöl, Essigsäure und Pelargonsäure in den Versuchsjahren 2021 und 2022.....	64
Abbildung 10:	Anzahl an Beikrautarten pro Quadratmeter (MW \pm SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung und Herbizidanwendung sowie der natürlichen Substanzen Rapsöl, Essigsäure und Pelargonsäure	65
Abbildung 11:	Mittlerer Traubenertrag (MW \pm SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$ [2021] und $n = 32$ [2022]) im Versuchsjahr 2021 der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Herbizidanwendung sowie der natürlichen Substanzen Rapsöl, Essigsäure, Pelargonsäure und Biozement.....	66
Abbildung 12:	Blattflächenindex (LAI) (MW \pm SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$) in den Versuchsjahren 2020, 2021 und 2022 der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Herbizidbehandlung sowie der natürlichen Substanzen Rapsöl, Essigsäure und Pelargonsäure	67

Abbildung 13: Prüfkörper mit unterschiedlichen Bindemitteln (von links nach rechts: Latex mit Alginat, Latex mit Pektin, Chitosan, Stärke)	68
Abbildung 14: Rezeptur mit Chitosan und Xanthan als Bindemittel (R66)	69
Abbildung 15: Rezeptur auf Stärkebasis mit Xanthan als Geliermittel (R42) – deutlich sichtbare Phasentrennung.....	70
Abbildung 16: Rezeptur auf Stärkebasis mit Pektin als Geliermittel (R104b).....	71
Abbildung 17: Zu schnell gelierende Mischung aufgrund zu großer Natriumalginat-Menge (R100).....	72
Abbildung 18: Rezeptur mit Sägemehl als Füllstoff (R109g)	74
Abbildung 19: Vergleich der Anfälligkeit für Schimmelbefall der Probekörper der Rezepturen R114k (links) und R11f (rechts).....	75
Abbildung 20: Rezeptur mit Calciumacetat als Gelierhilfsstoff (R127g).....	76
Abbildung 21: Rezeptur R50d mit Calciumchlorid als Gelierhilfsstoff	77
Abbildung 22: Relative Änderung des Durchmessers in Prozent der Prüfkörper der Rezepturen mit Stärke-Ersatzstoffen (R83k, R145, R146 und R147), der Rezeptur ohne Sorbitol R11f, der Rezeptur mit Sägemehl als Füllstoff R109g, der Rezeptur mit Calciumchlorid R50p sowie der Vorzugsrezeptur der Praxisversuche R114k bei Umgebungstemperatur in Abhängigkeit der Zeit (Mittelwerte einer Dreifachbestimmung).....	78
Abbildung 23: Vergleich zweier Rezepturen in einem praxisnahen Test zum Schrumpfungsverhalten (R114k links, R11f rechts).....	79
Abbildung 24: Keimung einer Pflanze durch einen Riss im Mulchmaterial	80
Abbildung 25: Relative Masseänderung in Prozent ausgewählter Rezepturvarianten nach Lagerung in Wasser in Abhängigkeit der Zeit.....	81
Abbildung 26: Relative Masseänderung in Prozent ausgewählter Rezepturvarianten nach Lagerung bei 60 °C über einen bis sieben Tage	82
Abbildung 27: Prüfkörper auf dem Außenbewitterungsstand nach ca. drei Monaten....	83
Abbildung 28: Dynamische Viskosität der Einzelkomponenten ausgewählter Rezepturen in Abhängigkeit der Temperatur I (A: ölige Komponente, B: wässrige Komponente).....	84
Abbildung 29: Dynamische Viskosität der Einzelkomponenten ausgewählter Rezepturen in Abhängigkeit der Temperatur II (A: ölige Komponente, B: wässrige Komponente).....	85
Abbildung 30: Speichermodul G' und Verlustmodul G'' sowie Gelierzeiten der Rezepturen R114k und R83k (der Pfeil kennzeichnet die Gelierzeit der jeweiligen Rezeptur)	86
Abbildung 31: Freigesetzte Menge Kohlenstoffdioxid aufsummiert über drei Monate aus dem Abbau von Mulchmaterial und Cellulosefasern (Referenz).....	88

Abbildung 32:	Freigesetzte Menge Kohlenstoffdioxid aufsummiert über 50 Tage aus dem Abbau von Mulchmaterial und Stärke (Referenz)	89
Abbildung 33:	GC-Messung einer Probe mit zugesetzten 5 mg Rapsöl – Peak der methylierten Ölsäure bei 12,5 min	90
Abbildung 34:	GC-Messung einer Bodenprobe, entnommen unter einer mit Mulchmaterial abgedeckten Fläche	91
Abbildung 35:	GC-Messung einer Bodenprobe, entnommen unter einer nicht mit Mulchmaterial abgedeckten Fläche	91
Abbildung 36:	Anzahl durchgewachsener Beikräuter je Saatkiste nach Behandlung mit Mulchmaterial der Rezepturen R88a, R105d und R114k in Abhängigkeit vom Wuchsstadium bei der Behandlung (n = 4)	93
Abbildung 37:	Vergleich der Oberflächenbeschaffenheit und Schrumpfung der Mulchmaterialien der drei Rezepturen R88a (links), R105d (Mitte) und R114k (rechts) drei Wochen nach der Applikation im Gewächshaus	93
Abbildung 38:	Beikraut unterdrückende Wirkung der Rezeptur R114k im zeitlichen Verlauf – unbehandelte Beikräuter ca. vier Wochen nach der Aussaat (Bild links), direkt nach der Applikation (Mitte) und drei Wochen nach der Applikation (rechts)	94
Abbildung 39:	Lineare Vorschubeinheit zum Transport von Aussaatkisten im Rahmen der Gewächshausversuche.....	95
Abbildung 40:	System für die Applikation von Mulchmaterial (SAM) – Stand 2022	97
Abbildung 41:	Anmischen der ölhaltigen Komponente mit einem Handrührgerät.....	100
Abbildung 42:	Statikmischer mit Mischkammer und zwei Anschlüssen für die Komponenten A und B sowie Druckluftanschluss zur Reinigung des Systems	101
Abbildung 43:	Versuchsaufbau für das Vermischen im Sprühstrahl mit Flachstrahldüsen	104
Abbildung 44:	Agrardüse mit markierter Durchflussrichtung des Mulchmaterials	105
Abbildung 45:	Seitenansicht des Applikationsgeräts SAM mit einer in vertikaler Richtung auslenkbaren Stütze mit Gleitschuh, an dem Statikmischer und Düsen befestigt sind	106
Abbildung 46:	Ausbringen des Mulchmaterials mit zwei Düsensystemen im Zwischenachsenanbau des Schmalspurschleppers	107
Abbildung 47:	Monatliche Niederschlagssummen und Monatsmitteltemperatur in den Versuchsjahren 2020, 2021 und 2022 im Versuchsfeld Thüngersheimer Ravensburg im Vergleich zum langjährigen Mittel (1981–2010, Stand vom 06.06.2019, Deutscher Wetterdienst, Wetterstation addVANTAGE Pro 6.6).....	108
Abbildung 48:	Bodenbedeckungsgrad (MW + SEM, n = 4) einer Apfel-Ertragsanlage in Laimburg (Südtirol) im Jahr 2022	110
Abbildung 49:	Bodenbedeckungsgrad (MW + SEM, n = 4) im Unterstockbereich einer Rebanlage am Götzhof (Österreich) 2022 – die Pfeile	

	kennzeichnen jeweils den Zeitpunkt der Applikation mit dem Mulchmaterial (einmalig), dem Herbizid (dreimal) und der mechanischen Bodenbearbeitung (dreimal)	111
Abbildung 50:	Trockenmasse der Beikräuter (MW ± SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat und der Mulchmaterialvarianten (frühe bzw. späte Applikation sowie 2,5 mm und 5 mm) in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg	113
Abbildung 51:	Anzahl der Beikrautarten pro Quadratmeter (MW ± SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey, $p < 0,05$, $n = 16$) der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat und der Mulchmaterialvarianten (frühe bzw. späte Applikation sowie 2,5 mm und 5 mm) in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg	114
Abbildung 52:	Anzahl an Pfeilkresse-Pflanzen pro Quadratmeter (MW ± SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) in den Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat und den Mulchmaterialvarianten (frühe bzw. späte Applikation sowie 2,5 mm und 5 mm) in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg	115
Abbildung 53:	Anzahl an Klettenkerbel-Pflanzen pro Quadratmeter (MW ± SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) in den Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat und den Mulchmaterialvarianten (frühe bzw. späte Applikation sowie 2,5 mm und 5 mm) in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg	117
Abbildung 54:	Anzahl Gräser pro Quadratmeter (MW ± SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) in den Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat und den Mulchmaterialvarianten (frühe bzw. späte Applikation sowie 2,5 mm und 5 mm) in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg	118
Abbildung 55:	Anzahl Ackerkratzdisteln pro Quadratmeter (MW ± SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) in den Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat und den Mulchmaterialvarianten (frühe bzw. späte Applikation sowie 2,5 mm und 5 mm) in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg	119
Abbildung 56:	Anzahl Amarant-Pflanzen pro Quadratmeter (MW ± SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) in den Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat und den Mulchmaterialvarianten (frühe bzw. späte Applikation sowie 2,5 mm und 5 mm) in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg	120
Abbildung 57:	Bodenbedeckungsgrad (MW ± SEM, $n = 4$) der unbehandelten Kontrolle und der Mulchmaterialvariante einer Apfelbestandsanlage am Standort Thüngersheim – niederschlagreiches Jahr 2021	122

Abbildung 58:	Bodenbedeckungsgrad der unbehandelten Kontrolle und der Mulchmaterialvariante (MW \pm SEM, n = 4) einer Apfelbestandsanlage am Standort Thüngersheim – niederschlagarmes Jahr 2022	123
Abbildung 59:	Boniturbilder eines Streifens der Mulchmaterialvariante an derselben Boniturstelle in den Monaten April, Mai und Juli im Versuchsjahr – niederschlagreiches Jahr 2021	124
Abbildung 60:	Boniturbilder eines Streifens der Mulchmaterialvariante in den Monaten April, Mai und Juli im Versuchsjahr – niederschlagarmes Jahr 2022	124
Abbildung 61:	Vergleich der beiden Varianten mit unbehandeltem Unterstockbereich (links) und gebürstetem Unterstockbereich (rechts) am Versuchsstandort Laimburg nach der Applikation	125
Abbildung 62:	Boniturbilder der Variante mit unbehandeltem Untergrund, drei Wochen nach der Applikation am Versuchsstandort Laimburg	126
Abbildung 63:	Bodenbedeckungsgrad (MW \pm SEM, n = 4) der Varianten am Standort Laimburg im Weinbau im Jahr 2022	127
Abbildung 64:	Vergleich der Bodenbeschaffenheit des Unterstockbereichs am Versuchsstandort KOB 2021 vor der Applikation: feinkrümelig (links) und fester Untergrund (rechts)	128
Abbildung 65:	Vergleich des Spritzbilds auf zwei unterschiedlich vorbereiteten Bodenuntergründen (links: feinkrümelig, rechts: fester Untergrund) am KOB 2021	128
Abbildung 66:	Schematische Darstellung der Mulchmaterialschiicht auf ebenem Untergrund	129
Abbildung 67:	Schematische Darstellung der Mulchmaterialschiicht auf unebenem Untergrund mit Steinen	129
Abbildung 68:	Volumetrischer Wassergehalt in der Tiefe von 15 cm (MW, n = 3) und Niederschlagsmenge (Wetterstation des TFZ in Straubing)	130
Abbildung 69:	Volumetrischer Wassergehalt in der Tiefe von 30 cm (MW, n = 3) und Niederschlagsmenge (Wetterstation des TFZ in Straubing)	131
Abbildung 70:	Vergleich des Wassergehalts bei Nullvariante, mechanischer Behandlung und Mulchmaterial 5 mm (MW \pm SEM, n = 8) am Versuchsstandort Thüngersheimer Ravensburg	132
Abbildung 71:	Gesättigte Leitfähigkeit (MW + SD, n = 4) der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung und Mulchmaterial spät 5 mm am LWG-Standort Thüngersheimer Ravensburg	134
Abbildung 72:	Zersetzungsrate k und Stabilitätsfaktor S (MW \pm SEM, n = 8) der Varianten Mulchmaterial, mechanische Behandlung, Herbizideinsatz und Nullvariante in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am LWG-Standort Thüngersheimer Ravensburg	135
Abbildung 73:	Mittlerer Traubenertrag (MW \pm SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; p < 0,05, n = 4 [2021] und n = 32 [2022]) der Versuchsjahre 2021 und 2022 der Varianten Nullvariante,	

	mechanische Bodenbearbeitung, Herbizidvariante sowie der Mulchmaterialvarianten 2,5 mm früh, 5 mm früh und 5 mm spät	137
Abbildung 74:	Blattflächenindex (LAI) (MW ± SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$) der Versuchsjahre 2021 und 2022 der Referenzvarianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung und Herbizidvariante sowie der Varianten Mulchmaterial früh 2,5 mm, Mulchmaterial früh 5 mm und Mulchmaterial spät 5 mm.....	138
Abbildung 75:	Bodenbedeckungsgrad (MW ± SEM, $n = 4$) des Versuchs in Apfel-Junganlage in Laimburg 2022 – die Pfeile kennzeichnen den Zeitpunkt der mechanischen Bodenbearbeitung bzw. des Herbizideinsatzes	139
Abbildung 76:	Triebgrößenzuwachs (MW ± SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$) der Junganlagen im Weinbau.....	140
Abbildung 77:	Ergebnisse der Messung des Stammzuwachses (MW ± SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$) der Apfel-Jungbäume.....	141
Abbildung 78:	Bodenbedeckungsgrad der unbehandelten Kontrolle und der Mulchmaterialvariante (MW ± STD, $n = 3$) am Standort Straubing 2020	159
Abbildung 79:	Bodenbedeckungsgrad der unbehandelten Kontrolle und der Mulchmaterialvariante (MW ± SEM, $n = 4$) am Standort Straubing 2021	160
Abbildung 80:	Bodenbedeckungsgrad (MW ± SEM, $n = 4$) der Herbizidvariante und der Mulchmaterialvariante einer Apfelanlage am HSWT-Standort Schlachters 2021.....	161
Abbildung 81:	Bodenbedeckungsgrad (MW ± SEM, $n = 4$) der Herbizidvariante und der Mulchmaterialvariante einer Apfelanlage am HSWT-Standort Schlachters 2022.....	162
Abbildung 82:	Bodenbedeckungsgrad (MW ± SEM, $n = 4$) der Nullvariante und der Mulchmaterialvariante einer Apfelanlage am LWG-Standort Thüngersheim 2021.....	163
Abbildung 83:	Bodenbedeckungsgrad (MW ± SEM, $n = 4$) der Herbizidvariante und der Mulchmaterialvariante einer Apfelanlage am KOB-Standort Bavendorf 2021	164
Abbildung 84:	Bodenbedeckungsgrad (MW ± SEM, $n = 4$) der Herbizidvariante und der Mulchmaterialvariante einer Apfelanlage am KOB-Standort Bavendorf 2022	165
Abbildung 85:	Bodenbedeckungsgrad (MW ± STD, $n = 4$) der Nullvariante, mechanischen Bodenbearbeitung und der Mulchmaterialvariante einer Zwetschgenanlage am Standort Haschhof in Österreich 2022 ...	166
Abbildung 86:	Bodenbedeckungsgrad (MW ± SEM, $n = 4$) der unbehandelten Kontrolle, mechanischen Bodenbearbeitung, Herbizidvariante und der Mulchmaterialvariante am Standort Laimburg in einer Weinjunganlage 2022	167

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammensetzung des Zwei-Komponenten-Gemischs der aufspritzbaren Silageabdeckung	32
Tabelle 2:	Materialeigenschaften der aufspritzbaren Silageabdeckung	33
Tabelle 3:	Physikalische Eigenschaften der Vorzugsrezeptur der aufspritzbaren Silageabdeckung.....	34
Tabelle 4:	Zusammensetzung der Rezepturen R88a, R105d und R114k	44
Tabelle 5:	Witterungskenngrößen der im Versuchsfeld angebrachten Wetterstation	49
Tabelle 6:	Überblick der Versuchsvarianten von 2019 bis 2022.....	50
Tabelle 7:	Termine der mechanischen Bodenbearbeitung und der Applikation von Glyphosat	51
Tabelle 8:	Behandlungstermine der natürlichen Substanzen Rapsöl, Essigsäure und Pelargonsäure 2019 bis 2022.....	53
Tabelle 9:	Zusammensetzung der verwendeten Rezeptur R114k bei den Feldversuchen.....	55
Tabelle 10:	Boniturtermine Beikrautrockenmasse und Beikrautarten 2021 und 2022	58
Tabelle 11:	Auflistung der einzelnen Bauteile des Applikationsgeräts SAM.....	98
Tabelle 12:	Resultierende Spritzwinkel, Drücke und Durchflussmengen für unterschiedliche Düsengeometrien und Querschnitte bei vorgegebenen Pumpendrehzahlen der Komponente A (Ölphase)	102
Tabelle 13:	Resultierende Spritzwinkel, Drücke und Durchflussmengen für unterschiedliche Düsengeometrien und Querschnitte bei vorgegebenen Pumpendrehzahlen der Komponente B (Wasserphase).....	103
Tabelle 14:	Kostenkalkulation einer mechanischen Bodenbearbeitung mit dem Flachschar – dreimalige Behandlung im Jahr.....	142
Tabelle 15:	Kostenkalkulation einer Behandlung mit dem spritzbaren Mulchmaterial – eine Anwendung im Jahr.....	143
Tabelle 16:	Kostenkalkulation einer Behandlung mit Pelargonsäure – viermaligen Anwendung im Jahr.....	143
Tabelle 17:	Übersicht aller Beikräuter in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg.....	168
Tabelle 18:	Übersicht des Beerengewichts (g/100 Beeren) und der Analysewerte Mostgewicht (°Oechsle), Gesamtsäure (g/l) und pH-Wert aus der Saftprobe gewonnen aus 100 Beeren (n = 4, Signifikanztest nach Holm-Sidak: n. s. = nicht signifikant, * = < 0,05, ** = < 0,01, *** = < 0,001).....	170

Tabelle 19	Beerengewicht, Mostgewicht, Gesamtsäure und pH-Wert (MW \pm ST, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$) aus der Saftprobe, gewonnen aus 100 Beeren.....	173
Tabelle 20:	Mostgewicht, Gesamtsäure und pH-Wert (MW \pm SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$) aus der Saftprobe bei einer einmaligen Entnahme im Jahr 2022.....	181

Abkürzungsverzeichnis

MW	Mittelwert
ST	Standardabweichung
SEM	Standardfehler
LAI	Blattflächenindex (Leaf Area Index)
s	Sekunde
min	Minute
h	Stunde
d	Tag
m	Meter
mm	Millimeter
l	Liter
ha	Hektar
kg	Kilogramm
SAM	System zur Applikation von Mulchmaterial
GC	Gaschromatografie

1 Einführung und Problemstellung

Das Totalherbizid Glyphosat ist das weltweit am meisten verbreitete Herbizid. Es ist in über 750 Produkten zur Beikrautregulierung enthalten. Die Anwendungen von Glyphosat sind sehr vielfältig, daher wird es in Landwirtschaft, Forstwesen, Kommunen und auch privaten Gärten verwendet [29]. Seit einigen Jahren besteht allerdings der begründete Verdacht, dass diese Verbindung kanzerogen wirkt. In einem Bericht der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) von 2015 wird davor gewarnt, dass Glyphosat wahrscheinlich krebserregend für den Menschen sei [29]. Dies wurde im selben Jahr von SAMSEL et al. [57] unter Berücksichtigung früherer Studien von Monsanto bestätigt. Die Gefahr bei Glyphosat besteht demnach neben den direkten Erbsubstanz-Schädigungen in Störungen des Stoffwechsels, die zu Tumorbildungen führen können. Untermuert werden diese Studien von Auswertungen von Patienten, die durch Feldarbeiten in Lateinamerika permanent einer großen Glyphosatbelastung ausgesetzt waren. Bei diesen Menschen wurden gehäuft Störungen der Darmflora, Tumorbildungen und Erbgutschäden diagnostiziert [76]. Verantwortlich hierfür soll neben Glyphosat auch das Abbauprodukt Aminomethylphosphonsäure (AMPA) sein, das sich ähnlich wie Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) im Organismus akkumuliert [75]. Neben den Schäden für Menschen zeigt Glyphosat auch schädigende Wirkung bei Honigbienen. Diese Wirkung entsteht zum einen beim direkten Kontakt beim Versprühen [9] als auch in Kombination mit Insektiziden der Klasse Neonicotinoide, die oft zeitgleich ausgebracht werden [27].

Aufgrund der Gesundheitsgefahren steht das Totalherbizid immer deutlicher in der Kritik. Die Gesellschaft akzeptiert nicht länger den Einsatz dieses Herbizids, da neben der Gefahr bei der Anwendung auch eine Kontamination der Lebensmittel und dadurch eine Gefährdung der Konsumenten möglich ist. Ganz besonders bei der Herstellung von Premiumprodukten wie Wein sinkt die Bereitschaft der Kunden, Produkte von mit Glyphosat behandelten Flächen zu kaufen. Im Weinbau wird deshalb eine Alternative zu Glyphosat gesucht, die in vielen Regionen einsetzbar ist. Die naheliegendste Alternative wäre die mechanische Beikrautregulierung, die allerdings in Steilhängen aufgrund der Maschinengröße und der Erosionsgefahr oft nicht praktikabel ist.

Beikrautregulierung im Unterstockbereich

Die Beikrautregulierung im Unterstockbereich ist eine wichtige weinbauliche Maßnahme zur Sicherstellung guter Erträge und der Traubenqualität und zur optimalen Entwicklung von Reben in Junganlagen. Die Beikrautvegetation beeinflusst durch Konkurrenzwirkung um Wasser, Licht und Nährstoffe das Triebwachstum, die Ertragsleistung und die Traubenqualität negativ. Vor allem Jungreben reagieren in den ersten Jahren sehr empfindlich auf Konkurrenz. Sie entwickeln sich langsamer und benötigen länger bis zum Ertragseintritt. Das Beikrautbekämpfungsmittel Glyphosat hat im konventionellen Weinbau eine große Verbreitung. Die Bundesregierung verbietet den Wirkstoff Glyphosat ab Ende 2023. Bisher ist keine vergleichbare Alternative verfügbar, die über eine ähnlich breite Wirkung gegenüber Beikräutern verfügt. Folglich wird der Weinbau ohne Herbizideinsatz zu einem dringlichen Thema in der Agrarforschung. Während auf Rebflächen in Flachlagen eine mechanische Bearbeitung des Unterstockbereichs nach dem heutigen Stand der Technik

gut durchführbar ist, ist der Verzicht auf Herbizide in Steillagen mit einem großen Mehraufwand verbunden. Eine höhere Anzahl von Arbeitsgängen ist nötig, die zu höheren Kosten, Bodenverdichtungen, erheblicher Erosionsgefahr und Schäden an den Reben führen können. In nicht direkt zugänglichen Terrassenanlagen lassen sich zudem mechanische Verfahren technisch nur schwierig oder gar nicht realisieren. Zu Problemen führt in der Praxis auch die Umsetzung thermischer Bekämpfungsmaßnahmen oder das Befestigen von Mulchfolien zum Abdecken des Bodens.

Es besteht daher die Notwendigkeit, neue Alternativen zu dem Wirkstoff Glyphosat im Beikrautmanagement zu finden, die den heutigen ökologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Anforderungen gerecht werden und für den Weinbau, insbesondere für Rebflächen in Steillagen, praktikabel sind.

2 Zielsetzung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen natürliche Wirkstoffe auf ihre Eignung zur Unkrautkontrolle getestet werden. Das Forschungsvorhaben soll in enger Kooperation zwischen Technologie- und Förderzentrum sowie Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau und in Zusammenarbeit mit weiteren Forschungspartnern aus Südtirol und Österreich durchgeführt werden, um zum Beispiel unterschiedliche Einflüsse der variierenden Boden- und Klimaräume, aber auch der Anbauverfahren abzudecken. In einem Netzwerk von Forschungseinrichtungen aus Bayern, Österreich und Südtirol sollen neue Erkenntnisse diskutiert und die Technologie eines umweltschonenden Beikrautmanagements fortentwickelt werden. Ziel ist es, eine Variante zu finden, die möglichst lange und nachhaltig eine Beikraut unterdrückende Wirkung hat, um möglichst wenig Regulierungsmaßnahmen während der Vegetationsperiode im Unterstockbereich durchführen zu müssen. In Steillagen ist das wichtig, da jede zusätzliche Bodenbearbeitung erhöhte Erosionsgefahr hervorrufen kann. Die zu untersuchenden natürlichen Wirkstoffe sollen mit einer betriebsüblichen Herbizidanwendung und einer unbehandelten Kontrollvariante verglichen werden. Außerdem soll ein aufspritzbares Mulchmaterial auf Basis nachwachsender Rohstoffe entwickelt und erprobt werden, das die Keimung und das Wachstum von Beikräutern unterdrückt, atmungsaktiv und in einem zu bestimmenden zeitlichen Rahmen biologisch abbaubar ist. Eine Aufspritzbarkeit des Mulchmaterials hat den großen Vorteil, dass keine Folien per Hand aufgebracht werden müssen. Außerdem verbindet sich das aufgespritzte Material direkt mit dem Untergrund, was die Windanfälligkeit minimiert. Die Eigenschaften müssen so eingestellt werden, dass das Material schnell härtet, um auch in Steillagen verwendet werden zu können. Die einzelnen Komponenten müssen als gesundheitlich unbedenklich und umweltfreundlich eingestuft sein, da es direkt bei der Produktion von Lebensmitteln Anwendung findet. Da das Material flüssig aufgetragen werden soll, müssen die beiden Komponenten geeignete Viskositäten aufweisen, um pumpfähig zu sein. Die Abbaubarkeit des Mulchmaterials muss so eingestellt werden, dass es sich vollständig und in einem vorbestimmbaren Zeitraum – am besten während der Vegetationsperiode – abbaut. Eine Akkumulation des Materials muss ausgeschlossen sein.

Die entwickelten Rezepturen sind im ersten Schritt in Labortests anhand chemischer und physikalischer Parameter zu bewerten und die Materialien werden auf Dehnbarkeit, Fließverhalten, Gelierzeit sowie Schrumpfung und Temperaturbeständigkeit untersucht. Geeignete Prüfverfahren müssen dem entwickelten Material angepasst werden, da oftmals keine standardisierten Verfahren zugrunde liegen. Rezepturen, die in den Laborversuchen gut abschneiden, sollen in Gewächshausversuchen mit ausgewählten repräsentativen Pflanzen auf ihre Beikraut unterdrückende Wirkung getestet werden. Dabei soll eine Apparatur entwickelt werden, die es erlaubt, reproduzierbar eine bestimmte Schichtdicke auf die Saatkisten aufzuspritzen. Das Mulchmaterial soll dann auf Handhabbarkeit, Beikraut regulierende Wirkung und Abbaubarkeit getestet werden. Aufbauend auf den Versuchen im Labor und im Gewächshaus werden Praxistests in unterschiedlichen Kulturen und Regionen durchgeführt, um eine Praxistauglichkeit des Materials zu prüfen. In diesem Rahmen soll auch ein Applikationsgerät entwickelt werden, um das reaktive Mehrkomponenten-Gemisch auch im größeren Maßstab aufzuspritzen. Zusätzlich wird der Einfluss der

verwendeten Substanzen und des verwendeten Mulchmaterials auf das Wachstum der Rebe, auf den Ertrag, den Wasserhaushalt, die Beikrautvegetation und die Bodengesundheit ermittelt. Abschließend sollen ökonomische Daten der verwendeten Substanzen ermittelt und berechnet werden.

3 Stand des Wissens

3.1 Natürliche Substanzen

Natürliche Substanzen bzw. Wirkstoffe zur Beikrautregulierung werden in außereuropäischen Ländern wie etwa den USA als Biopestizide, botanische Pestizide und Bioherbizide im biologischen Anbau zugelassen [46]. Benutzte Wirkstoffe [46] sind etwa Citrusöl (D-Limonene, Produkt Avenger weed killer, Firma Avenger Products, LLC), Caprylsäure und Caprinsäure (Homeplate[®], Fa. Neudorff GmbH KG oder Suppress[®], Fa. Westbrige Agricultural Products), Nelken- und Zimtöl (WeedZap, Fa. JH Biotech, Inc.) oder konzentrierte Essigsäure (Weed Pharm, Fa. Pharm Solutions Inc.).

Über die optimale Anwendung natürlicher Substanzen als Herbizid sind nur begrenzte Empfehlungen verfügbar. Da es sich bei den genannten natürlichen Substanzen um Kontaktherbizide handelt, ist eine gute Benetzung der grünen Pflanzenteile durch Applikation für einen hohen Wirkungsgrad notwendig. Die natürlichen Substanzen verfügen über keine Restaktivität, sodass eine mehrmalige Anwendung erforderlich ist. Für die Applikation der genannten Produkte sind optimale Umweltbedingungen notwendig: Temperatur und Sonneneinstrahlung beeinflussen die herbizide Effizienz der Mittel. Empfehlungen für die optimale Wirkung von Bioherbiziden liegen bei 75 °F (umgerechnet 23,9 °C).

Kühlere Temperaturen können zu geringeren Wirkungsgraden führen. Dies gilt nicht für Mittel wie WeedZap (45 % Nelkenöl, 45 % Zimtöl). Diese erreichten gute Ergebnisse bei 40 °F (4,44 °C) in der Bekämpfung von Wegerich (*Plantago*) [41].

3.1.1 Pflanzliche Öle

Im Pflanzenschutzbereich wurden Pflanzenöle hauptsächlich zur Wirkungssteigerung der Herbizidwirkstoffe der Spritzbrühe zugesetzt. Die Fotosynthese und die Transpiration werden behindert, indem die Öle die Stomata (Spaltöffnungen in der Epidermis von Blättern) verstopfen bzw. verkleben [72]. TWORKOSKI (2002) [72] schreibt, dass pflanzliche Öle wie Sonnenblumenöl, Rapsöl, Leinöl, Weintraubenkernöl und Olivenöl keine herbizide Wirkung haben, wenn sie pur ohne Zusatz von anderen Wirkstoffen verwendet werden. Seine Ergebnisse beruhen auf Laboruntersuchungen mit Blattstücken. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen IZADI-DARBANDI et al. (2013) [35], die herausgefunden haben, dass die Behandlung mit verschiedenen pflanzlichen Ölen (Sojabohnenöl, Rapsöl, Sesamöl, Olivenöl) keinen Einfluss auf das Trocken- und Frischgewicht von Flughafer (*Avena fatua* L.) hat.

Eine Studie testete die herbiziden Effekte von rohem und verarbeitetem Speiseöl an neun Pflanzenspezies. Innerhalb der Versuchsanordnung wurde auch Beikraut bonitiert, das natürlich auf landwirtschaftlich genutztem Boden wuchs [32]. Der Rückgang der Biomasse im Vergleich zur Kontrolle lag zwischen 21 % und 90 % je nach Pflanzenart und Anzahl der Behandlungen [32].

3.1.2 Essigsäure

Essigsäure ist eine organische Säure aus der Reihe der Fettsäuren, die durch die Essigsäuregärung von Ethanol gewonnen wird. Sie ist eine ätzende, hygroskopische, brennbare Flüssigkeit und vollständig wasserlöslich. Essigsäure wirkt als Kontaktherbizid. Es zerstört die Epidermiszellen nicht verholzter Pflanzenteile und führt zur Austrocknung des Pflanzengewebes [9].

Essigsäure wurde bereits 2011 als „Celaflor Essigsäure“ (Kenn-Nr. 02435-00/00) beim Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit als Pflanzenschutzmittel für die Bereiche „Kernobst“, „Rasen“, „Wege und Plätze mit Holzgewächsen“, „Ziergehölze“ und „Steinobst“ zugelassen (§ 15 PflSchG. Die Wirkungsweise erfolgt über die Verätzung der Epidermiszellen nicht verholzter Pflanzenteile (BVL, 2023) [9].

Essigsäure als Pflanzenschutzmittel gibt es bereits als Gemisch. Es ist für die Anwendung durch nicht berufliche Anwender als Herbizid zugelassen und wird im Handel u. a. als „Roundup AC“ von Fa. Scotts Celaflor vertrieben. Die Wirkstoffkonzentration liegt bei 10,2 % (102 g/l).

In der Landwirtschaft ist gemäß der EU-Verordnung 2015/1108 [20] Essigsäure grundsätzlich nur als Fungizid oder Bakterizid zugelassen. Ausgenommen davon ist gemäß der EU-Durchführungsverordnung 2019/149 [21] nur der Einsatz als Herbizid zur Beikrautbekämpfung in „medicinal aromatic and perfume crops“ (Arzneipflanzen, Gewürzpflanzen). Im Haus- und Kleingartenbereich als Einzelpflanzenbehandlung, im Nichtkulturland auf Wegen und Plätzen mit Holzgewächsen, im Zierpflanzenbau in Rasen (Teilflächenbehandlung) und Ziergehölzen sowie im Obstbau in Kern- und Steinobst gibt es zudem Zulassungen für den Wirkstoff Essigsäure [9].

In mehreren Studien wurde Essigsäure als potenzielles biologisches Beikrautbekämpfungsmittel untersucht [52] [78]. In niedrig dosierten Konzentrationen (5 %) zeigte sie gute Wirkung in frühen Entwicklungsstadien der Beikräuter. Bei fortgeschrittenem Entwicklungsstadium der Beikräuter benötigt man allerdings höher konzentrierte Essigsäure (10 % oder 20 %), um die gleiche Wirkung wie bei den frühen Stadien zu erreichen [52].

3.1.3 Pelargonsäure

Die Pelargonsäure (C9-Nonansäure) ist eine gesättigte, Fett- bzw. Carbonsäure (C9:0). Sie kommt in der Natur in den Blättern von Pelargonien (*Pelargonium ssp.*) vor, eine Gattung der Storchschnabelgewächse (*Geraniaceae*). Die Pelargonsäure kann aus verschiedenen Pflanzenölen (Soja, Raps und Sonnenblume) gewonnen werden. Durch Ozonolyse (Auflösung von Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen) von Erucasäure entsteht Pelargonsäure [38].

Auf dem Markt sind viele Herbizide mit dem Wirkstoff Pelargonsäure für verschiedene Einsatzgebiete zugelassen (BVL, 2023) [9]. Die Firma Belchim (Belgien) vertreibt ein Pelargonsäure-Emulsionskonzentrat (680 g Pelargonsäure/l) als „Beloukha“ mit dem pH-Wert 3,5. Nach Ecotox gibt es keine Auswirkungen auf Anwender, Boden oder Wasser

(DT₅₀ < 2 d). Es ist im Pflanzenschutz-Register unter der Nr. 3768 gelistet und war in Deutschland bei Weinreben gegen Stockaustriebe (bis 4. Standjahr) mit maximal 16 l/ha und zweimaliger Anwendung (8%ige Konzentration) im Zeitraum vom 15.05. bis 11.09.2018 zugelassen [6]. Im Obstbau – Kern- und Steinobst – griff vom 01.04. bis 29.07.2019 die Notfallzulassung nach Artikel 53 der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 zur Bekämpfung von Wurzelschossern. Auflage war ein Abstand von zwei bis vier Wochen und maximal zweimalige Anwendung pro Jahr bzw. Kultur (insgesamt 32 l/ha).

Pelargonsäure wirkt zerstörend auf die Kutikula und erhöht somit die Durchlässigkeit der Wachsschicht. Durch Einwirkung von UV-Strahlen und erhöhten Wasserverlust der Zellen wird Stress induziert und es entstehen Schäden an der Zellmembran [41] [59]. Da die Pelargonsäure lediglich die Wachsschicht angreift, gibt es keine Wirkung auf die Rinde von Gehölzen. Hier sind die Zellen zu stabil, der Wirkstoff kann nicht in die Pflanze eindringen. Pelargonsäure ist im Vergleich zu anderen synthetischen Herbiziden gut umweltverträglich. Im Boden und im Wasser wird es schnell abgebaut (DT₅₀ > 2 d) [10].

3.2 Chemisches Herbizid Glyphosat

Glyphosat ist eine chemische Verbindung aus der Gruppe der Phosphonate und wird seit etwa 40 Jahren weltweit als Breitbandherbizid verwendet [5]. Glyphosathaltige Produkte weisen eine sehr gute Wirkung gegen mono- und dikotyle Beikrautarten in allen Bereichen der Land- und Forstwirtschaft auf [25]. Glyphosat wirkt nicht selektiv gegen Pflanzen. Es ist ein kompetitiver Inhibitor von Phosphoenolpyruvat der pflanzlichen 5-Enolpyruvylshikimat-3-phosphat-Synthase (EPSPS) und blockiert damit den Shikimatweg, der in Pflanzen zur Synthese aromatischer Aminosäuren wie Phenylalanin, Tryptophan, Tyrosin und einigen Benzoesäurederivate nötig ist [55] [64]. Glyphosat wirkt systemisch. Es wird über die grünen Pflanzenteile aufgenommen und über das Xylem (Saftstrom) in der ganzen Pflanze verteilt. Innerhalb weniger Tage führt dies zum Absterben der Pflanze [75]. Ausnahmen bilden gentechnisch veränderte Nutzpflanzen, die eine Herbizidresistenz gegenüber Glyphosat besitzen [55].

3.3 Biozementierung

Eine innovative Idee zur Beikrautunterdrückung ist ein Verfahren mit Bakterien (*Paenarthrobacter*, isoliert aus einem deutschen Bodensubstrat [Firma Bind-X]), die mit Wasser auf den Boden aufgebracht werden und Kalzit (als Nebenprodukt im Metabolismus) bilden. Die oberen Zentimeter des Bodens verfestigen sich und sollen dadurch eine Beikraut unterdrückende Wirkung haben.

Im Fall von *Paenarthrobacter* K385 ist davon auszugehen, dass über mikrobielle aerobe Oxidation Zuckermoleküle oder einfache Säuren zu CO₂ oxidiert werden. Dieses liegt aufgrund des herrschenden alkalischen Niveaus als Carbonat-Ion vor. In Anwesenheit von Ca²⁺-Ionen fällt Calciumcarbonat (CaCO₃) als schichtbildendes Bindemittel zwischen den

Erdpartikeln aus. Die gebildete Kruste der oberen Erdschicht stellt eine mechanische Stabilisierung dar, die die Erdoberfläche möglicherweise vor allem gegen Erosion schützt. Die gebildete Schicht kann so indirekt auch den Auflauf von Beikräutern verhindern (mündliche Mitteilung des Start-up-Unternehmens Bind-X) [7].

3.4 Aufspritzbare Materialien

Im Folgenden soll ein Überblick über aufspritzbare Folien bzw. das Spritzverfahren selbst gegeben werden. Hierbei ergeben sich bereits einige Hinweise auf die Beschaffenheit einer möglichen Rezeptur. Es wird nicht nur im Bereich Nachwachsender Rohstoffe an spritzbaren Folien gearbeitet. Das Patent DE102009049284A1 [14] beschreibt zum Beispiel eine spritzbare Folie bzw. Funktionsschicht und das Verfahren selbst für Anwendungen im Bereich der Gebäudetechnik. Das Thüringische Institut für Textil- und Kunststofforschung e. V. entwickelt spritzbare, abbaubare Beschichtungsfilme auf Basis von Polysacchariden [19] [80] [81]. In einem vom BMWi geförderten Forschungsvorhaben wurde an der „Entwicklung biologisch abbaubarer, sprühfähiger Flüssigsilofolie auf Polysaccharidbasis zur Konservierung und Lagerung landwirtschaftlicher Produkte“ gearbeitet [68]. An der Entwicklung und Erprobung multifunktionaler, sprühfähiger und biologisch abbaubarer Folien auf Basis Nachwachsender Rohstoffe im land-, forstwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturpflanzenbau [26] wurde in einem Projektverbund geforscht. In einem Projekt wird eine biologisch abbaubare, sprühfähige Mulchfolie aus Nachwachsenden Rohstoffen zur Steigerung der Nachhaltigkeit beim integrierten Pflanzenschutz von intensiven gartenbaulichen Freilandkulturen entwickelt. Die Mulchfolie soll unter anderem optisch aktive Eigenschaften besitzen, die auf Insekten abweisend wirken [51]. In einem weiteren Vorhaben der Hochschule Hof wurden Folien aus mikrokristalliner Zellulose und Lignin als Füllstoff hergestellt und getestet [46].

Die Eignung biologisch abbaubarer Folien für den Einsatz im Gemüsebau wurde von WEBER (2003) [77] untersucht. Produktinformationen und eine Umweltbewertung, 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 [30].

Die Nachfrage an biologisch abbaubaren Abdeckmaterialien aus Nachwachsenden Rohstoffen ist groß. Daher gibt es viele Forschungsbestrebungen auf diesem Gebiet. Eine an der Fachhochschule Kiel entwickelte Abdeckung für Silagen basiert auf nicht modifiziertem Stärkematerial aus Mais, Weizen oder Gerste und Fruchtwachsen. Mittels Extrusion soll der Stärkeschaum auf das Silo aufgetragen werden [53] [54]. 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 [49]. 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 Hydroxyethylcellulose [24] [26] [38]. 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 Fahrzeuge aufsprühen und nach Gebrauch durch wasserbasierte warme Lösungen wieder abwaschen [63].

Am Markt sind bereits mehrere aufspritzbare Produkte bekannt. Die Firma Internationale Geotextil GmbH (IGG) vertreibt in Deutschland die Komponenten für eine Nassansaat. Dieses Prinzip basiert auf der Vermischung von Cellulosefasern 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 [34].

Die Firma Aynova vertreibt ein Haftmittel basierend auf Stärke. Cropcover bildet eine Gelschicht auf der Blattoberfläche und fixiert so Pflanzenschutzmittel und Blattdünger. Durch diese Gelschicht wird das Auswaschen bei Regen vermindert, um eine längere Einwirkzeit zu gewährleisten [2].

Außerdem werden von einigen Unternehmen abbaubare Mulchfolien vertrieben. Diese zersetzen sich jedoch unterschiedlich schnell, je nachdem ob sie mit Erde bedeckt sind oder nicht. Durch den ungleichmäßigen Abbau resultieren häufig viele Folienfetzen, die an der Erdoberfläche durchaus einige Zeit zurückbleiben können. Diese Teilstücke bleiben dann wie konventionelle Plastikfolien für lange Zeit am Feld liegen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass ein großes Interesse an biologisch abbaubaren Mulchmaterialien und abbaubaren Folien auf Basis nachwachsender Rohstoffe festzustellen ist 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.

3.4.1 Spritzbare Silageabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen

Der gasdichte Abschluss der Silage ist Grundvoraussetzung für die Konservierung von Futtermitteln und wird nach derzeitigem Stand der Technik mit erdölbasierten Kunststofffolien erreicht. Eine geeignete Silageabdeckung muss über einen Zeitraum von mindestens zwölf Monaten einer Vielzahl äußerer Einflüsse standhalten. Sie muss wind- und wasserfest sein sowie eine sehr gute UV- und Temperaturstabilität besitzen. Das Verfahren der konventionellen Abdeckung des Silos mit Kunststofffolien erfüllt zwar alle nötigen Anforderungen, doch ist deren Aufbringung arbeitsintensiv und birgt potenzielle Unfallgefahr.

ren beim Zu- und Aufdecken. Zudem ist die Entsorgung der Folien nach der Nutzung aufwendig. Die neuartige Abdeckung soll daher zusammen mit dem Siliergut entnommen werden, in Biogasanlagen verwertbar und gegebenenfalls verfütterbar sein.

Bei der entwickelten Abdeckung [23] handelt es sich um eine Zwei-Komponenten-Mischung, die im Wesentlichen aus Rapsöl und einer Naturkautschuk-Dispersion besteht (vgl. Tabelle 1). Weitere Bestandteile der Rezeptur sind unter anderem Geliermittel wie Alginat und Pektin, Füllstoffe wie Zellulosefasern und weitere Zusatzstoffe wie Calciumsulfat und Natriumbenzoat. Glycerin wird als Weichmacher zur Erhöhung der Elastizität des Materials zugegeben. Zusammengemischt und aufgespritzt härtet das Material auf dem Silo aus und gewährleistet schnell und dauerhaft einen luftdichten Abschluss.

Tabelle 1: Zusammensetzung des Zwei-Komponenten-Gemischs der aufspritzbaren Silageabdeckung

Komponente	Bestandteil	Massenanteil in % Frischmasse	Eigenschaft
A	Rapsöl	40,4	Basis
	Natriumalginat	0,9	Geliermittel
	Cellulosefasern	2,2	Füllstoff
	Calciumsulfat	1,1	Gelierhilfsmittel
B	Latex	18,4	Bindemittel
	Wasser	27,5	Lösemittel
	Natriumbenzoat	1,8	Konservierungsmittel
	Sorbit	2,2	Feuchthaltemittel
	Glycerin	5,5	Weichmacher

Die Materialentwicklung erfolgte in einem iterativen Prozess, wobei in mehreren Stufen die Eigenschaften des Materials geprüft und Änderungen an der Rezeptur vorgenommen sowie Optimierungen des Applikationssystems durchgeführt wurden. Insgesamt wurden über 400 Rezepturvarianten hergestellt und bonitiert. Die Eigenschaften der Vorzugsrezeptur sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengefasst. Das Material zeigt bei fünfmonatiger Lagerung in Wasser sowie bei Temperaturen von 80 °C kaum Volumenänderungen. Außerdem ist die Gasundurchlässigkeit der Vorzugsvariante schon relativ nah an derjenigen herkömmlicher PE-Folien. Die Silageabdeckung kann ohne Bedenken Biogasanlagen zugeführt werden, da sie unter diesen Bedingungen sehr schnell abgebaut wird.

Tabelle 2: *Materialeigenschaften der aufspritzbaren Silageabdeckung*

Materialeigenschaft	Labor	Versuche im Freien		
		Lagerung Prüfkörper	Miniatursilos	Gärgläser
Gasdurchlässigkeit	+	o	o/+	o/+
Reißfestigkeit und Elastizität	+	o	+	+
Säureresistenz	+	o	+	+
Temperaturbeständigkeit	+	o/+	+	+
Quellverhalten	+	o	+	+
Schrumpfsneigung	+	o	+	+
Materialverträglichkeit	+	o	+	+
UV-Stabilität	o	+	+	+
Haftung an der Silowand	o	o	+	o/+
Schimmelresistenz	o	+	+	+
Abwehr von Tierfraß (z. B. Vögel, Nager)	o	o	+	o
Witterungsbeständigkeit	o	+	+	+
Langlebigkeit	o	o/+	+	+
Biologische Abbaubarkeit	+	o	o	o
Verfütterbarkeit	+	o	o	o

Tabelle 3: Physikalische Eigenschaften der Vorzugsrezeptur der aufspritzbaren Silageabdeckung

Parameter	Einheit	Wert
Mischungsverhältnis A : B	–	1 : 1,2
Dyn. Viskosität bei 20 °C Komp. A/B	Pa · s	0,21/0,01
Permeationskoeffizient (für O ₂) in Anlehnung an DIN 53380-2	cm ³ · m / (m ² · d · bar)	1,75
Gasdurchlässigkeit (für O ₂ ; 8 mm Schichtdicke) in Anlehnung an DIN 53380-2	cm ³ / (m ² · d · bar)	220
Bruchspannung in Anlehnung an DIN EN ISO 527-3	MPa	0,11
Bruchdehnung in Anlehnung an DIN EN ISO 527-3	%	90
Relative Volumenänderung nach 5 Monaten Wasserlagerung	%	< 20
Maßänderung nach 30 min Lagerung bei 80 °C in Anlehnung an DIN 53377	%	< 0,1
Abbaubarkeit nach 99 Tagen im Durchflussfermenter (bezogen auf TS)	Masse-%	30

Begleitend zur Materialentwicklung wurde ein Applikationsverfahren für praxisnahe Versuche über mehrere Prototypstufen entwickelt (siehe Abbildung 1) und abschließend die Studie eines selbstfahrenden Applikationsgeräts vorgestellt.



Abbildung 1: Praxistest der aufspritzbaren Silageabdeckung

Mit dem neuartigen Verfahren einer aufspritzbaren Silageabdeckung aus Nachwachsenden Rohstoffen steht eine Alternative zu konventionellen Plastikfolien zur Verfügung. Die Vorentwicklung wurde erfolgreich abgeschlossen: Mehrere Versuchsreihen bestätigen die Beständigkeit der Abdeckung gegenüber Umwelteinflüssen und den Erhalt der Silagequalität über einen längeren Zeitraum. Das patentierte Verfahren kann durch Industriepartner weiterentwickelt und in die landwirtschaftliche Praxis überführt werden. Das Interesse seitens der Landwirtschaft ist groß.

3.4.2 Chemische Grundlagen des Polymerisationsprozesses

Ausgangspunkt für die geplante Entwicklung weiterer umweltfreundlicher Biopolymere ist ein patentiertes selbsthärtendes Zwei-Komponenten-Material („Abdeckmaterial für Biomasse und Verfahren zu dessen Herstellung“) [23]. Das Material basiert auf Nachwachsenden Rohstoffen und besteht aus zwei Komponenten: einer Öl- und einer Wasserphase. Erstere enthält neben dem Pflanzenöl auch ein Gelmittel, das ein zügiges Festwerden des Materials ermöglicht. Grundsätzlich existiert eine Vielzahl potenzieller Substanzen, die ein Festwerden bewirken. Aufgrund des ursprünglichen Verwendungszwecks – einer verfütterbaren Silageabdeckung – und der Anforderung, biologisch abbaubare Materialien zu entwickeln [61] [62] [74], kommen überwiegend natürliche Produkte wie Natriumalginat bzw. Pektin vor. Natriumalginat ist das Salz der Alginsäure und liegt in der Natur in verschiedenen Bakterien- und Algenstämmen vor. Auch in der Küche oder in der Medizin wird Alginat verwendet. Dort wird es als Gelier- oder Verdickungsmittel bzw. für Kompressen

oder für Abformungen der Zähne eingesetzt. Alginate sind Polymere, die aus zwei Zuckersäuren aufgebaut sind. α -L-Guluronat und β -D-Mannuronat bilden ein Copolymer, deren Verhältnis variiert aber abhängig von der Herkunft des Alginats. Je nach Saccharid bilden sich andere geometrische Strukturen. Die Monomere der Mannuronsäure sind 1,4-äquatorial verknüpft, wodurch eine bandähnliche Struktur entsteht. In der Polyguluronsäure sind die Monomere 1,4-diaxial verknüpft, wodurch sich aufgrund der gehinderten Rotationsfähigkeit eine Zickzackstruktur ergibt. Diese räumlichen Anordnungen bestehen auch in der Salzform. Aufgrund der Säuregruppen weisen die Ketten eine starke negative Ladung auf. Diese Ladungen schirmen die Ketten elektrostatisch voneinander ab und verhindern so eine Anlagerung aneinander. Dies ändert sich in Anwesenheit mehrwertiger Kationen, wie beispielsweise Ca^{2+} -Ionen. Die Kationen können sich in die Hohlräume zwischen zwei gegenüberliegenden Zickzackketten einlagern und über sogenannte Chelatbildung ein Polymer ausbilden. Wegen der Ähnlichkeit der Struktur zu Eierschachteln wird diese Anordnung als Eierschachtel-Modell bezeichnet [44] [71]. Das Polysaccharid Pektin besteht ähnlich dem Alginat aus der Zuckersäure D-Galacturonsäure. Durch den Einbau von L-Rhamnose entstehen auch hier Knicke in der Kette. Die Gelierung erfolgt analog dem Alginat über die Chelatisierung zweiwertiger Kationen [31]. Die Wasserphase enthält vorwiegend lösliche Salze als Gelierhilfsmittel, Weichmacher und ein Bindemittel. Als Weichmacher wird vorwiegend Glycerin eingesetzt, das häufig in biobasierten Polymeren wie Stärkeblends in dieser Funktion enthalten ist. Das Bindemittel kann in diesem Material je nach Anforderung und Einsatzgebiet variiert werden. Für ein elastisches, gasdichtes Abdeckmaterial eignet sich vorwiegend Naturkautschuk. Kautschuk besteht aus Butadien, das sich über die vorhandenen Doppelbindungen langsam vernetzt. In dieses Netz werden auch die ungesättigten Fettsäuren des Pflanzenöls durch die darin vorhandenen Doppelbindungen eingebunden. Ein alternatives Bindemittel ist die Stärke. Üblicherweise wird eine Stärkelösung erst erwärmt und dann in Form gegossen [18]. Aus der Verwendung von Chitosan, Xanthan oder modifizierter Cellulose als Bindemittel resultieren Materialien, die aufgrund ihrer Eigenschaften Anwendung in anderen Gebieten finden können.

4 Material und Methodik

In diesem Forschungsvorhaben wurden verschiedene ökologisch unbedenkliche Substanzen und ein neu entwickeltes spritzbares Mulchmaterial auf Basis nachwachsender Rohstoffe zur Beikrautregulierung im Unterstockbereich für Obst- und Weinbau getestet. Die Anforderungen an das Mulchmaterial waren sehr vielfältig. Um das Material erfolgreich in die Praxisreife überführen zu können, müssen die Anforderungen und die daraus resultierenden Materialeigenschaften möglichst umfangreich analysiert werden. Wesentliche Eigenschaften, wie die Schrumpfung oder die Quellfähigkeit des Materials, konnten mittels Laborversuchen getestet werden. Einflussfaktoren wie die UV-Stabilität und der Einfluss der Witterung konnten damit jedoch nicht ausreichend simuliert werden. Hierfür mussten Tests im Freien durchgeführt werden. Mit Witterungsversuchen von Prüfkörpern im Freien konnten deren UV-Stabilität, Witterungsbeständigkeit, Langlebigkeit, Abbaubarkeit und Schimmelresistenz untersucht werden. Für die Eignung als physikalische Beikrautregulierung sollten Experimente im Gewächshaus mit Beikräutern Erkenntnisse liefern. Hierfür war eine Vorrichtung erforderlich, mit der es möglich ist, das Mulchmaterial reproduzierbar aufzubringen. Parallel zu der Entwicklung des Materials sollte auch die Applikationstechnik konzipiert werden. Beide Entwicklungsschritte mussten Hand in Hand geschehen, um einen möglichst reibungslosen und zügigen Praxistest durchführen zu können.

Neben der Entwicklung und Erprobung des aufspritzbaren Mulchmaterials sollten natürliche Substanzen auf eine Beikraut regulierende Wirkung getestet werden. Hierfür wurden Substanzen eingesetzt, die natürlichen Ursprungs sind, aber noch keine explizite Zulassung im Obst- oder Weinbau haben.

4.1 Entwicklung von Rezepturen für ein spritzbares Mulchmaterial

Ausgehend von der patentierten Silageabdeckung [23] sollte die Rezeptur für die Anwendung als Beikraut regulierendes Mulchmaterial abgeändert werden. Die Anforderungen an ein Mulchmaterial unterschieden sich jedoch deutlich von der einer Silageabdeckung. Während es bei der Abdeckung von Silagen hauptsächlich auf Elastizität, Säurebeständigkeit und Gasdichtigkeit ankommt, stehen im Obst- und Weinbau eher Anforderungen wie Stabilität und Abbaubarkeit im Vordergrund. Für die guten Eigenschaften bezüglich Elastizität und Gasdichtigkeit war bei der Silageabdeckung Naturkautschuk verantwortlich. Diese Eigenschaften stehen allerdings im Widerspruch zu den Anforderungen der zügigen Abbaubarkeit des Mulchmaterials. Außerdem war Kautschuk als Rezepturbestandteil vergleichsweise teuer. So galt als oberstes Ziel die Substitution des Naturkautschuks durch eine schneller abbaubare Komponente. Die Grundzusammensetzung als Zwei-Komponenten-Mischung sollte prinzipiell beibehalten werden. Dadurch konnte das schnelle Gellieren und leichte Handhaben der Einzelkomponenten bewerkstelligt werden. Um den Naturkautschuk zu ersetzen, wurden verschiedene Polymere getestet. Da sich in diesem komplexen Mehr-Komponenten-Gemisch die Änderung eines Bestandteils auf das ganze System auswirkte, mussten im Anschluss auch die anderen Komponenten angepasst und gegebenenfalls ausgetauscht werden. Dazu zählten die Füllstoffe, das Geliemittel und

damit der Verzögerer des Gelierprozesses sowie Salze, die als Gelierhilfsmittel dienen. Das folgende Kapitel beschreibt die Analysen der Prüfkörper im Labor sowie weitere Untersuchungen im Labor zu Abbaubarkeit und Rückständen.

4.1.1 Schrumpfung

Aufgrund von Schrumpfung des Materials könnte die Beikrautunterdrückung verringert sein. Hierbei spielte das Zusammenziehen an der Randfläche keine Rolle, da im Bedarfsfall einfach eine breitere Schicht ausgebracht werden könnte. Das größere Problem war die Gefahr der Rissbildung beim Schrumpfen. Sollten sich Risse im Mulchmaterial bilden, bestand die berechnete Annahme, dass dort Beikräuter durchwachsen können. Das Wachstum durch die Risse könnte die Abdeckung zunehmend weiter beschädigen, wodurch mehr Pflanzen durch das Material durchstoßen könnten.

Um die Schrumpfung zu testen, wurden zuerst Prüfkörper in runden Glasschalen ($d = 17$ cm) gegossen. Der Durchmesser der Prüfkörper wurde über einen Zeitraum von sieben Tagen täglich bestimmt und ausgewertet. In weiterführenden Tests wurde das Mulchmaterial direkt auf Erde in Aussaatkisten gespritzt, um einen möglichst realitätsnahen Aufbau zu haben. Hier sollte dann sowohl das Ablösen vom Rand als auch Rissbildung dokumentiert werden.

4.1.2 Quellverhalten

Für die Untersuchung wurde vollständig ausgehärtetes Abdeckmaterial verwendet (mindestens drei Tage nach dem Ausgießen bei Raumtemperatur getrocknet). Die Wasserabsorption des Materials wurde gravimetrisch bestimmt. Die runden Prüfkörper (Durchmesser: 17 cm, Dicke: ca. 8 mm) wurden geviertelt und anschließend gewogen, die Viertel in Bechergläser mit Wasser gelegt und für den angegebenen Zeitraum (24 h, 48 h, 72 h und 7 d) unter Wasser gehalten. Die Bechergläser wurden mit einem Uhrglas abgedeckt, um sowohl Verdunstung als auch Verschmutzung des Wassers vorzubeugen. Nach dem Herausnehmen und Abtropfen des Wassers auf der Oberfläche wurde die Masse auf der Oberschalenwaage ($\pm 0,01$ g) bestimmt. Zur Auswertung wurde die Differenz der beiden Massenbestimmungen vor und nach der Wasserlagerung herangezogen. Falls notwendig, konnten diese Tests auch auf die Volumenänderungen der Prüfkörper erweitert werden.

4.1.3 Hitzebeständigkeit

Da in Weinbergen im Sommer Bodentemperaturen von bis zu 60 °C vorkommen können, sollte auch die Hitzebeständigkeit bei dieser Temperatur untersucht werden. Hierfür wurde ein Prüfkörper (Durchmesser: 17 cm, Dicke: ca. 8 mm) im Trockenschrank bei 60 °C gelagert. Zu definierten Zeitpunkten (0,5 h, 1 h, 5 h, 1 d, 2 d, 3 d und 7 d) wurde der Prüfkörper gewogen sowie der Durchmesser und die Dicke bestimmt.

4.1.4 Resistenz gegenüber Schimmelbildung

Das Mulchmaterial besteht aus biologischen Produkten und ist deshalb anfällig für Schimmelbildung. Das ist wiederum problematisch, da die Gefahr besteht, dass der Schimmel auch auf die Früchte übergreift. Um die Schimmelbildung so weit wie möglich zu hemmen, wurden unterschiedliche Komponenten als Zusatz getestet. Die Prüfkörper wurde dann offen in einer mit Wasserdampf gesättigten Plastikkiste gelagert. In regelmäßigen Abständen wurden die Prüfkörper auf möglichen Schimmelbefall untersucht.

4.1.5 Rheologische Materialuntersuchungen

Die Einzelkomponenten des Mulchmaterials wurde mit einem Rotationsviskosimeter (Typ PHYSICA MCR101, Anton Paar) mit einem zylindrischen Prüfkörper mit kegelförmiger Spitze auf ihre rheologischen Eigenschaften hin getestet. Dazu wurden Messungen bei einer Scherrate von 50 s^{-1} und in einem Temperaturbereich zwischen 15 °C und 50 °C vorgenommen. Außerdem sollte durch oszillierende Messungen die Gelierzeit beim Zusammenmischen der beiden Phasen ermittelt werden. Als problematisch stellte sich hierbei die sehr kurze Gelierzeit bei manchen Rezepturen heraus. Erschwerend kam hinzu, dass die beiden Komponenten zuerst in einem Becherglas zusammengerührt werden mussten. Erst dann konnte die Mischung in das Messsystem eingefüllt werden. Dieser Schritt dauerte in der Regel ca. zwei Minuten.

4.1.6 Einfluss der Witterung

Die Witterungsbeständigkeit wurde anhand von Außenlagerungsversuchen untersucht. Dazu wurden Prüfkörper mit einem Durchmesser von 17 cm hergestellt und mit Halterungen auf eine schräghängende Platte gespannt. Um eine Verfälschung der Ergebnisse durch die Einwirkung von Tieren oder Menschen vorzubeugen, wurde der Witterungsstand mit einem feinmaschigen Metallgitter geschützt. Es wurden unterschiedliche Rezepturen getestet, unter anderem, ob bestimmte Konservierungs- und Feuchthaltemittel einen Einfluss auf die Alterung und den Abbau haben. Ergänzt wurden die Experimente am Witterungsstand durch einige Versuche mit Rezepturen, die auf Erde gespritzt und ebenfalls im Freien gelagert wurden. Hier zeigte sich vor allem der Einfluss von Regen, da durch die waagerechte Lagerung in einer Schale kein Abfließen des Wassers möglich war. Diese Versuche fanden von April bis August 2019 statt.

4.1.7 Versuche zur Abbaubarkeit des Mulchmaterials

Um abschätzen zu können, wie lange das Mulchmaterial in der Natur verbleibt, wurden Versuche zur biologischen Abbaubarkeit durchgeführt. Diese Untersuchungen wurden im Labormaßstab in Anlehnung an die Norm DIN EN ISO 17556:2019-09 „Bestimmung der vollständigen aeroben Bioabbaubarkeit von Kunststoffmaterialien im Boden durch Messung des Sauerstoffbedarfs in einem Respirometer oder der Menge des entstandenen Kohlenstoffdioxids“ [13] durchgeführt. Abbildung 2 zeigt schematisch den Aufbau der Ab-

baubarkeitsversuche. In eine Gaswaschflasche (5) mit zwei Gasröhrchen als Gaszufluss wurden ca. 200 g Erde gegeben, mit 20 ml Wasser angefeuchtet und die Flasche mit dem Deckel verschlossen. Es wurden drei Varianten untersucht: eine Nullvariante ohne zusätzliches Material, eine Referenzvariante mit Cellulosefasern sowie eine Variante mit Mulchmaterial. Vom Referenzmaterial und dem Mulchmaterial wurden jeweils 2,5 g in die entsprechenden Kolben eingeführt. Das Mulchmaterial wurde zerkleinert, damit die Oberfläche des Materials möglichst groß ist. Die Referenzsubstanz Cellulose bzw. Stärke lag bereits pulverförmig vor und konnte deshalb direkt verwendet werden. Die Erde, die von einem landwirtschaftlich genutzten Acker stammte, sollte die Mikroorganismen bereitstellen, die den Abbau des Probekörpers ermöglichen. In das geschlossene Gefäß wurde dann ein konstanter Luftstrom (1) eingeleitet, dessen Stärke mit einem Regler (2) eingestellt werden konnte. Bevor der Luftstrom das Probengefäß (5) durchströmen konnte, wurde dieser durch eine 5-molare Kaliumhydroxidlösung geleitet (3). Dadurch wurde das CO₂ aus der Luft herausgewaschen. Anschließend passierte der Luftstrom ein Behältnis (4) mit Wasser, um die Luft anzufeuchten. Nach dem Probengefäß strömte 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 wurde in diese Gasflaschen getragen, reagierte mit den Hydroxidionen in der Lösung und wurde dort adsorbiert.

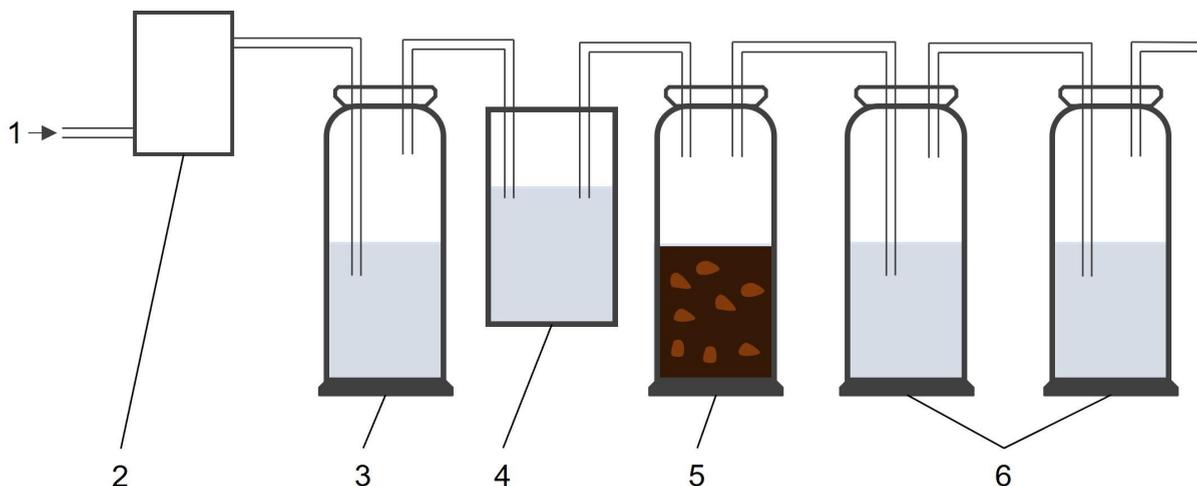


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des Abbaubarkeitsversuchs nach DIN EN ISO 17556:2019-09

Der komplette Versuchsaufbau, wie in Abbildung 3 gezeigt, bestand aus neun identischen Aufbauten: Jeweils drei Systeme dienten als Nullprobe und enthielten nur Erde und keine Materialprobe, weitere drei dieser Systeme dienten als Referenz. Sie enthielten 2,5 g Cellulosefasern bzw. Stärkepolver, deren Abbau gut bekannt ist. Die letzten drei Systeme waren zur Untersuchung der eigentlichen Proben gedacht. Diese enthielten neben der oben beschriebenen Erde zusätzlich 2,5 g Mulchmaterial, das auf seine aerobe Abbaubarkeit getestet werden sollte. Da der Abbau unter Freisetzung von Kohlenstoffdioxid erfolgte, konnte durch das Bestimmen der Menge CO₂ ein Rückschluss auf den Abbaupro-

zess gezogen werden. Die Nullprobemessung sollte die Eliminierung des Einflusses anderer Kohlenstoffdioxidquellen wie aus dem Boden, der Luft etc. ermöglichen.



Abbildung 3: Aufbau des Abbaubarkeitsversuchs mit drei Nullprobenkolben (links), drei Probenkolben (Mitte) und drei Referenzkolben (rechts)

4.1.8 Rückstandsanalytik Pflanzenöl im Boden

Um den möglichen Einfluss des Mulchmaterials auf das Bodenleben ausschließen zu können, wurden Erdproben unter dem Mulchmaterial auf Rückstände analysiert. Die Inhaltsstoffe Stärke, Sorbitol und Natriumalginat schieden für die Analytik 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 hier erschweren würde. Als Analyt wurde deshalb Rapsöl ausgewählt. Aufgrund seines unpolaren Charakters kann es gut mit unpolaren Lösungsmitteln extrahiert werden. Außerdem kommt es im Boden nicht vor, wodurch die Genauigkeit der Analyse 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 Cellulosehülse 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 derivatisiert 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 ausgeschüttelt. Die organische Phase wurde abgenommen, eingedampft und nochmals in 1 ml Hexan aufgenommen. Die Probe wurde in die Gaschromatografie gegeben.

4.2 Experimente im Gewächshaus

Um die Beikrautunterdrückung des Mulchmaterials schnell und unter reproduzierbaren Umgebungsbedingungen testen zu können, wurden Versuche im Gewächshaus mit ausgewählten Beikräutern durchgeführt. Diese praxisnahen Experimente sollen als Grundlage zur Auswahl geeigneter Rezepturen für die Praxistests dienen.

4.2.1 Keimtests

Für die Eignung zur Beikrautregulierung muss das Mulchmaterial vor den geplanten Praxisversuchen in anwendungsnahen Bereichen getestet werden. Hierfür wurden in Aussaatkisten (0,35 × 0,55 m) typische Beikräuter kultiviert und anschließend mit dem Mulchmaterial behandelt. Zu Beginn sollten repräsentative Beikrautarten aus dem Weinberg bestimmt und mit dem gewählten Saatgut Keimtests durchgeführt werden. Für die Keimtests wurden jeweils zehn Samen auf ein befeuchtetes Filterpapier gegeben, das in einer Petrischale lag. Die Schale wurde mit einem Deckel verschlossen, damit das Papier nicht austrocknete. Der Versuch wurde dreifach mit den jeweiligen Beikrautarten durchgeführt.

4.2.2 Vortests mit Vorzugsrezepturen

Um die Eignung der entwickelten Rezepturen zur Beikrautregulierung zu untersuchen, wurden Vorversuche im Gewächshaus mit typischen Beikrautarten durchgeführt. Hierfür wurden Fluggafer (*Avena fatua*), Vogelmiere (*Stellaria media*), Amarant (*Amaranthus retroflexus*) und Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) ausgesät. Das spritzbare Mulchmaterial wurde auf Pflanzen nach unterschiedlich langen Wachstumsperioden getestet. Für die Aussaat wurden die Saatkörner abgezählt, sodass in jeder Pflanzkiste in etwa die gleiche Anzahl an Beikräutern aufwuchs. Im Wochentakt wurden dann neue Pflanzkisten angesät, um die Behandlung mit dem Mulchmaterial an unterschiedlichen Wachstumsstadien durchführen zu können. Zudem wurde noch eine Variante mit nicht gekeimtem Saatgut angelegt: Das Saatgut wurde auf der Erde ausgesät und direkt im Anschluss mit dem Mulchmaterial abgedeckt. Diese Variante sollte zeigen, ob Beikrautsamen unter dem Mulchmaterial keimen und ggf. die Pflanzen dieses durchstoßen können. Abbildung 4 zeigt eine Übersicht über einen Gewächshausversuch mit Pflanzen in unterschiedlichen Wachstumsstadien. Für die geplanten Experimente mit der linearen Vorschubeinheit (siehe Abschnitt 5.2.4.1) sollten die Aussaatkisten immer mit einer vorgegebenen Anzahl

an Beikräutern bestückt sein. Hierfür wurden je 90 Samen von Amarant, Flughafener und Vogelmiere und 40 Samen von der Ackerkratzdistel verwendet. Nach den Keimtests ergaben sich rechnerisch jeweils 25 Pflanzen pro Kiste, was einen Gesamtbewuchs von 520 Pflanzen pro Quadratmeter ergab. Diese hohe Bepflanzungsdichte wurde ausgewählt, da schnell ein hoher Bewuchs erzielt werden sollte. Die Anzucht der Beikräuter erfolgte zu bestimmten Zeitpunkten (0, 1, 2, 3, 4, 5 und 6 Wochen vor dem Aufspritzen), um unterschiedliche Wachstumsstadien mit dem Mulchmaterial behandeln zu können.



Abbildung 4: Aussaatkisten mit Beikräutern vor und nach Applikation mit dem Mulchmaterial

Da die geschlossene Schicht aus Mulchmaterial bei den Gewächshausversuchen bei Überkopfbewässerung möglicherweise eine ungleichmäßige Wasserversorgung des Saatguts bewirken könnte, wurden die Pflanzen durch Anstauen des Wassers von unten bewässert. Einmal wöchentlich erfolgte die Bonitur mithilfe einer Fotodokumentation bei stets gleicher Position des Fotoapparats über den Aussaatkisten.

Für den Versuch wurden die drei bis dato am besten eingeschätzten Rezepturen R88a, R105d und R114k verwendet (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Zusammensetzung der Rezepturen R88a, R105d und R114k

Komponente	Bestandteil	Anteil in Masse-%		
		R88a	R105d	R114k
A	Rapsöl	26,5	31,1	30,1
	Natriumalginat	1,1	0,9	1,2
	Calciumsulfat	1,3	1,5	1,5
	BC200-Fasern	2,4	2,4	2,3
B	Stärke	11	12,7	12,3
	Wasser	50,9	46,1	44,6
	Glycerin	4,1	4,6	4,5
	Natriumphosphat	0,2	0,1	0,3
	Natriumbenzoat	0,5	0,6	1,1
	Sorbitol	2	0	2,2

4.3 Entwicklung einer Applikationstechnik

Das Mulchmaterial sollte an verschiedenen Standorten eingesetzt werden. Um sicherzugehen, dass die Ergebnisse der Standorte vergleichbar sind, war eine einheitliche und reproduzierbare Ausbringung erforderlich. Hierfür wurde ein Prototyp entwickelt und gebaut, mit dem einstellbare Schichtdicken ausgebracht werden konnten. Dieser Prototyp wurde praxisnah konzipiert und konnte sowohl für Feldversuche als auch für Versuche im Technikum oder Gewächshaus verwendet werden.

4.3.1 Konzeption einer linearen Vorschubeinheit

Das Mulchmaterial sollte in einer einstellbaren Schichtdicke gleichmäßig auf die Aussaatkisten gespritzt werden können. Um die Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, wurde eine lineare Vorschubeinheit entwickelt, die es erlaubt, die Aussaatkisten unter der Spritzdüse in einer vorgegebenen Geschwindigkeit hindurch bewegen zu können. Das Mulchmaterial wurde dann über an der Vorschubeinheit am Rahmen befestigte Düsen aufgespritzt. Durch Anpassung des Durchflusses der Pumpen und der Geschwindigkeit der Vorschubeinheit konnte die Ausbringmenge je Fläche bzw. die Schichtdicke des Materials eingestellt werden.

4.3.2 Aufbau und Optimierung des Applikationssystems

Um die geplanten Praxisversuche durchführen zu können, musste eine geeignete Applikationstechnik für den Einsatz in Wein- und Obstanlagen etabliert sein. Vorteilhaft war ein Applikationsgerät, das sowohl für die Gewächshaustests als auch für den Feldeinsatz geeignet ist. Ziel war es demnach, unter anderem ein Pumpsystem zu konzipieren, das den Anforderungen an das Dosieren des Mischungsverhältnisses und der Pumpleistung entspricht, aber auch mobil einsetzbar war, um im Feldtest Verwendung zu finden.

Das System für die Applikation von Mulchmaterial (SAM) wurde für die im Frühjahr 2020 angesetzten Freilandversuche fertiggebaut. Seitdem wurden fortlaufend Optimierungen vorgenommen. Es wurde ein Gleitschuh angebracht, um einen immer gleichbleibenden Abstand von den Spritzdüsen zum Boden zu gewährleisten. Außerdem wurde die Größe der Vorratsbehälter angepasst, um mehr Material aufnehmen zu können. Dadurch kann eine größere Fläche behandelt werden, ohne Material nachfüllen zu müssen. Das Fassungsvermögen der Behälter wurde von 45 l auf 95 l mehr als verdoppelt. Um Druckschwankungen und Pulsationen zu minimieren, wurden Querschnitt, Verlauf und Biegeungsradien der Leitungen optimiert. Enge Kurven und Veränderungen des Rohrdurchmessers wurden so weit wie möglich entfernt. Um die Pulsation der Schlauchpumpen abzufangen, wurde in jedem Kreislauf ein Pulsationsdämpfer verbaut.

Anfangs wurden beide Komponenten mithilfe eines Statikmischers vermengt. Dieses Verfahren bot zwar den Vorteil einer sehr homogenen und vollständigen Vermischung, allerdings war der Reinigungsaufwand nach jedem Spritzvorgang sehr hoch. Dabei traten Probleme an Bauteilen auf, die in direktem Kontakt mit den vermischten Komponenten A und B standen. Die Mischkammer, der Statikmischer und die Düse mussten nach jeder Applikation gründlich gereinigt werden, da durch das Aushärten des Materials die Bauteile zu verstopfen drohten. Diese Reinigungsarbeiten waren sehr zeit- und arbeitsintensiv und so nicht oder nur schwierig in größerem Maßstab durchführbar. Auch im Hinblick auf eine praxistaugliche Anwendung sollten arbeits- und zeitintensive Reinigungsschritte verbessert werden. Zudem wurde bei Versuchen unnötig Material verschwendet, da Vor- und Nachlauf durch das Vermischen nicht mehr in das System rückgeführt werden können. Aus diesen Gründen wurde das Verfahren auf Vermischen der beiden Komponenten „im Spritzstrahl“ weiterentwickelt. Hierfür kamen die beiden Komponenten A und B erst nach Austritt aus den Düsen in Kontakt, sodass keine größeren Verunreinigungen im Gerät zu erwarten waren. Aufgrund der unterschiedlichen Viskositäten der Komponenten und der unterschiedlichen zu vermischenden Mengenanteile hatte sich ein Drei-Düsen-System als Lösung ergeben. Die Ölkomponente wurde mittig nach unten gespritzt, während die wässrige Komponente über zwei Düsen von vorne und hinten schräg auf den Strahl der Ölkomponente auftraf.

4.3.3 Bestimmung der Durchflussmenge

Das Mulchmaterial sollte im Mischungsverhältnis 1 : 1,8 ausgebracht werden. Damit dieses Verhältnis erreicht wurde, musste die Fördermenge der beiden Schlauchpumpen mit den einzelnen Komponenten A und B bekannt sein. Für diese Bestimmung wurde über den Zeitraum einer Minute Material in einen Eimer gespritzt und dieses Material anschließend gewogen. Die Massen pro Minute wurden dann als lineare Regression aufgetragen.

4.3.4 Düsentests

In Versuchen wurden optimale Bauart und Bauform der marktverfügbaren Düsen ausgewählt. Diese hatten einen erheblichen Einfluss auf die Verteilung des Materials und damit auch auf die Vermischung. Um die geeigneten Düsen für den Aufbau zu finden, wurden die einzelnen Düsen beim Sprühen der beiden Komponenten fotografiert (vgl. Abbildung 5). Im Anschluss daran wurden die tatsächlichen Sprühwinkel der Düsen für die Komponenten A und B gemessen. Getestet wurden Vollkegeldüsen, Hohlkegeldüsen, Flachstrahldüsen und Agrardüsen mit Spritzwinkeln mit Wasser von 30°, 45°, 60° und 90°.

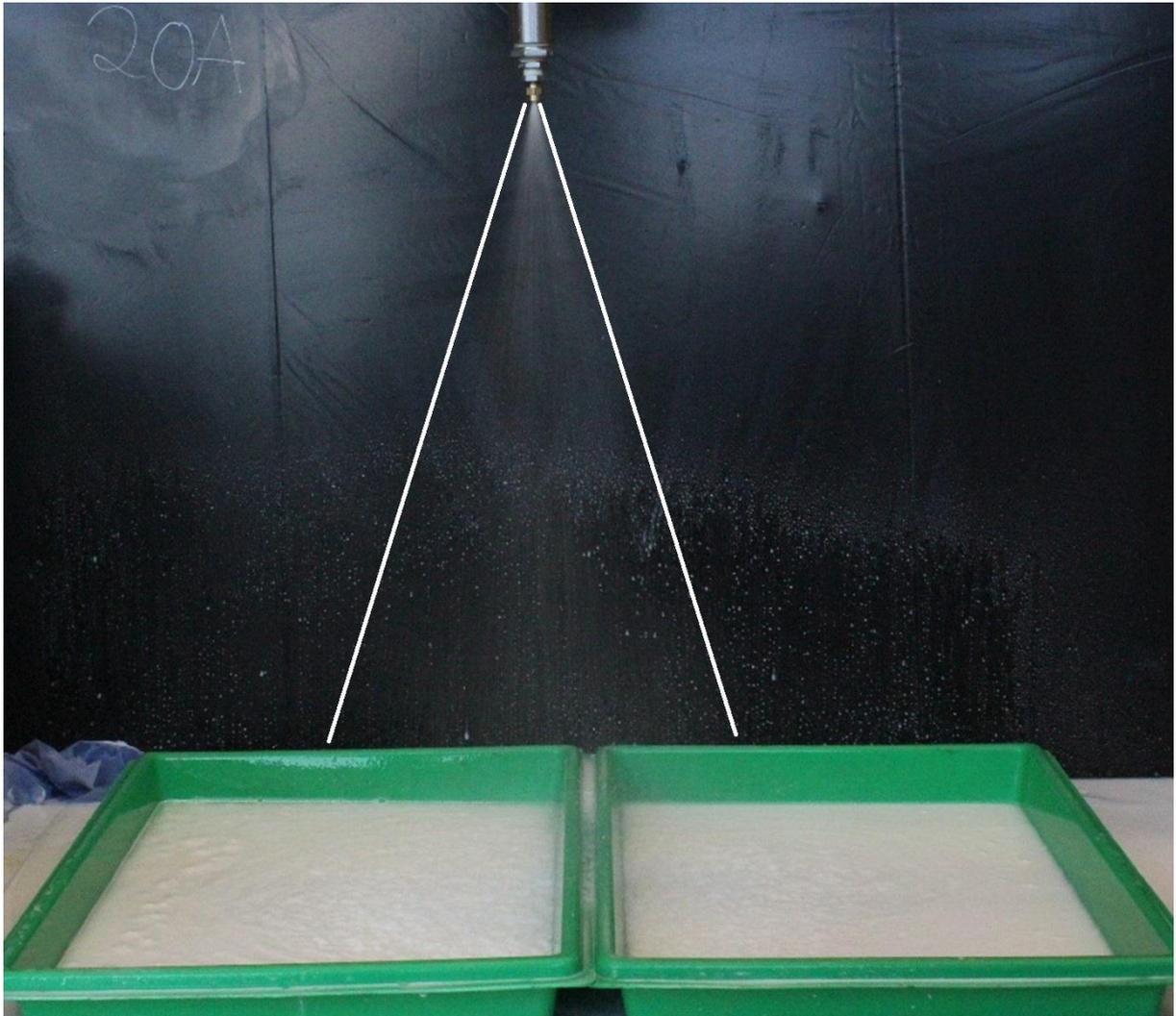


Abbildung 5: Bestimmung des Spritzwinkels für die Komponenten A und B mit unterschiedlichen Düsentypen

4.4 Feldversuche

Das entwickelte spritzbare Mulchmaterial sollte in praxisnahen Feldversuchen eingesetzt werden. Hierfür wurde an Versuchsstandorten in Deutschland (Veitshöchheim, Lage Thüngersheimer Ravensburg, Thüngersheim, Bavendorf, Schlachters und Straubing), Österreich (Leibnitz, Klosterneuburg, Korneuburg) und Italien (Pfatten) das Material in Obst- und Weinanlagen aufgespritzt. Die Corona-Pandemie hat die Durchführung der Versuche allerdings stark beeinträchtigt. Wegen der zeitweisen Reisebeschränkungen konnten 2020 nur Versuche in Straubing und 2021 nur Versuche in Deutschland durchgeführt werden. Trotz aller Einschränkungen konnten an allen Standorten zusammen insgesamt 23 Exaktversuche durchgeführt werden.

4.4.1 Versuchsflächen

Der Großteil der Versuche fand auf den Versuchsflächen der LWG in Veitshöchheim statt. Um die Ergebnisse abzusichern und den Einfluss der unterschiedlichen Boden-Klima-Räume zu untersuchen, wurden auch Versuche an den Standorten des KOB Bavendorf, Versuchsstation Schlachters (HSWT), Versuchsgut Götzhof Langenzersdorf (Österreich), Versuchsgut Haschhof Kierling (Österreich) und Versuchszentrum Laimburg (Südtirol) durchgeführt. Detaillierte Angaben zu den Versuchsstandorten sind im Anhang (S. 157 ff.) zu finden.

4.4.1.1 LWG Veitshöchheim Weinbau

Der Versuch wurde auf einem Versuchsweinberg Thüngersheimer Ravensburg der LWG durchgeführt. Die Fläche wurde für die Versuche von 2019 bis 2022 verwendet. Die Varianten sind im Abschnitt 4.4.4 beschrieben. Die Versuche wurden als Vierfachbestimmung durchgeführt. Behandelt wurde ein 40 cm breiter Streifen im Unterstockbereich. Eine Versuchszeile war ca. 50 m lang.

4.4.1.2 Kompetenzzentrum für Obstbau Bodensee Bavendorf

Der Versuch wurde in einer Apfelanlage auf den Flächen des KOB Bavendorf durchgeführt. Unterschieden wurden eine Herbizidvariante und die Mulchmaterialvariante 5 mm. Die Versuche wurden als Vierfachbestimmung durchgeführt. Behandelt wurde ein 80 cm breiter Streifen im Unterstockbereich. Eine Versuchszeile war 15 m lang.

4.4.1.3 LWG Veitshöchheim Obstbau

Der Versuch wurde in zwei Apfelanlage auf den Flächen der LWG durchgeführt. Unterschieden wurden eine unbehandelte Nullvariante und die Mulchmaterialvariante 5 mm. Behandelt wurde ein 80 cm breiter Streifen im Unterstockbereich. Eine Versuchszeile war 20 m bzw. 8 m lang.

4.4.1.4 Versuchsgut Götzhof – Langenzersdorf – Weinanlage (Österreich)

Der Versuch wurde auf dem Versuchsbetrieb Götzhof der HBLA Klosterneuburg durchgeführt. In dem Versuch wurden die drei Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung und Mulchmaterial 5 mm getestet. Der Versuch bestand aus vier Wiederholungen. Behandelt wurde ein 40 cm breiter Streifen im Unterstockbereich. Eine Versuchszeile war 15 m lang.

4.4.1.5 Versuchsgut Haschhof – Kierling – Obstanlage (Österreich)

Der Versuch wurde auf dem Versuchsbetrieb Haschhof der HBLA Klosterneuburg in der Kultur Zwetschken durchgeführt. In dem Versuch wurden die drei Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung und Mulchmaterial 5 mm getestet. Der Versuch bestand

aus vier Wiederholungen. Behandelt wurde ein 80 cm breiter Streifen im Unterstockbereich. Eine Versuchszeile war 12 m lang.

4.4.1.6 Laimburg (Südtirol)

Am Versuchszentrum Laimburg wurde das Mulchmaterial in vier Exaktversuchen untersucht. Die Versuche liefen in Apfel- und Weinanlagen, jeweils in einer Ertrags- und einer Junganlage. Jeder Versuch bestand aus vier Wiederholungen. Eine Versuchszeile im Weinbau war 15 m lang. Im Obstbau betrug die Länge einer Versuchszeile 8 m. Behandelt wurde ein 40 cm breiter Streifen (Weinbau) bzw. ein 80 cm breiter Streifen (Obstbau) im Unterstockbereich.

4.4.2 Wetterdaten am Standort Veitshöchheim

Das Klima in Unterfranken ist subkontinental durch gemäßigt warme Sommer und relativ milde, schneearme Winter geprägt. Das 30-jährige Jahresmittel der Lufttemperatur beträgt 9,0° C, die mittlere Niederschlagssumme 603 mm (DWD Station Würzburg, 1991–2020). Zur Beschreibung des Witterungsverlaufs wurde die Wetterstation (Adcon, Österreich) am Versuchsstandort herangezogen, die ganzjährig Klimadaten im 15-minütigen Intervall aufzeichnet. Die klimatischen Messwerte können über das onlinebasierte Programm addVANTAGE Pro 6.6, Adcon, Österreich abgerufen werden. Im Fokus standen Angaben zur Temperatur, die als Tagesminimum, Tagesmittelwert und Tagesmaximum zur Verfügung standen, zum Niederschlag und zur Windgeschwindigkeit als Tagesmittel. In Tabelle 5 sind die wichtigsten Witterungskenngrößen dargestellt.

Tabelle 5: Witterungskenngrößen der im Versuchsfeld angebrachten Wetterstation

Wetterkenngröße	Einheit
Tagesmitteltemperatur	°C
Tagesminimumtemperatur	°C
Tagesmaximaltemperatur	°C
Tagesniederschlag	mm
Mittlere Windgeschwindigkeit/Tag	m/s
Relative Luftfeuchtigkeit	%
Fotosynthetisch aktive Strahlung	$\mu\text{mol}/(\text{m}^2/\text{s})$

4.4.3 Versuchsaufbau am Standort Veitshöchheim Weinbau

Die Versuche wurden als vollständig randomisierte Rebanlage (Reihenanlage) mit verschiedenen Versuchsvarianten in vierfacher Wiederholung angelegt. Demnach hatte jede Versuchsvariante vier Rebzeilen, jeweils 50 Meter lang. In jeder Rebzeile befanden sich 34 Rebstöcke, davon waren je 26 Rebstöcke im Versuch. Die ersten und letzten vier Rebstöcke pro Rebzeile wurden wegen Randeffekten nicht berücksichtigt. Pro Variante waren insgesamt 104 Rebstöcke im Versuch.

Die Randomisierung der Varianten und deren Wiederholungen sowie die Wiederholung der unterschiedlichen Untersuchungspunkte fanden vor den ersten Behandlungen statt und wurden über den Versuchszeitraum beibehalten. Die Behandlungen zur Beikrautregulierung wurden im Unterstockbereich, 20 cm rechts und links vom Rebstock durchgeführt. Sämtliche Bonituren fanden innerhalb dieses Bereichs statt.

4.4.4 Versuchsvarianten am Standort LWG Veitshöchheim Weinbau

Die durchgeführten Varianten mit den natürlichen Substanzen, den Mulchmaterialvariationen sowie den Referenzvarianten sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Überblick der Versuchsvarianten von 2019 bis 2022

Bezeichnung	Details	2019	2020	2021	2022
Nullvariante	kein Herbizideinsatz, keine mechanische Beikrautregulierung	X	X	X	X
Mechanische Variante	regionalspezifische mechanische Beikrautregulierung	X	X	X	X
Chemische Variante	Totalherbizid Glyphosat, 5 l/ha Aufwandsmenge, Glyphos TF Classic, Cheminova, Dänemark	X	X	X	X
Rapsöl	Rapsöl, Lebensmittelqualität (Servisa System)	X	X	X	X
Essigsäure 10 %	Produkt aus Hobbygartenbereich „Roundup AC“, Fa. Cellaflor	X	X	X	X
Pelargonsäure (680 g/l)	„Beloukha®“, Firma Belchim, 8%ige Lösung, 160 l/ha	X	X	X	X
Hydroseeder mit Saatgut	Strohhäcksel-Cellulose-Mischung mit Delinat Mythopia III	X	X	-	-
Hydroseeder ohne Saatgut	Strohhäcksel-Cellulose-Mischung	X	X	-	-

Biozement	Biozementierung, Bildung von Calcit durch Bakteriensuspension	-	X	-	-
Mulchmaterial 2,5 mm früh	Mulchmaterial TFZ, vor Vegetationsbeginn, Schichtdicke 2,5 mm	-	-	X	X
Mulchmaterial 5 mm früh	Mulchmaterial TFZ, vor Vegetationsbeginn, Schichtdicke 5 mm	-	-	X	X
Mulchmaterial 2,5 mm spät	Mulchmaterial TFZ, nach Vegetationsbeginn, Schichtdicke 2,5 mm	-	-	-	X
Mulchmaterial 5 mm spät	Mulchmaterial TFZ, nach Vegetationsbeginn, Schichtdicke 5 mm	-	-	X	X

Im Folgenden werden die einzelnen Versuchsvarianten von 2019 bis 2022 näher erläutert.

Nullvariante – keine mechanische Beikrautregulierung, keine chemische Beikrautregulierung

Variante mechanisch – mechanische Beikrautregulierung

In Tabelle 7 sind die Termine der mechanischen Bodenbearbeitungen in Variante 2 (mechanische Variante) pro Jahr aufgelistet. Die zwischen den Jahren variierenden Behandlungsmengen waren unter anderem abhängig von der Witterung und dem Bewuchs.

Tabelle 7: Termine der mechanischen Bodenbearbeitung und der Applikation von Glyphosat

Behandlungstermine	Löffelschar-Unterstockräumer	Applikation Glyphosat
2019	05.06.2019	27.06.2019
	08.08.2019	22.08.2019
2020	09.04.2020	19.05.2020
	26.05.2020	30.06.2020
	07.07.2020	
2021	27.04.2021	28.04.2021
	27.07.2021	02.06.2021
2022	03.05.2022	03.05.2022
	27.06.2022	28.06.2022

Herbizidvariante (Glyphosat)

Bei der chemischen Kontrollvariante wird der Wirkstoff Glyphosat eingesetzt.

Verwendetes Produkt:

Glyfos TF Classic, 360 g/l, Aufwandmenge 5 l/ha, Wasseraufwandmenge 200 l/ha, Firma Cheminova, Dänemark

Die Ausbringungsmenge betrug je Behandlungstermin 10 ml/m² (100 l/ha), behandelt wurde der Unterstockbereich von 0,4 m Breite und einer Länge von 50 m pro Versuchszeile.

Applikation:

Die Applikation erfolgte mit einer Rückenspritze (Rückenspritze 475 Classic, 16 Liter, Firma Solo, Deutschland) mit Membranpumpe und einer Flachstrahldüse (F80-03, Blau, Firma Solo, Deutschland). Die Rückenspritze wurde vor der Applikation auf der Versuchsfläche ausgelitert. Die Verwendung eines Spritzschirms (Spritzschirm oval, Firma Solo, Deutschland) ermöglichte die Applikation einer Zielbreite von 40 cm im Unterstockbereich, einseitig. Die Applikation wurde bei 3,7 km/h und 2,5 bar Druck durchgeführt. In Tabelle 7 sind die Applikationstermine dargestellt.

Variante Rapsöl

Verwendetes Produkt:

Rapsöl in Speiseölqualität (SERVISA, 10-l-Box, Firma Service-Bund GmbH & Co. KG, Deutschland)

Die Ausbringungsmenge betrug je Behandlungstermin 150 ml/m² (1.500 l/ha), behandelt wurde der Unterstockbereich von 0,4 m Breite und einer Länge von 50 m pro Versuchszeile.

Applikation:

Die Applikation erfolgte mit einer Rückenspritze (Rückenspritze 475 Classic, 16 Liter, Fa. Solo, Deutschland) mit Membranpumpe und einer Flachstrahldüse (F80-05, Rot, Fa. Solo, Deutschland). Die Rückenspritze wurde vor der Applikation auf der Versuchsfläche ausgelitert. Die Verwendung eines Spritzschirms (Spritzschirm oval, Fa. Solo, Deutschland) ermöglichte die Applikation einer Zielbreite von 40 cm im Unterstockbereich, einseitig. Die Applikation wurde bei 1,2 km/h und 2,5 bar Druck durchgeführt. In Tabelle 8 sind die Applikationstermine dargestellt.

Tabelle 8: *Behandlungstermine der natürlichen Substanzen Rapsöl, Essigsäure und Pelargonsäure 2019 bis 2022*

Behandlungs- termine	Applikation Rapsöl	Applikation Essigsäure	Applikation Pelargonsäure
2019	27.06.2019	27.06.2019	27.06.2019
	22.08.2019	22.08.2019	22.08.2019
2020	19.05.2020	19.05.2020	19.05.2020
	30.06.2020	30.06.2020	30.06.2020
2021	28.04.2021	28.04.2021	28.04.2021
	02.06.2021	02.06.2021	02.06.2021
2022	03.05.2022	03.05.2022	03.05.2022
	28.06.2022	28.06.2022	28.06.2022

Variante Essigsäure

Verwendetes Produkt:

Gebhardt's Doppel-Branntweinessig weiß, 10 % Säure, 10-l-Kanister (Firma Ernst Gebhardt Essig-Manufaktur GmbH & Co KG, Deutschland)

Die Ausbringungsmenge betrug je Behandlungstermin 100 ml/m² (1.000 l/ha), behandelt wurde der Unterstockbereich von 0,4 m Breite und einer Länge von 50 m pro Versuchszeile.

Applikation:

Die Applikation erfolgte mit einer Rückenspritze (Rückenspritze 475 Classic, 16 Liter, Fa. Solo, Stuttgart, Deutschland) mit Membranpumpe und einer Flachstrahldüse (F80-03, Blau, Fa. Solo, Stuttgart, Deutschland). Die Rückenspritze wurde vor der Applikation auf der Versuchsfläche ausgelitert. Die Verwendung eines Spritzschirms (Spritzschirm oval, Fa. Solo, Stuttgart, Deutschland) ermöglichte die Applikation einer Zielbreite von 40 cm im Unterstockbereich, einseitig. Die Applikation wurde bei 3,7 km/h und 2,5 bar Druck durchgeführt. In Tabelle 8 sind die Applikationstermine dargestellt.

Variante Pelargonsäure

Verwendetes Produkt:

Pelargonsäure (Beloukha, Firma Belchim, 680 g/l, Belgien)

Die Ausbringungsmenge betrug je Behandlungstermin 6,4 ml/m² (64 l/ha), behandelt wurde der Unterstockbereich von 0,4 m Breite und einer Länge von 50 m pro Versuchszeile.

Applikation:

Die Applikation erfolgte mit einer Rückenspritze (Rückenspritze 475 Classic, 16 Liter, Fa. Solo, Deutschland) mit Membranpumpe und einer Flachstrahldüse (F80-03, Blau, Fa. Solo, Deutschland). Die Rückenspritze wurde vor der Applikation auf der Versuchsfläche ausgelitert. Die Verwendung eines Spritzschirms (Spritzschirm oval, Fa. Solo, Deutschland) ermöglichte die Applikation einer Zielbreite von 40 cm im Unterstockbereich, einseitig. Die Applikation wurde bei 3,7 km/h und 2,5 bar Druck durchgeführt. In Tabelle 8 sind die Applikationstermine dargestellt.

Mulchmaterialvarianten

Die Details der Versuchsplanung mit den Mulchmaterialvarianten sind in Abschnitt 4.4.5 aufgeführt.

Variante Biozement

Verwendetes Produkt:

190 g/m² (1.900 kg/ha) Pulverapplikation des Bakterienstamms der Firma Bind-X. Diese Pulverapplikation wurde mit 2 l/m² (20.000 l/ha) Wasser angegossen, um die enthaltenen Bakterien zu aktivieren. Die Applikation wurde vom Personal der Firma Bind-X am 27.04.2021 durchgeführt. Im Jahr 2022 wurde das Produkt nicht weiter getestet, da es im Tastversuch 2021 nicht überzeugen konnte.

4.4.5 Technische Parameter der Versuche mit dem spritzbaren Mulchmaterial

In den Rebanlagen wurde mit einer Überfahrt ein 40 cm breiter Streifen unter die Rebstöcke appliziert. Als angesetzte Schichtdicke wurde 2,5 mm bzw. 5 mm aufgetragen. Im Obstbau wurde ein 80 cm breiter Streifen aufgetragen. Dieser wurde in zwei Überfahrten – jeweils 40 cm links und 40 cm rechts vom Stamm – überlappend aufgespritzt. Hier wurde nur eine theoretische Schichtdicke von 5 mm ausgebracht. Appliziert wurde mit Flachstrahldüsen (Firma Lechler, 60°, 1,60 mm Querschnitt, 632 644 – in den Versuchsjahren 2020 und 2021) und mit Agrardüsen (AGROTOP APG [Ölphase: Schwarz, Wasserphase: Grau], Spritzwinkel 60°, Versuchsjahr 2022), die das Mulchmaterial im Sprühstrahl vermischen. Insgesamt wurden zwei solcher Düsensets verwendet, um Spritzschatten weitestgehend zu vermeiden. Die Anpassung der Schichtdicke erfolgte über die Fahrgeschwindigkeit des Schleppers und die Fördermenge der Pumpen. Die Zusammensetzung der verwendeten Vorzugsrezeptur R114k ist in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9: Zusammensetzung der verwendeten Rezeptur R114k bei den Feldversuchen

Komponente	Bestandteil	Funktion	Anteil in Masse-%
A	Rapsöl	Basis	30,1
	Natriumalginat	Geliermittel	1,2
	Calciumsulfat	Gelierhilfsmittel	1,5
	Cellulosefasern	Füllstoff	2,3
B	Stärke	Bindemittel	12,3
	Wasser	Lösungsmittel	44,6
	Glycerin	Weichmacher	4,5
	Natriumphosphat	Steuerung der Gelierung	0,3
	Natriumbenzoat	Konservierungsmittel	1,1

Bei allen durchgeführten Versuchen wurden folgende Parameter für die Applikation gewählt:

- Durchfluss Pumpe A (Öl): 4,2 l/min
- Durchfluss Pumpe B (Wasser): 7,9 l/min
- Spritzbreite: 40 cm
- Geschwindigkeit Traktor:
 - 5 mm Schichtdicke: 0,33 km/h
 - 2,5 mm Schichtdicke: 0,66 km/h

Neben der grundsätzlichen Eignung des Mulchmaterials als Beikraut regulierende Methode wurden bei den Versuchen auch Fragestellungen wie der Applikationszeitpunkt, die Schichtdicke und die Beschaffenheit des Untergrunds untersucht. Durch die Wahl der verschiedenen Standorte war es zudem möglich, den Einfluss des Boden-Klima-Raums und der Witterung wie Temperatur und Niederschlag auf den Erfolg der Methode zu beobachten.

4.4.6 Bodenbedeckungsgrad der Beikrautvegetation

Zur Bestimmung des Beikrautaufwuchses wurde in den Versuchsjahren 2019 bis 2022 der Bodenbedeckungsgrad herangezogen. Der Bodenbedeckungsgrad der Beikrautvegetation in Prozent wird mit dem Auswertungsprogramm „ImageJ Fiji“ (RSB of the National Institute of Mental Health [NIMH], USA) ermittelt [60]. Das Programm „Fiji“ berechnet anhand einer Fotografie des Bodens mit der Beikrautvegetation die Anzahl aller grünen Pixel (Beikrautvegetation) im Bild und setzt sie ins Verhältnis zur Gesamtpixelanzahl (aller anderen Pixelfarben) der Fotografie.

Dazu wurden in „Fiji“ die Plugins „color pixel counter“ und „threshold color“ installiert, die die gewünschten Befehle ausführten. Nach der von ALI et al. (2015) [1] beschriebenen Methodik konnte das Programm bei Boden-Vegetations-Aufnahmen basierend auf Farbton- und Helligkeitswerten unterscheiden, ob es sich um Boden, grüne Pflanzenteile oder abgestorbenes Pflanzenmaterial handelte. Mithilfe eines HSB-Stack-Splitters wurden die Vegetationsaufnahmen in Farbton, Sättigung und Helligkeit aufgeteilt. Grüne und nicht grüne Pixel (Boden und abgestorbene Pflanzenrückstände) wurden segmentiert. Alle Pixel im Hintergrund verschwanden, indem die Farbtonwerte im Farbschwellenwert angepasst wurden. Mit einem Medianfilter konnten kleine Rauschelemente (Rauschpixel) reduziert und das Segmentierungsergebnis verbessert werden. Auch unerwünschte Schatten konnten so entfernt werden. Die Ergebnisse der Farbtonsättigung und Farbtonschwellenwerte wurden durch das Programm kombiniert. Das Ergebnis (binäres Format) des fertigen Bilds enthielt nur die Pixel der grünen Beikrautvegetation. Diese Pixel wurden vom Programm gezählt, um den Prozentsatz des Deckungsgrads aus jedem Boniturbereich (1.500 cm²) zu berechnen. Um Zeit zu sparen, wurde ein Batch-Prozess programmiert. Mit diesem Befehl konnten viele Vegetationsbilder vom Programm automatisch bearbeitet werden. Abbildung 6 zeigt eine Vegetationsaufnahme, die durch „Fiji“ in binärer Form umgewandelt und in der der Bodenbedeckungsgrad der Beikrautvegetation durch die Software berechnet wurde. Für diesen Fall ergab sich eine Gesamtpixelzahl von 24.000.000, was einem Deckungsgrad von 9,81 % entspricht.

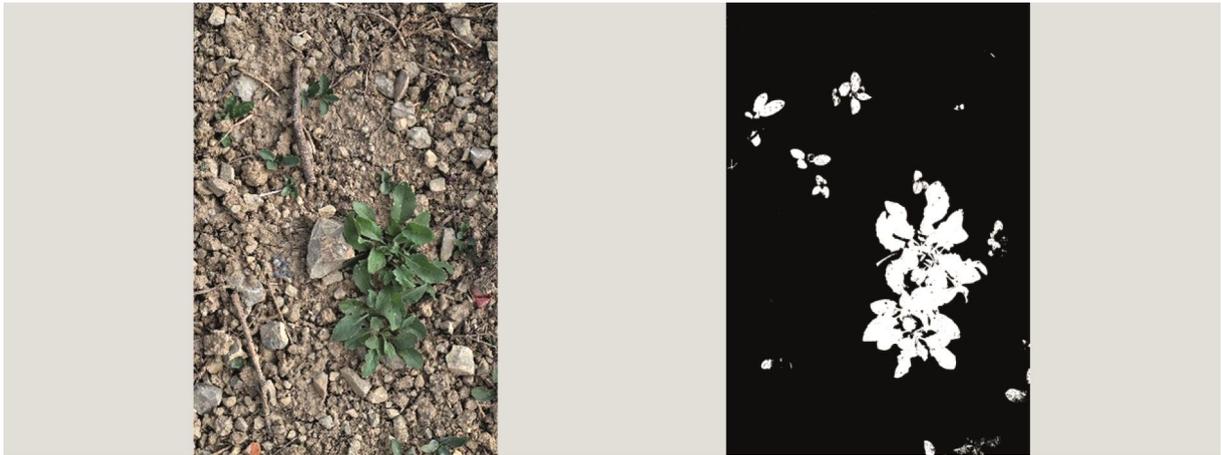


Abbildung 6: Beispiel Vegetationsaufnahme und binäres Format der Vegetationsaufnahme nach Berechnung des Bodenbedeckungsgrads, weiße Bereiche entsprechen dem Bereich der gezählten grünen Pixel

Um vergleichbare, einheitliche Vegetationsaufnahmen zu erhalten, wurde ein Boniturrahmen nach dem Prinzip des Göttinger Schätzrahmens angefertigt. Die Fläche, die der Rahmen umspannte, betrug 1.500 cm^2 . Auf dem befestigten Stativ des Rahmens wurde eine Spiegelreflex-Kamera (Canon Eos 50 M) mit Weitwinkelobjektiv (Canon 15–45 mm) befestigt (Firma Canon, Tokio, Japan). Die Kamera war in Höhe von 83 cm am Stativ über dem Boden am Rahmen befestigt (siehe Abbildung 7).

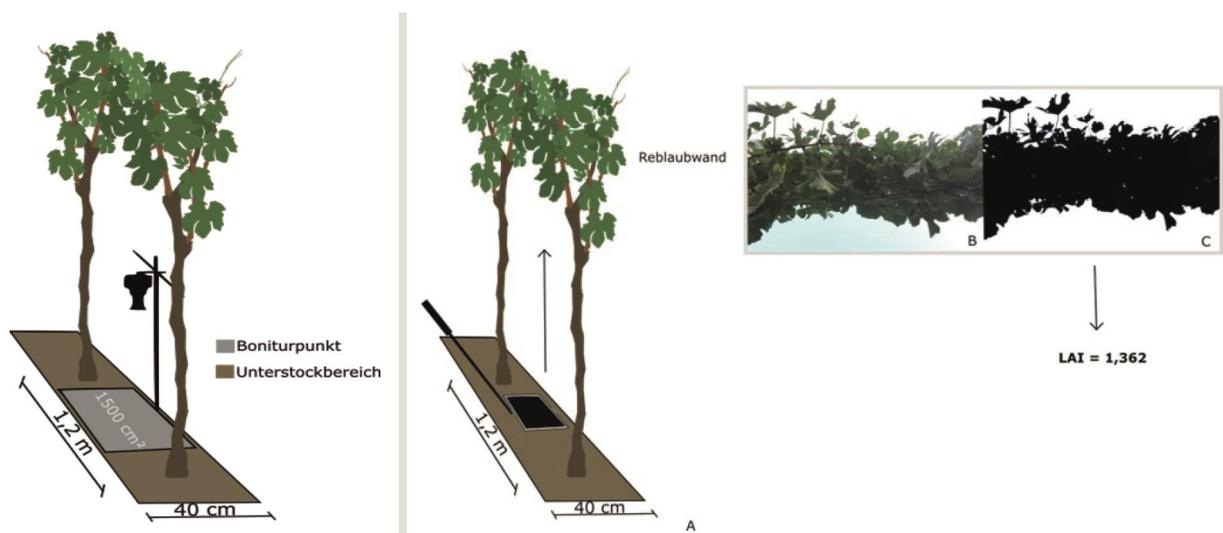


Abbildung 7: Links: Schematische Darstellung des Boniturrahmens zur Ermittlung des Bodenbedeckungsgrads der Beikrautvegetation im Unterstockbereich der Rebe. Rechts: Schematische Darstellung der LAI-Messung mit der VitiCanopy-App; A: Darstellung der Tablet-Platzierung unterhalb der Reblaubwand; B: Fotografie der Laubwand; C: binäres Format der Fotografie B zur Berechnung des LAI

Die Bonituren zur Ermittlung des Bodenbedeckungsgrads der Beikrautvegetation wurden unterschiedlich festgelegt. Die randomisierten Boniturflächen, auf die der Schätzrahmen zu diesen Zeitpunkten aufgebracht wurde, wurden über den Versuchszeitraum stets beibehalten. Die mindestens veranschlagten Boniturzeitpunkte zur Ermittlung des Bodenbedeckungsgrads der Beikrautvegetation in den Versuchsjahren 2019 bis 2022 waren: ein bis max. drei Tage vor der Behandlung/Applikation der Substanzen, eine Woche nach der Behandlung/Applikation der Substanzen, vier Wochen nach der Behandlung/Applikation der Substanzen, acht Wochen nach der Behandlung/Applikation der Substanzen und zur Erntezeit.

4.4.7 Einfluss auf die Beikrautarten und die Beikrauttrockenmasse

Zur Erfassung der Beikrautarten und Beikrauttrockenmasse wurden in allen Versuchsgliedern die Unkrautarten ausgezählt und die oberirdische Beikrauttrockenmasse (Trockengewicht in g/1.500 cm²) ermittelt. Dazu wurde eine 1.500 cm² große Fläche jeweils viermal pro Wiederholung und Versuchsvariante ausgewertet und die oberirdische (ohne Wurzelmasse) Beikrautvegetation abgeschnitten und in Papiertüten zwischengelagert. Im Labor wurden anschließend die Beikrautarten je Boniturzeitpunkt ermittelt und ausgezählt. Anschließend kam das Pflanzenmaterial wieder zurück in die Papiertüte und wurde für drei Tage bei 90 °C im Trockenschrank (Memmert, Schwabach, Deutschland) getrocknet. Die angegebenen Werte einer Versuchsvariante sind Mittelwerte aus 16 Auszählungen. Im Versuchsjahr 2021 wurden im Mai, Juli und September die Beikrauttrockenmasse und die Beikrautarten ermittelt. Im Versuchsjahr 2022 konnte die Ermittlung der Beikrauttrockenmasse und der Beikrautarten ausschließlich im Juni und September durchgeführt werden. Tabelle 10 listet die Termine zur Ermittlung der oberirdischen Beikrautbiomasse.

Tabelle 10: Boniturtermine Beikrauttrockenmasse und Beikrautarten 2021 und 2022

2021	2022
20.05.2021	13.06.2022
20.07.2021	27.09.2022
20.09.2021	-

4.4.8 Einfluss auf das Rebenwachstum

4.4.8.1 Blattflächenindex (LAI, Leaf Area Index)

Der Blattflächenindex (LAI, Leaf Area Index) ist ein Parameter für die Wachstumsanalyse. Der LAI gibt das Verhältnis der gesamten Blattoberfläche eines Bestands zur horizontalen Bodenfläche an:

$$LAI = \text{Blattfläche des Bestands in m}^2 / \text{Bodenoberfläche in m}^2 \quad (1)$$

Existieren keine Blätter, beträgt der LAI = 0, entspricht die Blattfläche der horizontalen Bodenfläche ist LAI = 1, ist die Blattfläche doppelt so groß wie die Bodenfläche, ist LAI = 2. Der Blattflächenindex kann direkt durch destruktive Blattentnahme oder indirekt ermittelt werden. Die wesentlich einfachere und Zeit sparende Methode ist die indirekte Blattflächenmessung. Dabei wird die Strahlung oberhalb (Referenzwert) und unterhalb des Pflanzenbestands vom Messgerät verglichen. Aus der Differenz, die sich durch die Reflexion und Absorption des Lichts durch den Bestand ergibt, wird die Blattfläche errechnet. Ein Nachteil ist, dass solche Messgeräte relativ teuer oder für manche Versuchsaufbauten/Versuchsdesigns nicht geeignet sind, da ihr Messbereich beispielsweise zu groß ist und sie deshalb nur in Blockanlagen verwendet werden können. Kürzlich wurde von einer Forschungsgruppe der Universität Adelaide und Melbourne eine App (VitiCanopy) entwickelt, die auf einfache Art und Weise den LAI schätzen kann. VitiCanopy nutzt die Frontkamera und das GPS von Smartphones oder Tablets, um Bildanalysealgorithmen nach oben gerichteter digitaler Fotografien von Reblaubwänden (Blättern) zu implementieren, und berechnet so den LAI. Die Ergebnisse der VitiCanopy-App korrelieren gut mit Ergebnissen herkömmlicher Messmethoden anderer Messgeräte und die beschriebene Methode ist somit die kostengünstige Alternative [50]. Sie ist auch auf Reihenversuchsanlagen, wie sie in diesem Versuch angelegt sind, verwendbar. Aus diesen Gründen wurde diese Methode zur Bestimmung des LAI verwendet. Das Tablet (Apple iPad 10.2, Firma Apple Distribution International Ltd., Cupertino, CA) mit der installierten App wurde auf dem Boden platziert, sodass die Frontkamera mittig unterhalb der Reblaubwand platziert war. Die Laubwand von acht Reben pro Variante und die Versuchswiederholung wurden fotografiert. Zur Erleichterung der Handhabung und für möglichst gleiche Abstände zur Laubwand wurde das Tablet an einem Stativ befestigt. Die Frontkamera des Tablets wurde in einem Abstand von ca. 85 cm unterhalb der Laubwand positioniert. Anschließend wurde die Laubwand von unten aufgenommen. Die Kamera des Tablets wurde mithilfe eines Fernauslösers ausgelöst. Der LAI wurde in den Versuchsjahren 2021 und 2022 erfasst. In Abbildung 7 ist die Platzierung des Tablets unterhalb der Reben schematisch dargestellt.

4.4.8.2 Einfluss auf den Reifeverlauf der Trauben und den Ertrag

In den Jahren 2020 und 2021 wurden pro Versuchsvariante und Wiederholung jeweils 100 Beeren zu bestimmten Zeitpunkten randomisiert geerntet, um das 100-Beerengewicht in g, das Mostgewicht in °Oechsle, den Gesamtsäuregehalt in g/l und den pH-Wert zu ermitteln. Für die Ermittlung des Mostgewichts, der Gesamtsäure und des pH-Werts wurden die Trauben der jeweiligen Probe eingemaischt und Saftproben gezogen, die anschließend vom Fachzentrum Analytik der LWG ausgewertet wurden. Zur Berechnung des Zuckerertrags wurde mittels Oechsle-Zuckerkonzentrations-Relation von Troost [72] die Zuckerkonzentration des Mosts ermittelt und mit dem Mostertrag hl/ha multipliziert. Es wurde eine Mostausbeute von 75 % angenommen.

4.4.9 Abschätzung der Bodenaktivität durch die Tea-Bag-Index-Methode

Beim Tea Bag Index (TBI) handelt es sich um eine standardisierte wissenschaftliche Methode [36]. Mit dem TBI kann die Zersetzungsrates organischer Substanz (= abgestorbenes pflanzliches und tierisches Material) im Boden mit Teebeuteln (Grüntee und Rooibostee) bestimmt werden. Die Teebeutel werden dazu für drei Monate in acht Zentimeter Tiefe im Boden vergraben. Der Tee wird in dieser Zeit von Bodenorganismen zersetzt. Die Teebeutel werden vor dem Eingraben und nach dem Ausgraben trocken gewogen. Der Gewichtsverlust bildet die Grundlage zur Berechnung des TBI (siehe Methodik Keuskamp et al. [2013] [36]). Grüntee zersetzt sich schneller als Rooibostee. Rooibostee besteht im Gegensatz zu Grüntee überwiegend aus schwer zersetzbaren holzigen Materialien. Rooibostee zeigt daher nach drei Monaten kaum Gewichtsverlust und der Zersetzungsprozess ist noch nicht abgeschlossen. Abhängig von der Aktivität des Bodens und den darin lebenden Organismen kann der Tee nach drei Monaten zu 50 % zersetzt sein. Je mehr Material zersetzt wurde, desto aktiver sind die Bodenorganismen, die das organische Material abbauen.

2021 und 2022 wurden bei den Varianten „Nullvariante“, „mechanische Bodenbearbeitung“, „Glyphosat“, „Rapsöl“, „Essigsäure“, „Pelargonsäure“ und „Mulch 5 mm spät“ pro Feldwiederholung acht Teebeutelpaare in acht Zentimeter Tiefe vergraben. Die Standorte wurden mit einem Pflanzstäbchen aus Bambus markiert, damit die Teebeutel nach drei Monaten wiedergefunden werden konnten. Nach dem Ausgraben wurden die Teebeutel für drei Tage bei 60 °C im Trockenschrank (Memmert, Deutschland) getrocknet und anschließend gewogen.

4.4.10 Beeinflussung des Wasserhaushalts durch das Mulchmaterial

Zur Klärung des möglichen Einflusses des Mulchmaterials auf den Wasserhaushalt wurden Versuche sowohl am Technologie- und Förderzentrum als auch an der LWG in Veitshöchheim durchgeführt. Die LWG führte zu bestimmten Zeitpunkten hydraulische Leitfähigkeitsmessungen im Boden unter dem Mulchmaterial durch. Als Vergleich dienten jeweils die unbehandelte Nullvariante sowie eine mechanische Bodenbearbeitung.

4.4.10.1 Messung der volumetrischen Bodenfeuchte bei Versuchen am TFZ-Standort Straubing

Im Schaugarten des TFZ wurden volumetrische Bodenfeuchtesensoren der Firma Trübner vergraben. Die Sensoren wurden in zwei Tiefen (15 cm bzw. 30 cm, vgl. Abbildung 8) vergraben. Die Ergebnisse der Feuchtigkeitsmessung wurden anhand der Daten der ca. 100 m entfernten Wetterstation eingeordnet. Über den Sensoren wurde dann das Mulchmaterial in den Schichtdicken 2,5 mm und 5 mm appliziert. Als Referenzvariante wurde noch eine unbehandelte Referenz untersucht, bei der kein Mulchmaterial aufgespritzt wurde. Die Daten wurden als Dreifachbestimmung erhoben.



Abbildung 8: Platzieren der Sensoren zur Bestimmung der volumetrischen Bodenfeuchte in einer Tiefe von 15 cm bzw. 30 cm im Boden

4.4.10.2 Messung der volumetrischen Bodenfeuchte am Standort der LWG Veits- höchheim

Um den Einfluss des Mulchmaterials auf die Bodenfeuchtigkeit in die Messungen einzu-
beziehen, wurde die volumetrische Bodenfeuchte erhoben. Die Messungen erfolgten in
der Regel wöchentlich in folgenden Varianten: „Nullvariante“, „mechanische Bodenbear-
beitung“, „Mulch 2,5 mm früh“, „Mulch 5 mm früh“, „Mulch 2,5 mm spät“ und „Mulch 5 mm
spät“. Zur Messung diente der Bodenfeuchtesensor SM150 (Delta-T Devices Ltd, UK) in
Kombination mit dem Anzeigegerät HH150 (Delta-T Devices Ltd, UK). Der volumetrische
Feuchtigkeitsgehalt des Bodens wurde in einer Tiefe von 5,5 cm an sechs zufällig ausge-
wählten Punkten in jeder Versuchs-Wiederholung gemessen. Dazu wurden die Sensor-
spitzen, bis sie vollständig im Boden verschwunden waren, in den Boden gedrückt. An-

schließlich wurde am HH150 Anzeigergerät der Funktionsknopf gedrückt und die Messung ausgelöst. Die Werte wurden als „% Feuchtigkeit“ mit einer Genauigkeit von 0,1 % aufgezeichnet und ausgewertet.

4.4.10.3 Messung der gesättigten Wasserleitfähigkeit des Bodens am Standort der LWG Veitshöchheim

Um der Frage nachzugehen, ob durch das Mulchmaterial die gesättigte Wasserleitfähigkeit des Bodens beeinflusst wird, wurde im Rahmen dieses Projekts im Frühjahr und Herbst der Versuchsjahre 2021 und 2022 die Ringinfiltration Typ Saturo der Firma Meter Group, NE Hopkins, CT, USA, verwendet. Aufgrund des enormen Zeitaufwands dieser Messung konnten nicht alle Varianten getestet werden. In den getesteten Varianten „Nullvariante“, „mechanische Bodenbearbeitung“ und „Mulchmaterial 5 mm“ wurde an vier randomisiert ausgewählten Stellen das Messgerät angebracht. Dazu wurde ein Metallring mit einem Gummihammer und einer Schlagplatte in den Boden getrieben. Wegen der Hangneigung musste der Ring zudem mit Stellschrauben parallel zum Boden ausgerichtet werden. Die Einstecktiefe des Rings wurde auf 5 cm eingestellt. Anschließend wurden am Steuergerät der Druckkopf und die Pumpe angeschlossen, die mit zwei Wassertanks mit je 17 l verbunden waren. Innerhalb des Rings wurde dann langsam Wasser in den Boden gegeben. Für die Messungen wurde eine Einweichzeit von ca. 15 min gewählt, um den für die Durchführung des Tests erforderlichen Sättigungszustand des Bodens zu erreichen. Die Erreichung des tatsächlichen Sättigungszustands konnte anhand der Sättigungskurven im Steuergerät abgelesen werden. Bei Böden mit zu erwartenden geringen Infiltrationsraten (z. B. Bodenverdichtung) wurde der Unterdruck auf 5 cm und der Hochdruck auf 15 cm eingestellt (Empfehlung des Herstellers). Für jede Druckstufe wurde in der Regel eine Haltezeit von 15 min veranschlagt. Die Dauer einer Messung betrug ca. 45 min, die verbrauchte Wassermenge um die 50 l pro Messung.

5 Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse der ökologisch unbedenklichen Substanzen und des entwickelten spritzbaren Mulchmaterials dargestellt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf dem Mulchmaterial. Es werden für die Kernaussagen repräsentative Ergebnisse unterschiedlicher Standorte dargestellt. Die Boniturergebnisse der übrigen Standorte sind im Anhang ab Seite 157 zu finden.

5.1 Ökologisch unbedenkliche Substanzen

5.1.1 Biomasse und Beikrautarten natürliche Substanzen 2021 und 2022

Die Trockenmasse der oberirdischen Beikrautvegetation und die erhobene Anzahl der Beikrautarten der natürlichen Substanzen sowie der Referenzvarianten im Frühjahr und Herbst sind in Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen zwischen den Varianten und der Nullvariante keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$ im Tukey Test), mit Ausnahme von Rapsöl, das im September deutlich geringere Werte als die anderen natürlichen Substanzen aufzeigte (September: $30,30 \pm 9,31$). Das Jahr 2021 war geprägt durch regelmäßige Niederschläge im Frühjahr und Sommer. Der Beikrautdruck war als durchschnittlich bis überdurchschnittlich hoch anzusehen. Die natürlichen Substanzen wirken als Kontaktherbizid. Je größer die Beikrautvegetation ist, desto weniger Pflanzenmaterial wird beim Applizieren der Substanzen benetzt und geschädigt. Bei Beikrautarten mit komplexen Blattstrukturen, wie z. B. bei der Ackerkratzdistel ist eine flächendeckende Benetzung der Blätter schwierig. Es konnte beobachtet werden, dass sich daher viele Beikräuter wieder erholten und weitergewachsen sind. Daher kann eine Anwendung mit natürlichen Substanzen wenn überhaupt nur in den ersten Entwicklungsstadien empfohlen werden. Im Jahr 2022 war der Beikrautdruck durch die überdurchschnittliche Trockenheit bis in den Herbst hinein sehr viel, im Mittel um 90 % geringer. Weniger Beikräuter sind aufgelaufen, schlechter gewachsen oder frühzeitig vertrocknet. Beikräuter, die in der Haupttrockenphase schon weiter in ihrer Entwicklung waren, sind zum Großteil vertrocknet und haben durch ihr abgestorbenes Pflanzenmaterial den Boden wie eine Mulchschicht bedeckt. Auffällig ist das Ergebnis von Pelargonsäure im Juni 2022, die (nach Empfehlung des Versuchszentrums in Laimburg) zweimal kurz hintereinander (7 Tage) appliziert wurde, sodass sich ein signifikant besseres Ergebnis im Vergleich zu den anderen Varianten und dem Jahr 2021 einstellte. Allerdings konnte dieser Effekt im September 2022 nicht wiederholt festgestellt werden. Es wären weitere und genauere Untersuchungen notwendig, um dazu klarere Aussagen treffen zu können.

Die Anzahl der Beikrautarten variierte im Mai 2021 im Mittel mit $6,2 \pm 0,2$ (MW \pm SEM), bei der Nullvariante mit $1,3 \pm 0,1$ (MW \pm SEM) und bei der „mechanischen Bodenbearbeitung“ mit der geringsten Artenanzahl. Im Herbst hatten die „mechanische Bodenbearbeitung“ ($3,5 \pm 0,2$ MW \pm SEM), „Glyphosat“ ($3,0 \pm 0,3$ MW \pm SEM) und „Rapsöl“ ($4,0 \pm 0,2$ MW \pm SEM) signifikant geringere Artenanzahlen zu verzeichnen. Die lang anhaltende Trockenphase spiegelte sich 2022 in der Artenanzahl wider. Zu keinem Boniturtermin gab es 2022 signifikante Unterschiede in der Artenanzahl im Vergleich zwischen den Varianten

(siehe Tabelle 2). Zudem ist die Anzahl der Arten bei den meisten Varianten und Boniturterminen geringer als 2021 ausgefallen. Zusammenfassend war die Wirkung der natürlichen Substanzen Rapsöl, Essigsäure und Pelargonsäure 2021 und 2022 nicht ausreichend, um für die Praxis als alternative Beikraut hemmende Substanzen empfohlen zu werden.

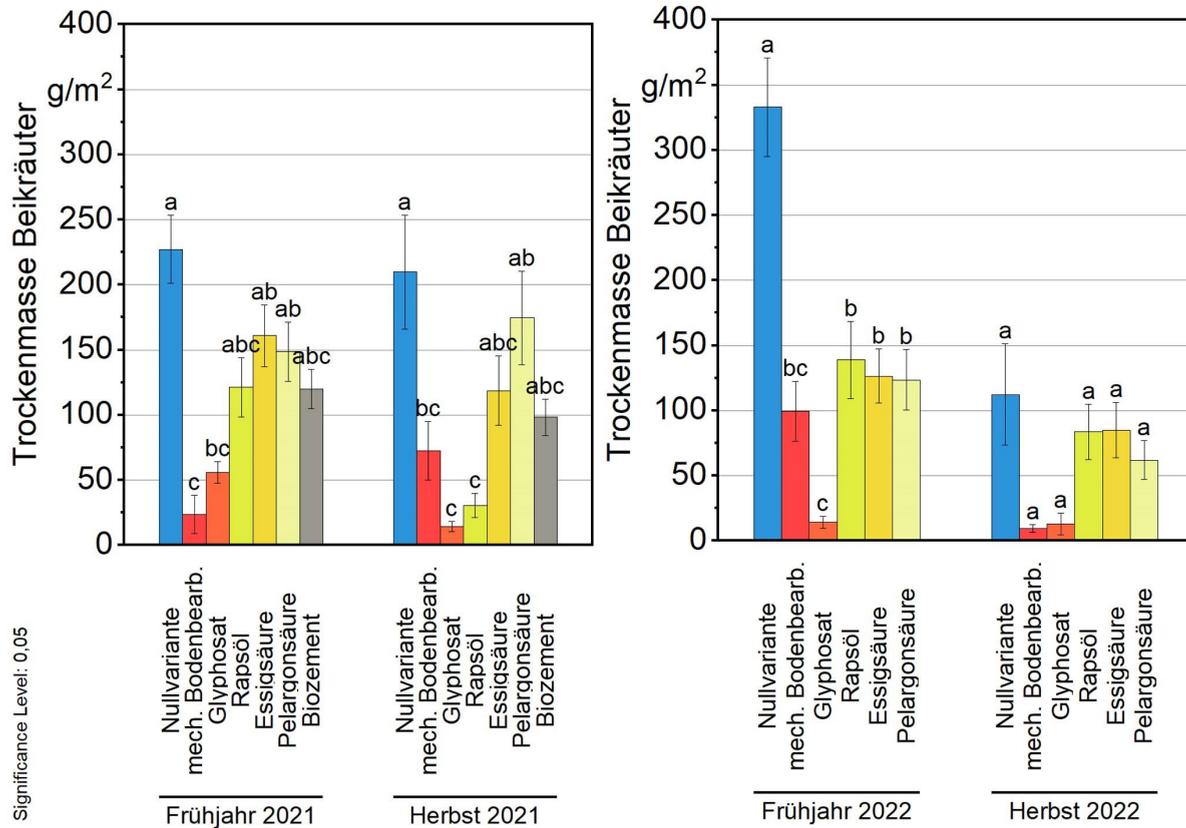


Abbildung 9: Mittlere Trockenmasse ($MW \pm SEM$, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat sowie der natürlichen Substanzen Rapsöl, Essigsäure und Pelargonsäure in den Versuchsjahren 2021 und 2022

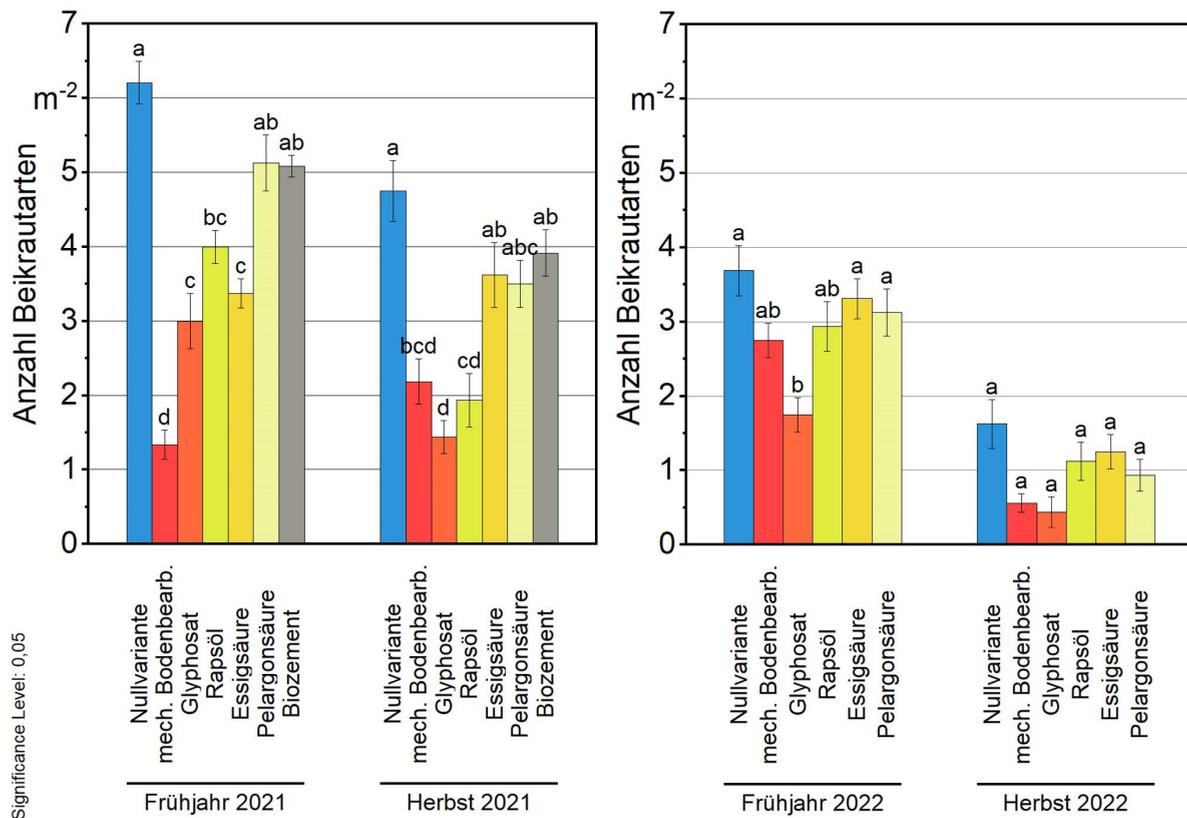


Abbildung 10: Anzahl an Beikrautarten pro Quadratmeter (MW \pm SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung und Herbizidanwendung sowie der natürlichen Substanzen Rapsöl, Essigsäure und Pelargonsäure

5.1.2 Ertragsanalysen

Die Ertragsermittlung fand 2021 am 06.10.2021 und im Folgejahr am 21.09.2022 statt. Für das Jahr 2021 sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten ersichtlich. Am ertragreichsten waren die Versuchsvarianten „Glyphosat“ mit einem Mittelwert von 77,6 kg/Ar und „mechanische Bodenbearbeitung“ mit 76,5 kg/Ar. Den geringsten Wert erreichte die Variante „Pelargonsäure“ mit 57,6 kg/Ar. Die „Nullvariante“ lieferte 59,0 kg/Ar. Ähnliche Werte hatten die Varianten „Rapsöl“ mit 63,8 kg/Ar und „Essigsäure“ mit 62,7 kg/Ar.

Signifikante Unterschiede gab es 2022 zwischen der Variante „Glyphosat“, der „Nullvariante“ und „Essigsäure“. Alle anderen Varianten waren untereinander gleich. Im Vergleich zum Versuchsjahr 2021 fielen die Erträge wesentlich höher aus. Dies hat zum einem mit der physiologischen Entwicklung der noch relativ jungen Rebanlage, zum anderen mit den klimatischen Bedingungen zu tun. 2022 fiel der Beikrautdruck durch die Trockenheit geringer aus. Die Rebstöcke hatten daher weniger Konkurrenzeinwirkung durch die wasser- und nährstoffzehrenden Beikräuter. Im Vergleich dazu war 2021 ein niederschlagreiches Jahr. Die Beikräuter fanden über die gesamte Vegetationsperiode optimale Wachstumsbedingungen vor und sind schnell gewachsen. Die Schlagkraft der natürlichen Substanzen

hat nicht ausgereicht, um die Konkurrenzwirkung so zu schmälern, dass dies im Ertrag ersichtlich war.

In Abbildung 11 ist der mittlere Traubenertrag in kg/Ar der einzelnen Varianten der Versuchsjahre 2021 (n = 4) und 2022 (n = 32) dargestellt.

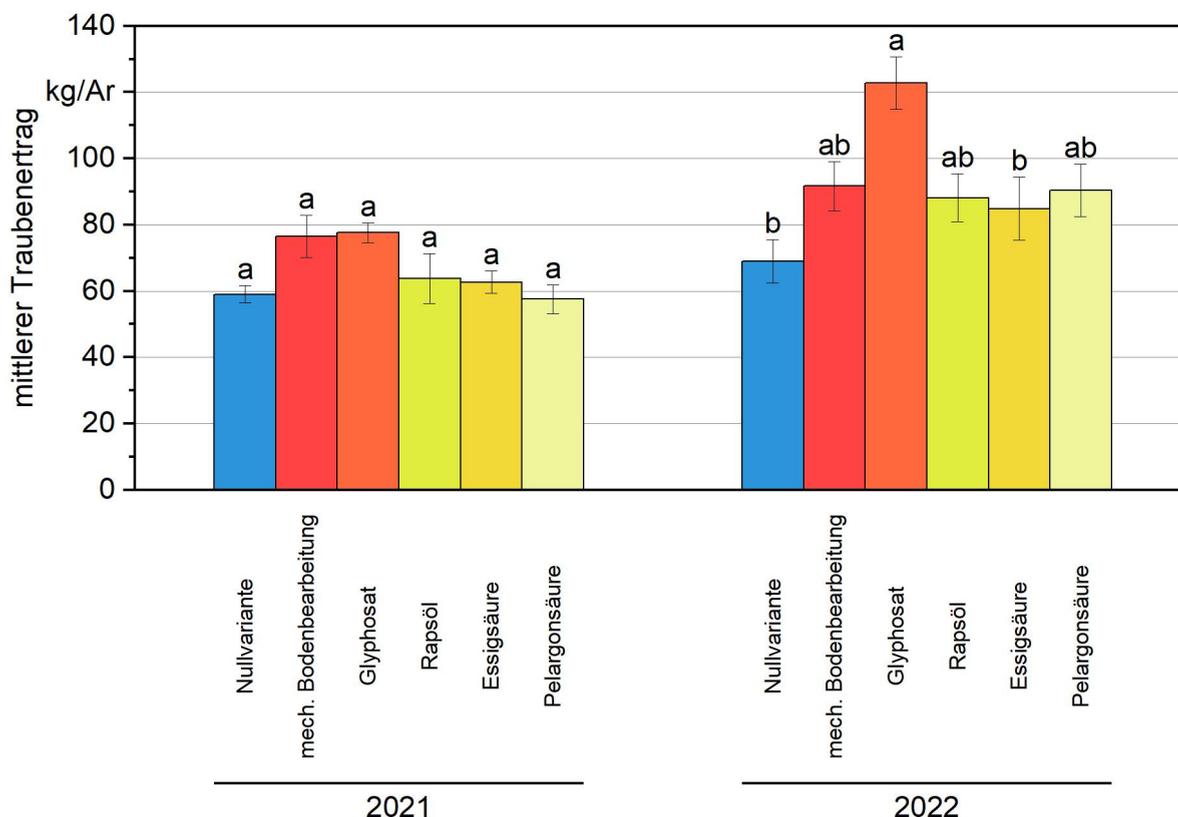


Abbildung 11: Mittlerer Traubenertrag (MW \pm SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$ [2021] und $n = 32$ [2022]) im Versuchsjahr 2021 der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Herbizidanwendung sowie der natürlichen Substanzen Rapsöl, Essigsäure, Pelargonsäure und Biozement

5.1.3 Blattflächenindex (LAI)

Der Blattflächenindex (Leaf Area Index, LAI) wird als die einseitige grüne Blattfläche (in m^2) bezogen auf eine horizontale Einheitsfläche (in m^2) definiert [56]. Alle Varianten erzielten im Vergleich zur Nullvariante ($0,49 m^2/m^2$) höhere Ergebnisse. Eine statistische Analyse ergab signifikante Unterschiede zwischen „Nullvariante“, „mechanischer Bodenbearbeitung“ und „Glyphosat“. „Glyphosat“ hatte dabei den höchsten mittleren Blattflächenindex mit $0,76 m^2/m^2$ zu verzeichnen. Die Ergebnisse von 2020 zeigen wie erwartet, dass unterschiedliche Beikrautmanagement-Methoden Einfluss auf das vegetative Wachstum der Kulturpflanze haben. Varianten wie „Glyphosat“ und „mechanische Bodenbearbeitung“ hatten ein signifikant höheres vegetatives Wachstum. Die untersuchten Varianten mit den natürlichen Substanzen, die in ihrer Beikrautwirkung (siehe Abschnitt 5.1.1) schlechter ab-

schnitten, wiesen demnach auch ein geringeres vegetatives Wachstum auf, da die Beikrautvegetation in Konkurrenz mit der Kulturpflanze um Nährstoffe und Wasser steht.

Im Versuchsjahr 2021 war der LAI bei allen Varianten höher. Dies lag zum einem an den günstigeren klimatischen Verhältnissen, zum anderen an der physiologischen Weiterentwicklung der Reben. 2022 hatten die Reben über den Sommer bis in den Herbst hinein zum Teil mit sehr langen Trockenphasen zu kämpfen. Der LAI-Niveau der Reben war daher 2022 wieder deutlich geringer und ähnelte eher den Werten von 2020. Dabei wies „Rapsöl“ den geringsten Wert auf (0,74 m²/m²), gefolgt von „Essigsäure“ (0,78 m²/m²) und der „Nullvariante“ (0,78 m²/m²). „Glyphosat“ (0,92 m²/m²) und die „mechanische Bodenbearbeitung“ (0,81 m²/m²) hatten wieder tendenziell den höchsten LAI. Signifikante Unterschiede konnten wir nicht feststellen.

Der Blattflächenindex der Varianten mit den natürlichen Substanzen in m²/m², ermittelt zum Ende der Vegetationsperiode am 02.09.2020, 16.08.2021 und 31.08.22, ist in Abbildung 12 dargestellt.

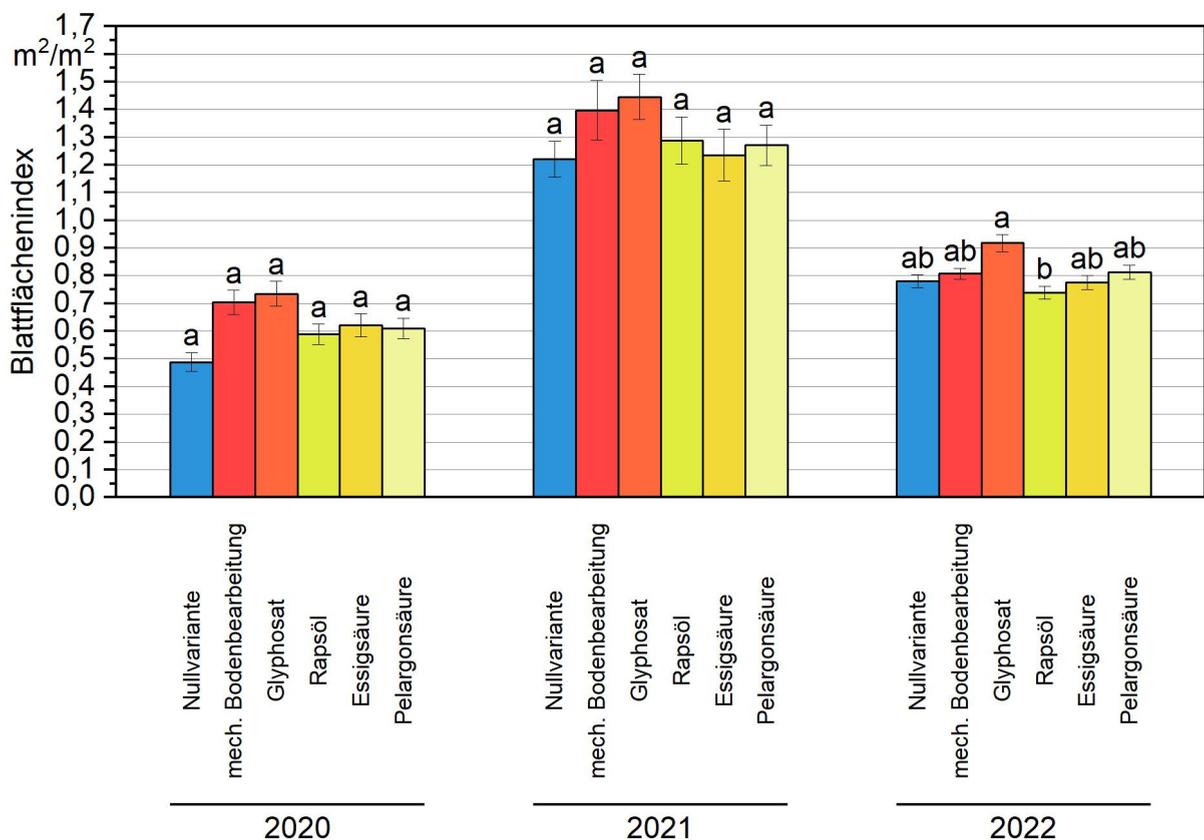


Abbildung 12: Blattflächenindex (LAI) (MW ± SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$) in den Versuchsjahren 2020, 2021 und 2022 der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Herbizidbehandlung sowie der natürlichen Substanzen Rapsöl, Essigsäure und Pelargonsäure

5.2 Alternatives Mulchverfahren auf Basis Nachwachsender Rohstoffe

Im Folgenden sind die Ergebnisse zum neu entwickelten spritzbaren Mulchmaterial auf Basis Nachwachsender Rohstoffe dargestellt.

5.2.1 Rezepturenentwicklung

5.2.1.1 Optimierung des Bindemittels

Die Rezeptur des Mulchmaterials wurde ausgehend von der spritzbaren Silageabdeckung (vgl. Abschnitt 3.4.1) weiterentwickelt. Die Zusammensetzung musste allerdings abgeändert werden, da Eigenschaften wie Gasdichtigkeit, Säurebeständigkeit und Langlebigkeit für eine Mulchabdeckung nicht relevant bzw. zum Teil auch kontraproduktiv sind. Im ersten Schritt wurde eine Alternative für das Bindemittel Naturkautschuk aus der Silageabdeckung gesucht. Um Naturkautschuk zu substituieren, wurden verschiedene Polymermaterialien wie native und kationische Stärke, Chitosan und Carboxymethylcellulose getestet. Allein für die Versuche zur Substitution wurden weit über 200 Rezepturen entwickelt und auf Optik und Haptik untersucht. Abbildung 13 zeigt eine kleine Auswahl von Prüfkörpern mit unterschiedlichen Bindemitteln (Latex, Stärke, Chitosan).

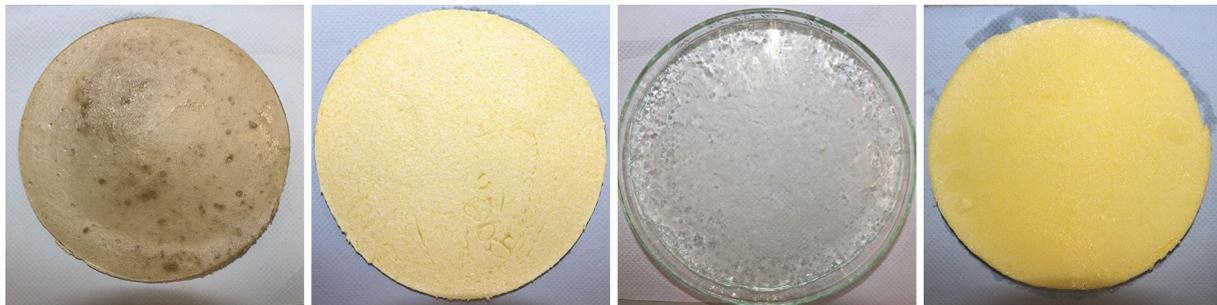


Abbildung 13: Prüfkörper mit unterschiedlichen Bindemitteln (von links nach rechts: Latex mit Alginat, Latex mit Pektin, Chitosan, Stärke)

Die Prüfkörper aus Chitosan und kationischer Stärke wiesen teilweise einen sehr großen Wasseranteil auf, sodass diese oft lange Zeit brauchten, bis sie fest wurden. Beim Erhöhen des Polymeranteils im Vergleich zum Wasser wurde die Phase recht schnell zu viskos, was diese Modifikation aufgrund der Limitierung der Pumpen nicht praktikabel machte. Dasselbe Problem lag auch bei Stärke und Carboxymethylcellulose vor. Einige der Probekörper mit Carboxymethylcellulose bzw. Chitosan und Xanthan als Bindemittel wurden aber zügig fest und könnten sich als Mulchmaterial eignen. Wie in Abbildung 14 erkennbar bildete sich ein festes Material aus, das jedoch nicht sehr reißfest war.



Abbildung 14: Rezeptur mit Chitosan und Xanthan als Bindemittel (R66)

Es war nicht möglich, aus einer Schale herausnehmbare Prüfkörper herzustellen. Ähnlich verhielten sich die Rezepturen aus löslicher Stärke und Chitosan. Diese entwickelten die richtige Festigkeit, dieser Prozess dauerte allerdings ein bis zwei Tage – für eine Applikation als Mulchmaterial zu lange. Prüfkörper aus löslicher Stärke und Carboxymethylcellulose waren sehr spröde und brauchten einige Zeit, bis sie fest wurden. Durch gezieltes Einsetzen von Weichmachern, wie beispielsweise Glycerin und Sorbitol, könnten noch bessere Ergebnisse erzielt werden. Als Nachteil dieser Rezepturen ist zu erwähnen, dass beide Phasen schon vor dem Zusammenmischen eine recht hohe Viskosität aufwiesen. Das lag daran, dass bereits polymerisierbares Material in Lösung vorlag. Diese Tatsache verringerte auch die Lagerfähigkeit des Produkts. Durch frisches Anmischen der Phasen könnte diese Schwierigkeit umgangen werden. Zudem gestaltete sich der Einsatz eines Geliermittels schwierig, da beide Phasen auf Wasserbasis sind und naturverträgliche Geliermittel mit Wasser interagieren. Dadurch würde das Gelieren schon beim Vermengen des Geliermittels mit Wasser beginnen. In den anderen Rezepturen war eine Phase auf Pflanzenölbasis, sodass dieses Problem nicht auftrat. Wenn kein Geliermittel verwendet werden konnte, verzögerte sich das Festwerden des Materials, was vor allem in steilem Gelände problematisch sein könnte. Neben Stärke wurden noch drei weitere Polysaccharide als Bindemittel untersucht: Johannisbrotkernmehl, Guarkernmehl und Konjak. Diese haben einen ähnlichen Aufbau wie Stärke, quellen jedoch viel stärker. Verglichen mit Stärke konnte man so die Gesamtmenge an Bindemittel reduzieren. Während eine vergleichbare Stärkerezeptur (beispielsweise R114k) 12,3 Masse-% Stärke enthielt, kamen die Rezepturen mit Johannisbrotkernmehl (R145), Guarkernmehl (R146) und Konjak (R147) mit 0,5 Masse-%, 0,4 Masse-% und 0,3 Masse-% Bindemittel auf ähnlich aussehende Prüfkörper. Die neu verwendeten Rezepturbestandteile lagen zwar im Preis pro Kilogramm deutlich über dem Preis von Stärke, unter Berücksichtigung der allerdings weit-

aus geringeren benötigten Menge waren die resultierenden Formulierungen R145, R146 und R147 günstiger – bezogen auf das Kilogramm Mulchmaterial. Einziger Nachteil bei diesen Bindemitteln war die schlechte Löslichkeit in Wasser. Beim Lösen entstanden Klumpen, die sich dann nur sehr schwer auflösen ließen. Abhilfe würden hier andere Rührwerke wie Dispersionsrührer schaffen. Ein weiterer deutlicher Unterschied der beschriebenen Rezepturen zur bisherigen Vorzugsrezeptur war die hohe Klebrigkeit im feuchten Zustand. Für Applikationen in sehr steilem oder unebenem Gelände würde diese Eigenschaft vorteilhaft sein. Die Klebrigkeit verlor sich dann allerdings mit dem Trocknen, was ein unerwünschtes Festkleben von Insekten verhindern würde.

5.2.1.2 Optimierung des Geliermittels

Für die Verwendung als schnell gelierendes Mulchmaterial hatte sich in den Vorversuchen im Labor ein Zwei-Komponenten-System auf Basis von Wasser und Pflanzenöl mit dem Bindemittel Stärke am besten bewährt. Im nächsten Schritt wurden Art und Menge des Geliermittels angepasst. Die aufspritzbare Silageabdeckung enthielt Pektin als Geliermittel. Für die Variationen wurden neben Pektin noch Natriumalginat, Xanthan und Gummi arabicum getestet. In einem ersten Versuch wurde bei einer Rezeptur das Geliermittel gegen die erwähnten Substanzen getauscht und anschließend beurteilt. Es zeigten sich schon erste Probleme mit manchen Substanzen: Die Prüfkörper mit Xanthan und Gummi arabicum wurden nicht fest. Zudem entmischten sich die beiden Phasen, wohl da weder Xanthan noch Gummi arabicum die Eigenschaft eines Emulgators haben. Emulgatoren sind Stoffe, die eine Emulsion stabil halten. Beim Vermischen der wässrigen Komponente mit der Ölphase wurde allerdings genau dieser Effekt gebraucht. Abbildung 15 zeigt den Versuch, einen Prüfkörper aus Stärke und Xanthan herzustellen. Nach kurzer Zeit erfolgte bereits die Entmischung, wodurch ein Verfestigen nicht möglich war.

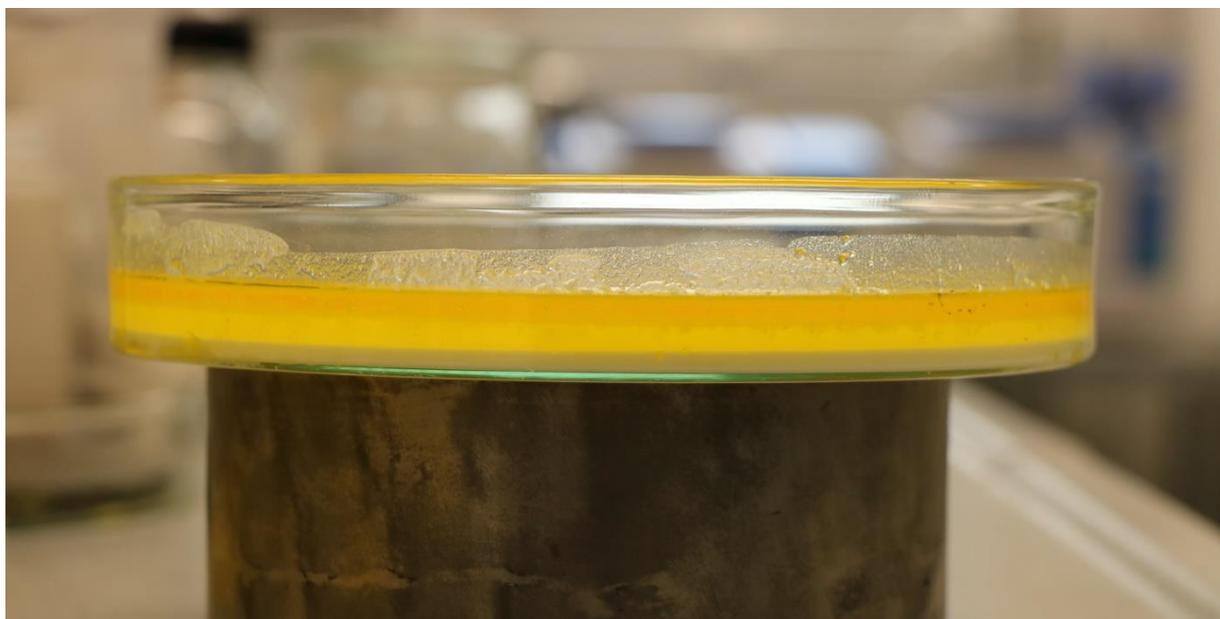


Abbildung 15: Rezeptur auf Stärkebasis mit Xanthan als Geliermittel (R42) – deutlich sichtbare Phasentrennung

Mit Pektin wurden viele unterschiedliche Prüfkörper hergestellt. Diese unterschieden sich in der eingesetzten Menge Geliermittel. Daraus resultierten komplett unterschiedliche Ergebnisse. Zum Teil gelierte die Mischung direkt nach dem Zusammengeben. Es entstand sofort eine feste Masse, die jedoch nicht genug Öl binden konnte. Dieses nicht gebundene Öl schwamm auf der Oberfläche. Bei zu wenig Pektin wurde der Prüfkörper auch nach 24 Stunden nicht fest (vgl. Abbildung 16). Als Nachteil erwies sich dabei, dass das Mulchmaterial nicht stabil genug wäre, um den Witterungseinflüssen zu widerstehen.



Abbildung 16: Rezeptur auf Stärkebasis mit Pektin als Geliermittel (R104b)

Wesentlich für die Eigenschaft des Materials war die exakte Dosierung des Pektins abhängig von den restlichen Bestandteilen der Rezeptur. Das könnte beim Anmischen größerer Produktmengen zu einem Problem werden, da die Dosierung in der Praxis häufig nicht so exakt realisiert werden kann, wie es im Labormaßstab möglich ist. Rezepturen mit Natriumalginat als Geliermittel ließen sich leichter handhaben, da in diesem Fall das Mischungsverhältnis nicht so genau getroffen werden musste wie bei Pektin. Erst bei größeren Abweichungen der Natriumalginat-Menge wurden die Prüfkörper zu schnell (vgl. Abbildung 17) oder gar nicht mehr fest.



Abbildung 17: Zu schnell gelierende Mischung aufgrund zu großer Natriumalginat-Menge (R100)

Da Natriumalginat ein relativ teurer Inhaltsstoff ist, wurde eine Versuchsreihe zur Ermittlung der Menge Natriumalginat und der dafür benötigten Menge Natriumphosphat (Verzögerer) durchgeführt.

Ausgehend von einer 250-g-Rezeptur wurde die Menge von Natriumalginat variiert. Hierbei waren zwischen 1 und 4 g kaum Unterschiede in den Eigenschaften der Prüfkörper zu erkennen. Die Mischungen gelierten zügig und wurden allesamt fest. Erst bei Natriumalginat-Mengen unter 1 g (entspricht 0,4 Masse-%) wurden die Prüfkörper nicht mehr fest. Die obere Grenze lag bei einer Natriumalginat-Menge von 5 g (entspricht 2 Masse-%). Hier wurde die Mischung bereits direkt beim Vermengen der beiden Komponenten fest. Aufgrund der recht hohen Kosten des Gelmittels ist es zweckmäßig, möglichst wenig davon in der Rezeptur verwenden zu müssen. Aus diesem Grund wurde Natriumalginat im Bereich zwischen 1 und 2,5 g eingesetzt. Hierfür erwiesen sich ca. 0,6 g Natriumphosphat als Verzögerer (entspricht 0,24 Masse-%) als Idealwert.

5.2.1.3 Optimierung der Füllstoffe

Bei weiteren Experimenten wurde der Einfluss des Füllstoffs auf die Rezeptur untersucht. In der Silageabdeckung wurden Cellulosefasern mit einer Länge von ca. 200 μm verwendet. Die ersten Versuche zur Entwicklung des Mulchmaterials basierten ebenfalls auf diesen Cellulosefasern. Sowohl die Menge als auch die Länge der Fasern wurden variiert. Es zeigte sich hier, dass die Fasern sehr großen Einfluss auf die Viskosität haben. Allein die Erhöhung der Menge an Cellulosefasern von fünf auf acht Gramm (pro 65 g Rapsöl) bewirkte eine so große Erhöhung der Viskosität, dass die Phasen sich kaum mehr pumpen

ließen. Auch auf die Gelierzeit wirkte sich eine vermehrte Zugabe von Fasern aus. Dies liegt wohl an der Wasseraufnahmefähigkeit der Cellulosefasern, die dadurch das Material fester werden ließ. Aus den Resultaten der durchgeführten Versuche lässt sich eine maximale Menge von fünf bis sechs Gramm pro 65 g Rapsöl folgern. Höhere Mengen beschleunigen nicht nur den Gelierprozess, sondern bereiten zum Teil auch erhebliche Probleme beim Fördern der Komponente.

Neben der Menge des Füllstoffs wurden auch unterschiedliche Fasertypen getestet. Hierzu wurden die Sorten ArboCel BC200, R, FT400, C100 und B400 der Firma J. Rettenmaier und Söhne GmbH und Co KG eingesetzt. Diese unterschieden sich – laut Angaben des Herstellers – hauptsächlich in der Faserlänge. Der Typ BC200 enthielt Fasern der Länge 300 μm , FT400 und B400 sind die längsten Fasern mit ca. 700 μm . Der Fasertyp R basierte auf Holzfasern und hat längere Fasern (ca. 1 mm). Die Prüfkörper mit den Fasern BC200 und R wirkten identisch. Mit beiden Füllstoffen konnten stabile Prüfkörper gegossen werden. Außer der bräunlicheren Farbe, die aus dem Fasertyp R resultierte, waren kaum Unterschiede erkennbar. Anders verhielten sich die beiden Typen B400 und FT400. Beim Zusatz der gleichen Menge Fasern wie in den anderen Rezepturen wurde die ölige Komponente so viskos, dass die Fließfähigkeit kaum mehr gegeben war. Diese Mischungen waren nicht mehr pumpbar, weshalb sie für weitere Einsätze nicht infrage kamen. Eine Viskositätsmessung am Rheometer (PHYSICA MCR101, Anton Paar) der beiden zähen Komponenten konnte nicht durchgeführt werden, da der Messstempel aufgrund der großen Dichte nicht in die Messposition fahren konnte. Prüfkörper mit C100-Fasern konnten zwar problemlos angefertigt werden, wurden nach kurzer Zeit allerdings sehr spröde, weshalb sie als Füllstoffe nicht infrage kamen.

Grundsätzlich zeigten die Cellulosefasern zwar sehr gute Eigenschaften, lagen aber aufgrund ihrer hohen Stoffqualität als Laborchemikalie auch im gehobenen Preisbereich. Durch die Substitution der Cellulosefasern durch Reststoffe, die als Füllstoff geeignet waren, sollten die Kosten des Produkts reduziert werden. Die Anforderungen an diese Stoffe waren, dass sie kleingemahlen vorliegen oder gemahlen werden konnten und in ausreichenden Mengen wirtschaftlich verfügbar sind. Außerdem mussten sie für den Einsatz in der Landwirtschaft geeignet sein, somit keine gefährlichen Stoffe enthalten. Hierzu wurden Prüfkörper mit folgenden Stoffen hergestellt: Asche, Kalk, Sand und Sägemehl. Die Prüfkörper aus Asche gelierten nicht in den Versuchen, möglicherweise wegen des pH-Werts 11–12 der Asche. Die Prüfkörper aus Kalk und Sand verhielten sich ähnlich. Beide Stoffe können kaum Wasser binden, sodass die Prüfkörper nicht fest wurden. Möglicherweise könnte man durch starkes Reduzieren des Wassergehalts in der Rezeptur zu einer Lösung kommen. Allerdings würde dadurch die Viskosität sehr stark erhöht und so der Praxiseinsatz mit den Pumpen schwierig. Sehr gute Ergebnisse erzielte hingegen der Einsatz von Sägemehl. Dessen Fähigkeit zur Wasseraufnahme konnte als vergleichbar mit den Cellulosefasern beschrieben werden. Abbildung 18 zeigt einen Prüfkörper mit Sägemehl als Füllstoff. In der Praxis war eine Verwendung von Sägemehl allerdings schwieriger. Die Öl-Komponente, die das Sägemehl enthielt, wurde schnell sehr klebrig und viskos, was zu erheblichen Problemen mit der Förderung durch die Pumpen führte.



Abbildung 18: Rezeptur mit Sägemehl als Füllstoff (R109g)

5.2.1.4 Optimierung des Konservierungsmittels

Die Basis des Mulchmaterials bildeten Stärke und Rapsöl. An beiden Komponenten konnte sich leicht Schimmel bilden. Hierbei konnten Sporen des Schimmels auf die Kulturpflanze übergehen und diese kontaminieren, somit war für den Praxiseinsatz eine gewisse Schimmelresistenz unabdingbar. Dafür wurden einige Rezepturen mit den Konservierungsmitteln Natriumbenzoat, Zinkoxid und Kombinationen aus beiden untersucht. In Abbildung 19 erkennt man links die Rezeptur R114k, die im Rahmen dieser Experimente am besten abschnitt. Man erkennt an der Oberfläche so gut wie keine Schimmelbildung. Im Gegensatz dazu sieht man beim rechten Prüfkörper R11f einen massiven Schimmelbefall. Es zeigte sich, dass eine Erhöhung des Natriumbenzoat-Gehalts auch eine Wirkung gegen Schimmelbildung aufweist. In den durchgeführten Experimenten genügte ein Anteil von 2,5 % Natriumbenzoat, um einen ausreichenden Schutz gegen Schimmel zu erzielen. Die Prüfkörper mit Zinkoxid zeigten dagegen einen starken Schimmelbefall. Auch die Kombination aus Natriumbenzoat und Zinkoxid zeigte hier keine Besserung, was den Schluss zulässt, dass Natriumbenzoat die bessere Wahl gegen Schimmel darstellt. Natriumbenzoat zeigt also einen erheblichen Effekt bei der Vermeidung von Schimmelbildung.

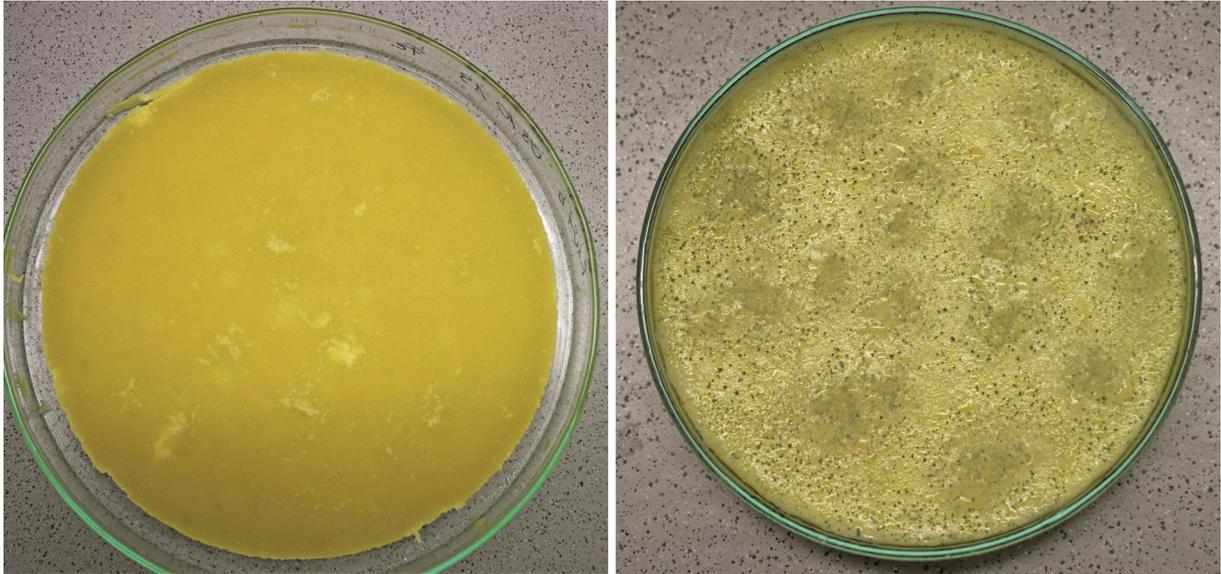


Abbildung 19: Vergleich der Anfälligkeit für Schimmelbefall der Probekörper der Rezepturen R114k (links) und R11f (rechts)

5.2.1.5 Optimierung des Gelierhilfsmittels

Bei der Ausbringung des Mulchmaterials als Zwei-Komponenten-Mischung war es wichtig, dass die beiden Komponenten sehr schnell miteinander reagieren und fest werden. Hierfür wurden einige Versuche durchgeführt, um die Gelierzeit deutlich zu verkürzen. Die Problematik hierbei war, dass durch das sehr schnelle Abbinden des Materials oft die komplette Durchmischung der beiden Komponenten nicht mehr möglich war. Es resultierte eine nicht homogene Mischung, die deutlich schlechtere Materialeigenschaften zeigte. Um das Optimum aus schnellem Aushärten und vollständiger Vermischung zu finden, wurden die Parameter Wassergehalt, Menge an Verzögerer und Geliermittel variiert. Zudem wurde untersucht, ob sich der Gelierhilfsstoff Calciumsulfat durch andere Calciumsalze wie Calciumchlorid, Calciumacetat, Calciumcarbonat oder Calciumcitrat substituieren ließ. Die aufgezählten Calciumsalze waren besser wasserlöslich als das in der Vorzugsrezeptur verwendete Calciumsulfat. Durch die Erhöhung der Wasserlöslichkeit sollte sich das homogene Vermischen verbessern.

Mit Ausnahme von Calciumchlorid eignete sich keines der untersuchten Calciumsalze als Gelierhilfsmittel. Der Gelierprozess wurde zwar unterstützt, jedoch sind die Eigenschaften des resultierenden Materials weniger zweckmäßig. Calciumacetat bildete kein homogenes Material. Es wirkte, als ob das Gelieren zu schnell einsetzte und sich nur kleine griesförmige Klümpchen bildeten. Dabei ist bei vielen der Calciumacetat-Prüfkörper das Öl nicht komplett gebunden und teilweise wieder ausgetreten (vgl. Abbildung 20).



Abbildung 20: Rezeptur mit Calciumacetat als Gelierhilfsstoff (R127g)

Ein ähnlicher Effekt war bei Calciumcarbonat zu beobachten. Die resultierenden Prüfkörper konnten größere Mengen Öl nicht binden und waren insgesamt nicht ausreichend stabil. Calciumcitrat hingegen eignete sich kaum als Gelierhilfsmittel. Es konnten zwar Prüfkörper hergestellt werden, allerdings nur mit einer vielfach höheren Konzentration des Calciumsalzes. Auch die Stabilität war geringer als bei den bisherigen Prüfkörpern. Diese negativen Resultate mit anderen Calciumsalzen waren wohl dem unterschiedlichen Lösungsverhalten, verglichen mit Calciumsulfat, geschuldet. Das komplexe System des Zwei-Komponenten-Gemischs reagierte anscheinend sehr empfindlich auf diverse Änderungen der Formulierung.

Wurde allerdings Calciumchlorid als Gelierhilfsmittel verwendet, so konnten stabile Prüfkörper hergestellt werden. Dies gelang aber nur, wenn die Menge an Calciumchlorid deutlich geringer war als die verwendete Menge Calciumsulfat (vgl. Abbildung 21). Erst unter einem Gehalt von ca. 10 Masse-% der Calciumsulfat-Menge entstanden gute Prüfkörper. Höhere Konzentrationen ließen die Masse bereits beim Vermischen aushärten. Dieses zu schnelle Gelieren erschwerte die Herstellung einer homogenen Mischung erheblich, da die Masse größtenteils schon fest wurde, bevor die Vermischung abgeschlossen war. Bei vielen dieser Formulierungen wurden große Anteile von Pflanzenöl nicht gebunden. Da Calciumsulfat in den Laboruntersuchungen unproblematischer in der Dosierung war, wurde dieser Gelierhilfsstoff weiterverwendet.



Abbildung 21: Rezeptur R50d mit Calciumchlorid als Gelierhilfsstoff

5.2.2 Analyse von Prüfkörpern im Labormaßstab

5.2.2.1 Schrumpfverhalten

Die in Abbildung 22 dargestellten Ergebnisse zeigen die Veränderung des Durchmessers eines 17 cm großen Prüfkörpers. Die Schrumpfung des Materials war stark abhängig vom Wassergehalt der Formulierung. Feuchthaltemittel wie Sorbitol wirken sich hier positiv aus, da das Wasser stärker und für eine längere Zeit im Material gebunden werden konnte. Auch wenn sich die getesteten Prüfkörper nur bei manchen Inhaltsstoffen um wenige Prozent unterschieden, hatten sie teils sehr voneinander abweichende Materialeigenschaften.

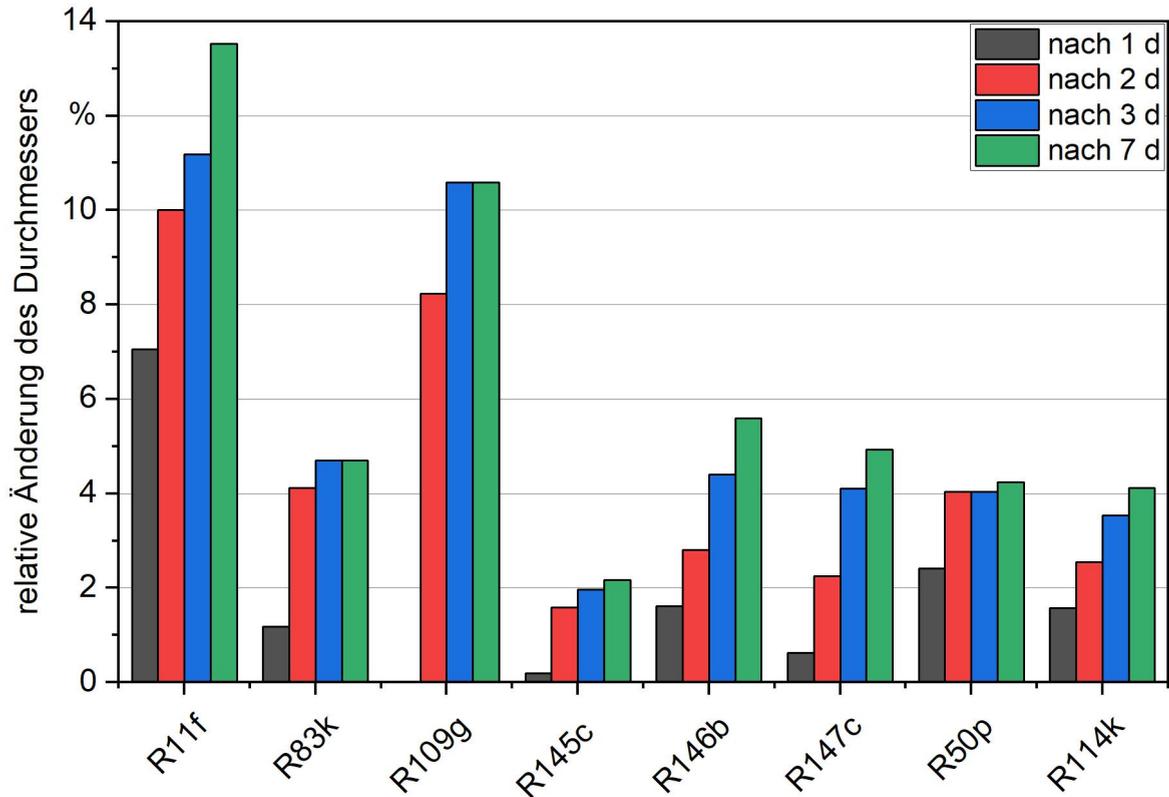


Abbildung 22: Relative Änderung des Durchmessers in Prozent der Prüfkörper der Rezepturen mit Stärke-Ersatzstoffen (R83k, R145, R146 und R147), der Rezeptur ohne Sorbitol R11f, der Rezeptur mit Sägemehl als Füllstoff R109g, der Rezeptur mit Calciumchlorid R50p sowie der Vorzugsrezeptur der Praxisversuche R114k bei Umgebungstemperatur in Abhängigkeit der Zeit (Mittelwerte einer Dreifachbestimmung)

Die getesteten Rezepturen enthielten bis auf R83k (Carboxymethylcellulose), R145 (Johannisbrotkernmehl), R146 (Guarkernmehl) und R147 (Konjak) Stärke als Bindemittel. Bei nahezu allen Prüfkörper reduzierte sich der Durchmesser über den Zeitraum der Lagerung. Auffällig war der Unterschied zwischen R11f und R114k. Beide enthielten im Wesentlichen dieselben Inhaltsstoffe, R114k wurde zusätzlich Sorbitol zugegeben. Dies zeigte, dass Sorbitol einen großen Einfluss auf das Schrumpfverhalten des Materials hatte. Sägemehl als Füllstoff (R109g) konnte sehr viel Wasser aufnehmen, das allerdings beim Lagern wieder abgegeben wurde. Der Zusammenhang zwischen hohem Wassergehalt und starker Schrumpfneigung war bereits aus den Arbeiten zur Siloabdeckung bekannt, hierbei kam allerdings Naturkautschuk als Bindemittel zum Einsatz. Diese Daten belegten, dass der Wassergehalt auch bei Materialien auf Stärkebasis das Schrumpfungsverhalten beeinflusste. Die Rezepturen ohne Stärke als Bindemittel wiesen eine geringe Schrumpfneigung mit maximal 5 % nach sieben Tagen auf. Die geringste Schrumpfung wies die Formulierung R145 mit Johannisbrotkernmehl als Bindemittel auf. Diese Rezeptur schrumpfte nach sieben Tagen nur um 2 %, was schon nahe an der Nachweisgrenze der Bestimmungsmethoden lag.

Um den Einfluss der Schrumpfung in der Praxis abschätzen zu können, wurden verschiedene Rezepturen in einem dünnen Film auf Aussaatkisten mit Erde gespritzt. Anschließend wurde beobachtet, ob bzw. wann es zu Rissbildungen kam. In Abbildung 23 sind exemplarisch zwei Rezepturen abgebildet. Die Schichtdicken in beiden Versuchen waren gleich. Die Fotos dieser Materialien wurden ca. drei Wochen nach dem Aufspritzen aufgenommen. Während sich die Rezeptur R114k auf der linken Seite kaum vom Rand ablöste und auch nur sehr wenige Risse aufwies, zeigte die Rezeptur rechts (R11f) deutlichere Löcher und Risse. Wie oben beschrieben enthielt die Rezeptur R114k das Feuchthaltemittel Sorbitol, während bei R11f darauf verzichtet wurde.



Abbildung 23: Vergleich zweier Rezepturen in einem praxisnahen Test zum Schrumpfungsverhalten (R114k links, R11f rechts)

Das Material bildete aufgrund der Schrumpfung (und gegebenenfalls durch nicht ausreichende Flexibilität) Risse und kleinere Löcher, durch die Beikräuter wachsen könnten. Die kleineren Risse und Löcher resultierten wahrscheinlich aus Unebenheiten der Erde. Durch die geringe Schichtdicke wurden nicht alle Erdkrümel ausreichend gleichmäßig bedeckt. In der Kombination mit dem Schrumpfen sorgte dies für die Rissbildung (vgl. Abbildung 24).



Abbildung 24: Keimung einer Pflanze durch einen Riss im Mulchmaterial

5.2.2.2 Quellungsverhalten

Die Fähigkeit, Wasser aufzunehmen, war bei den getesteten Rezepturen unterschiedlich (vgl. Abbildung 25). Bis auf die Rezepturen R50p und R83k lag die Wasseraufnahmefähigkeit in einem ähnlichen Bereich zwischen 10 und 20 %. Nach und nach verloren sie aber wieder an Masse, was bedeutete, dass sich mit der Zeit andere Inhaltsstoffe aus den Prüfkörpern herauslösten. Bei üblichen natürlichen Witterungsbedingungen stellt dies vermutlich kein Problem dar, da sich in der Anwendung in der Obstplantage oder am Weinberg kaum Wasser über so viele Tage anstaut und das Material dadurch geschädigt werden könnte. Allerdings könnte es bei Wetterextremen und den damit verbundenen heftigen Regenfällen durchaus zu einer Auswaschung von Inhaltsstoffen kommen. Die Vorzugsvariante R114k schien länger stabil zu bleiben, bevor erste Inhaltsstoffe herausgelöst wurden. Der Massenverlust im Versuch zeigte sich erst nach Tag 3, als sich die anfängliche Massenzunahme wieder umkehrte, die Masse auf den Ausgangswert zurückfiel und dann ein Masseverlust zu beobachten war. Ein sehr starkes Quellverhalten zeigte die Rezeptur R50p, die nach sieben Tagen knapp 80 % der Masse an Wasser aufnehmen konnte. Grund hierfür könnte sein, dass durch die Verwendung von Calciumchlorid anstatt Calciumsulfats als Gelierhilfsstoff eine leicht modifizierte Gelstruktur gebildet wurde, die mehr Wasser speichern konnte. Auch die Rezeptur mit dem Bindemittel Carboxymethylcellulose zeigte eine höhere Wasseraufnahmefähigkeit. Bei allen getesteten Rezepturen konnte beobachtet werden, dass sich kleine Risse oder Unebenheiten im Material durch das Aufnehmen von Wasser häufig wieder schlossen.

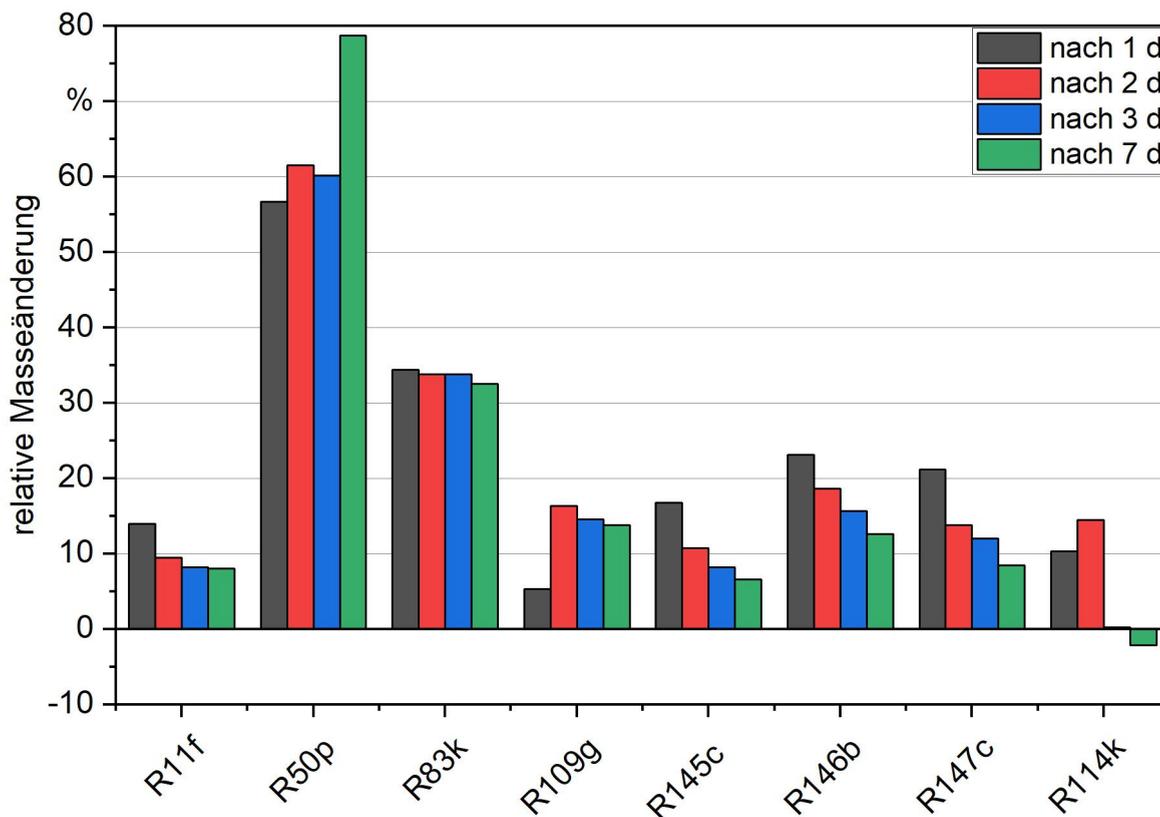


Abbildung 25: Relative Masseänderung in Prozent ausgewählter Rezepturvarianten nach Lagerung in Wasser in Abhängigkeit der Zeit

Die Abnahme der Masse bei dem Versuch ließ sich durch Herauslösen von Bestandteilen aus den Prüfkörpern erklären. Je nach Rezeptur färbte sich das Wasser, in dem die Quellversuche stattfanden, langsam ein. Außerdem trat Öl aus, das an der Oberfläche schwamm. Aus allen Prüfkörpern – augenscheinlich mit Ausnahme der Rezeptur R83k – lösten sich nach und nach Bestandteile heraus, wodurch sich die Massenabnahme erklären ließ.

5.2.2.3 Temperaturbeständigkeit

Um den Einfluss der zeitweise hohen Temperaturen am Weinberg zu untersuchen, wurden Tests im Trockenschrank bei 60 °C durchgeführt. Von den Prüfkörpern wurden nach vorgegebenen Zeitpunkten die Massen ermittelt und mit den Ausgangsmassen verglichen. Abbildung 26 zeigt den Einfluss hoher Temperatur auf die Prüfkörper. Die Rezepturen mit den Bindemitteln Johannisbrotkernmehl, Guarkernmehl und Konjak sowie die Rezeptur R50p zeigten ähnliche Auswirkungen der Hitzeeinwirkung. Bereits nach einem Tag war ein Masseverlust von ca. 30 % zu verzeichnen, der im Lauf der untersuchten Woche bis knapp 50 % anstieg. Die Rezeptur R109g wies eine deutlich geringere Anfälligkeit gegenüber hohen Temperaturen auf. Anscheinend konnte der Füllstoff Sägemehl den Wassergehalt auch bei höheren Temperaturen besser speichern. Auch die Rezeptur R114k zeigte eine bessere Wasserhaltefähigkeit bei höheren Temperaturen als Rezepturen mit den Bindemitteln Johannisbrotkernmehl, Guarkernmehl und Konjak. Grund für diesen deutlichen

Unterschied war wohl der geringere Wassergehalt dieser Rezeptur verglichen mit R145, R146, R147 und R50.

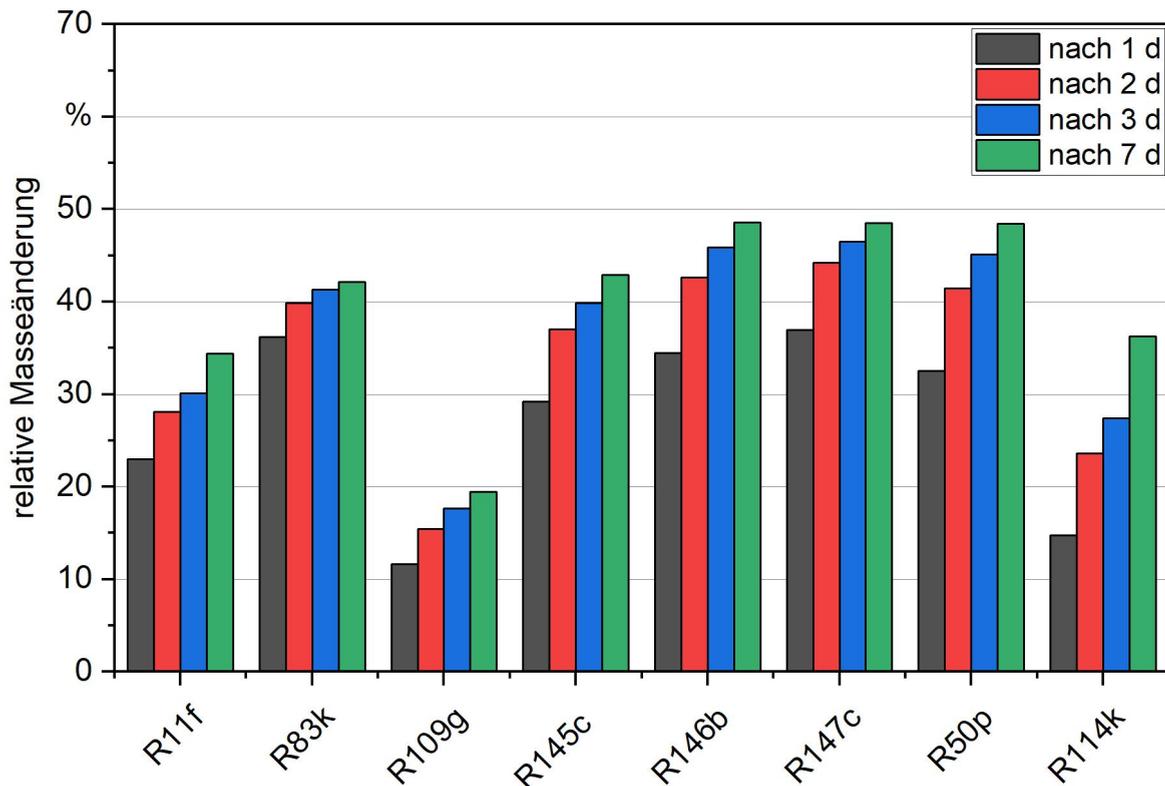


Abbildung 26: Relative Masseänderung in Prozent ausgewählter Rezepturvarianten nach Lagerung bei 60 °C über einen bis sieben Tage

5.2.2.4 Einfluss der Witterung

Um den Witterungseinfluss auf das Material zu untersuchen, wurde eine Auswahl an Prüfkörpern aus unterschiedlichen Rezepturen an einem schrägen Holzgestell im Freien befestigt. Der Versuch startete im Mai und wurde bis August beobachtet. Dabei waren die Prüfkörper allen Witterungseinflüssen wie Sonneneinstrahlung, Wind und Regen ausgesetzt. Nach einem Tag am Bewitterungsstand im Freien begannen die meisten Prüfkörper zu schwitzen. Es trat ein wenig Öl aus, wodurch sich eine ölige Oberfläche bildete. Je nach Rezeptur zeigte sich dieser Effekt stärker oder schwächer. Bei den auf Naturkautschuk basierenden Prüfkörpern analog zur Silageabdeckung war die Oberfläche auch noch nach Monaten stark ölig. Im Gegensatz dazu zeigten die Prüfkörper mit Stärke nur ganz zu Beginn einen Ölaustritt auf der Oberfläche. Diese Prüfkörper wurden allerdings schneller spröde, wodurch sich nach wenigen Wochen kleinere Risse bilden. Bei Temperaturen über 30 °C schrumpften die Prüfkörper aus Stärke teils massiv. Dadurch wurden sie – abhängig von der Rezeptur – teilweise so spröde, dass kleine Teile abbrachen. Für den Einsatz in der Praxis sollte das allerdings keinen Nachteil darstellen, da sich das Mulchmaterial nach einigen Monaten ohnehin abbauen soll. Dies geschieht leichter, wenn die Schicht mit der Zeit langsam zu bröckeln beginnt. Außerdem stellen sich solche Temperaturen erst im Sommer ein, wenn die Kulturpflanzen in der Regel bereits ausreichend Vegetationsvor-

sprung haben. Die Klebrigkeit der Prüfkörper unterschied sich deutlich über die Rezepturen. Während die Prüfkörper aus Stärke keine klebrige Oberfläche besaßen, blieben die Kautschuk-Prüfkörper über Monate klebrig. Das zeigte sich auch am Staub und an Insekten, die an der Oberfläche kleben blieben. Prüfkörper aus Carboxymethylcellulose waren nur leicht klebrig, eine deutliche Verbesserung im Vergleich zu den Prüfkörpern aus Naturkautschuk war aber erkennbar. Auf diesem hafteten kaum Insekten an der Oberfläche. Abbildung 27 zeigt den Einfluss der Witterung nach ca. drei Monaten. Man erkennt deutlich die oben beschriebenen Unterschiede bezüglich des Austrocknens. Die Rezeptur R11f (untere Reihe ganz links) war durch den Wasser- (und eventuell Ölverlust) so spröde geworden, dass der Prüfkörper brach. Ähnliche Auswirkungen zeigte der Prüfkörper mit der Rezeptur R41d (eine Reihe darüber). Im Vergleich dazu waren die Prüfkörper aus Naturkautschuk (obere Reihe, Positionen 1, 2, 4 und 5) noch sehr flexibel. Man erkennt auch teilweise die ölige Oberfläche. Bei direkter Sonneneinstrahlung entstand der Eindruck, dass diese Prüfkörper schmelzen würden. Die Rezeptur R61j (dritte Reihe von oben, Position 2) schrumpfte ähnlich stark wie die Prüfkörper aus Stärke. Diese Beobachtung deckte sich mit den Experimenten mit Hitzeeinwirkung. Auch sonderte dieser Prüfkörper nicht so viel Öl ab wie die Prüfkörper auf Basis von Naturkautschuk.



Abbildung 27: Prüfkörper auf dem Außenbewitterungsstand nach ca. drei Monaten

5.2.2.5 Rheologische Materialeigenschaften

In der Praxis sollen beide Komponenten mit einer Schlauchpumpe gefördert und anschließend vermengt werden können. Aus diesem Grund sollten sowohl die Viskosität der Komponenten in Abhängigkeit der Temperatur als auch die Gelierzeit gemessen werden. Die Ermittlung der Abhängigkeit von der Temperatur war wichtig, da die Ausbringung im Frühjahr erfolgen sollte und es zu dieser Jahreszeit teilweise auch noch sehr kalt sein kann. Die Rezeptur musste also so angepasst werden, dass beide Komponenten auch bei niedrigeren Temperaturen noch mit Pumpen gefördert werden konnten. Abbildung 28 zeigt, dass bei allen Komponenten die Viskosität von der Temperatur abhängt. Bei steigender Temperatur verringerte sich auch die Viskosität. Die beiden wässrigen Phasen (R114k_B und R83k_B) zeigten zwar das beschriebene Verhalten, die Ausprägung war jedoch um ein Vielfaches geringer als bei den Ölphasen. Grundsätzlich war die Viskosität der wässrigen Phasen viel geringer. Die Viskosität der Ölphasen hing stark von den eingesetzten Stoffen in der jeweiligen Rezeptur ab. Der Einfluss des Füllstoffs auf die Fließeigenschaften war deutlich erkennbar. Die Rezeptur R41d beispielsweise enthielt rund 25 % weniger Cellulosefasern als R88c.

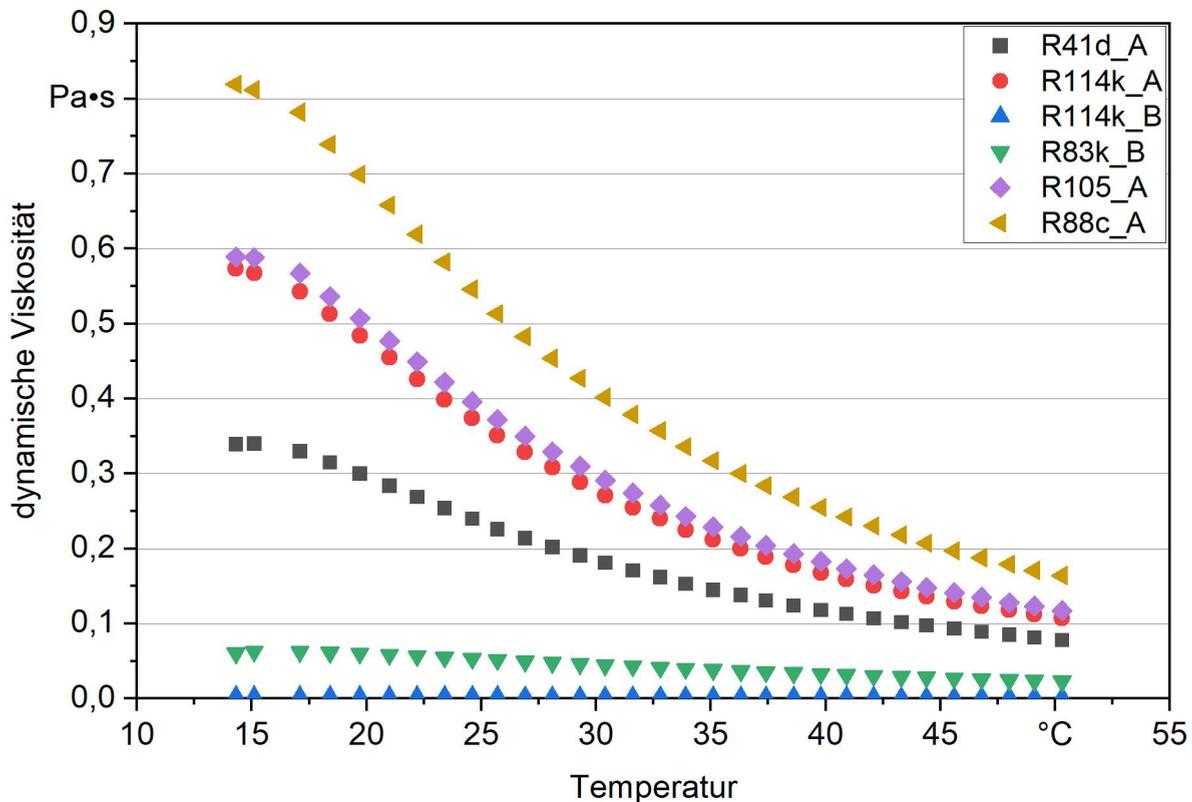


Abbildung 28: Dynamische Viskosität der Einzelkomponenten ausgewählter Rezepturen in Abhängigkeit der Temperatur I (A: ölige Komponente, B: wässrige Komponente)

Noch größer erschien der Unterschied bei den Rezepturen mit Sägemehl. Die Rezeptur R109g enthielt dieselbe Menge Sägemehl, die bei R88c als Cellulosefasern eingesetzt

wurde. Um den Einfluss zu verdeutlichen, wurde diese Komponente zusätzlich zu den anderen Komponenten der Abbildung 28 eingefügt, wodurch Abbildung 29 resultiert. Man erkennt einen Anstieg der Viskosität – je nach Temperatur – um das Vier- bis Sechsfache. Die Pumpbarkeit dieser Komponente ist möglicherweise bei niedrigen Temperaturen beeinträchtigt.

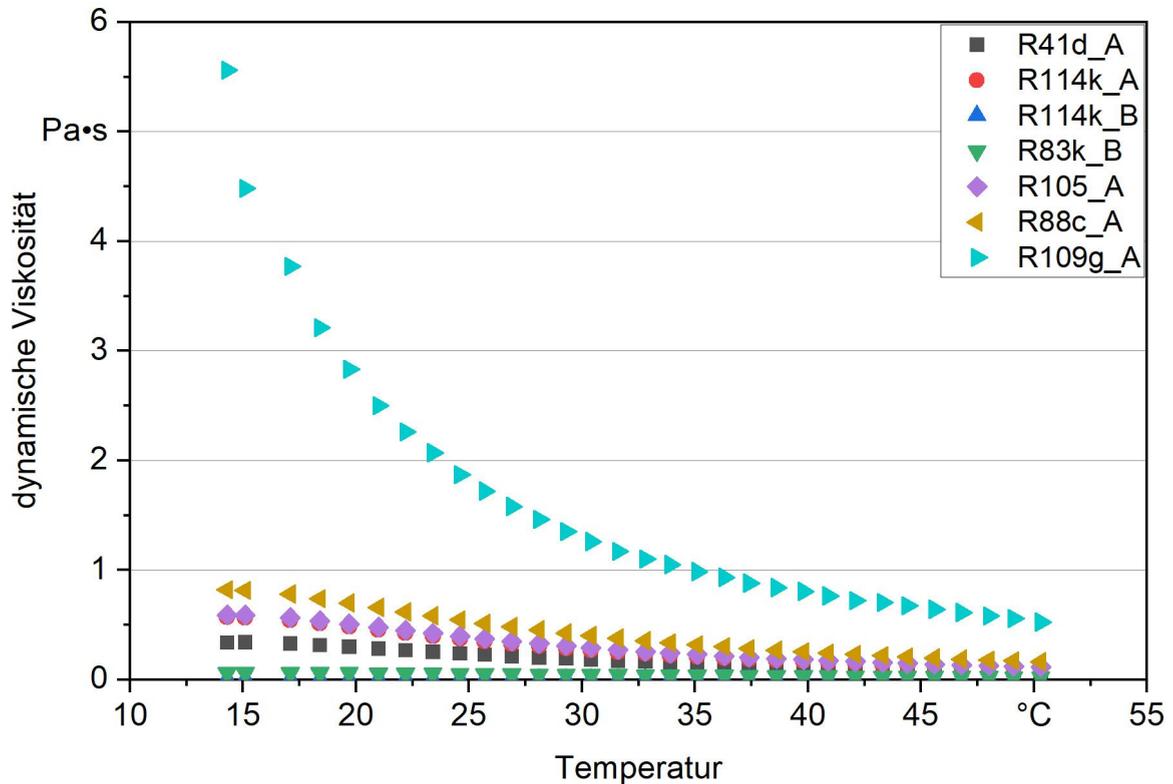


Abbildung 29: Dynamische Viskosität der Einzelkomponenten ausgewählter Rezepturen in Abhängigkeit der Temperatur II (A: ölige Komponente, B: wässrige Komponente)

5.2.2.6 Bestimmung der Gelierzeit

Die Gelierzeit ist der Zeitpunkt, an dem die Mischung von einer viskoelastischen Flüssigkeit in einen viskoelastischen Festkörper übergeht. Dabei gilt es, den Schnittpunkt der beiden Graphen des Speichermoduls (G') und des Verlustmoduls (G'') zu bestimmen. Abbildung 30 zeigt die Ergebnisse von zwei Messungen. Rezeptur R83k gelierte nach ca. 160 s. Die Rezeptur R114k dagegen gelierte relativ schnell nach ca. 20 s. Bei beiden Proben müssen 120 s zur Gesamtgelierzeit addiert werden. Diese Zeit resultierte aus dem Vermengen der beiden Komponenten und dem Umfüllen in das Messsystem. Aus diesem Grund war es auch schwierig, exakte Gelierzeiten der Rezepturen zu bestimmen. Die meisten Rezepturen gelierten bereits vor Einfüllen in das Messsystem. Für diese Rezepturen konnten keine Gelierzeiten angegeben werden. Die meisten der übrigen getesteten

Rezepturen wiesen Gelierzeiten von ca. zwei Minuten auf. Diese Gelierzeiten sollten für den Praxiseinsatz gut geeignet sein.

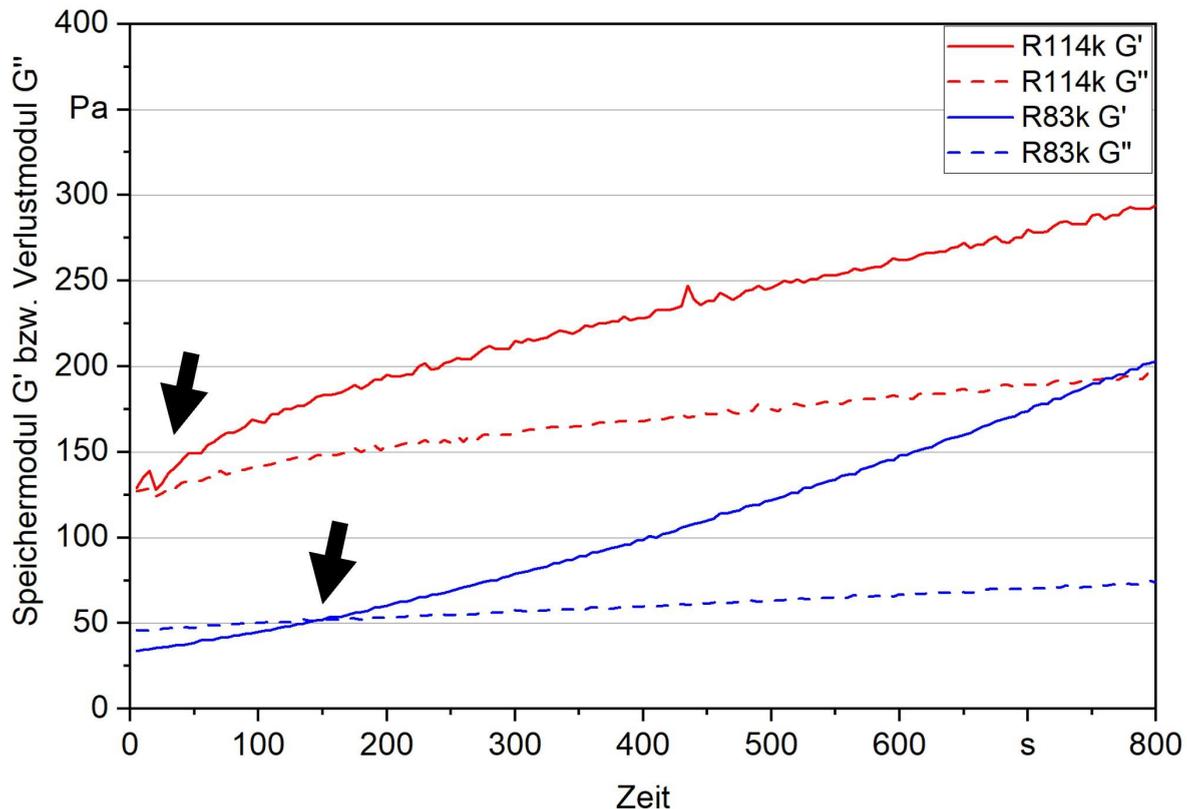


Abbildung 30: Speichermodul G' und Verlustmodul G'' sowie Gelierzeiten der Rezepturen R114k und R83k (der Pfeil kennzeichnet die Gelierzeit der jeweiligen Rezeptur)

5.2.2.7 Versuche zur Abbaubarkeit des Mulchmaterials

Um den Abbau des Materials unter aeroben Bedingungen zu untersuchen, wurden Laborversuche durchgeführt. Der ermittelte Zeitraum für einen aeroben Abbau 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 bildet aber eine grundsätzliche Tendenz zum Abbau ab, die der Orientierung dient. Die Untersuchungsmethode im Labor ist an die Norm DIN EN ISO 17556 (Stand September 2019) angelehnt [13]. Diese beruht auf der Messung der aus dem Abbau kohlenstoffhaltiger Kunststoffe im Boden freigewordenen Menge Kohlenstoffdioxids.

Um diese Menge zu bestimmen, wurden die Kaliumhydroxidlösungen einmal wöchentlich gegen eine 0,1-M-Salzsäure titriert. Die Mittelwerte der ermittelten Volumina der Dreifachbestimmungen der Nullprobe, der Proben und der Referenz wurden in die jeweiligen Stoffmengen umgerechnet. Aus den beiden Mittelwerten wurde dann die Differenz gebildet, um

die Einflüsse anderer CO₂-Quellen wie aus Luft oder der Erde eliminieren zu können. Die resultierende Stoffmenge war äquivalent zur freigewordenen Menge Kohlenstoffdioxid und konnte durch die molare Masse ermittelt werden. Um den zeitlichen Verlauf der Freisetzung darstellen zu können, wurde die freigewordene Mengen CO₂ aufaddiert und über die Anzahl der Tage aufgetragen. Den Abbauvorgang zeigt Abbildung 31.

In der Literatur [11] wird Cellulose als sehr schnell abbaubar eingestuft. Zumeist stellt sich eine Abbaurate von ca. 50 % der Gesamtmasse innerhalb von 50 bis 60 Tagen ein. Im durchgeführten Abbauversuch ist die Abbaurate der Referenz (Cellulose) deutlich geringer und liegt nach diesem Zeitraum (90 Tage) unter 1 %. Ein möglicher Grund hierfür ist das Austrocknen der Erde in diesem Versuchsaufbau. Für den konstanten Luftstrom, der stetig durch den Messaufbau geleitet wurde, wurde trockene Kompressorluft verwendet. Diese wurde zwar durch einen Kolben mit Wasser geleitet, jedoch reichte dieser Vorgang anscheinend nicht aus, um die Luft ausreichend mit Feuchtigkeit zu sättigen. Nach 70 Tagen wurden testweise wöchentlich 20 ml Wasser zur Erde zugegeben. Es ist deutlich in Abbildung 31 zu erkennen, dass sich die entstehende Menge CO₂ signifikant erhöhte. Während der 90 Tage des Versuchszeitraums baute sich das Mulchmaterial zehnmal besser ab als das Referenzmaterial Cellulose. Dieser Vergleich ermöglichte erste Schlüsse auf die gute Abbaubarkeit des Mulchmaterials unter den vorliegenden Laborbedingungen.

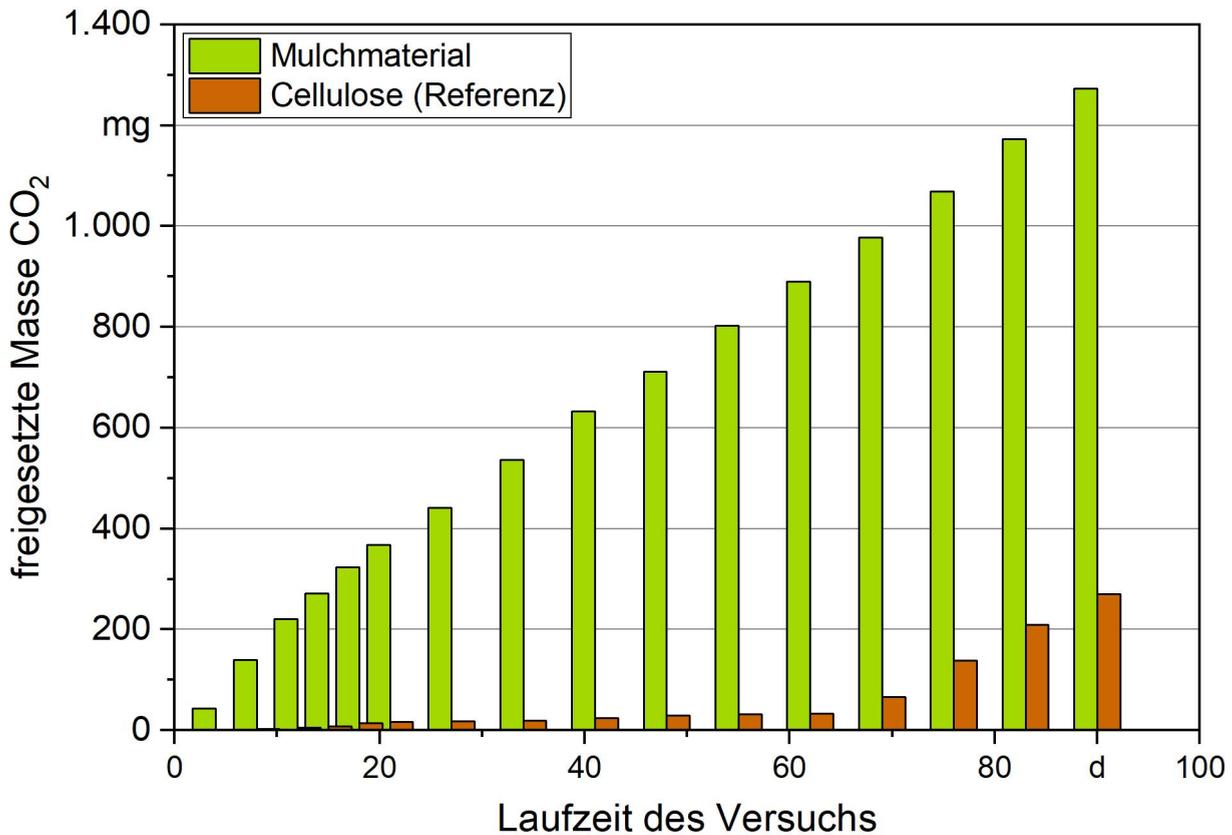


Abbildung 31: Freigesetzte Menge Kohlenstoffdioxid aufsummiert über drei Monate aus dem Abbau von Mulchmaterial und Cellulosefasern (Referenz)

Der Versuch wurde zum Ende der Projektlaufzeit wiederholt, um die Daten abzusichern. In diesem Versuch wurde das Referenzmaterial Cellulose gegen Stärke ausgetauscht. Stärke ist in kurzer Zeit sehr gut abbaubar [17] und kann so auch während eines kurzen Beobachtungszeitraums als Referenz für eine gute Abbaubarkeit dienen. Diese Annahme bestätigte sich auch bei den Versuchen (vgl. Abbildung 32). Nach 50 Tagen war bereits gut ein Drittel der Stärke abgebaut. Im zweiten Versuch baute sich auch das Mulchmaterial schneller ab als im ersten Versuchsansatz. Während bei der ersten Versuchsdurchführung nach 50 Tagen ca. 700 mg CO₂ freigesetzt wurden, waren es zum selben Zeitpunkt bei der zweiten Durchführung bereits knapp 1.000 mg. Dieser schnellere Abbau lässt sich mit der feuchteren Erde im Versuchsaufbau erklären. In der zweiten Durchführung wurde gut darauf geachtet, dass die Erde nicht zu stark austrocknete und das Bodenleben dadurch aktiver blieb. Nach 50 Tagen waren damit ca. 25 % des Mulchmaterials abgebaut. Der Abbau des Mulchmaterials hängt stark von den einzelnen Komponenten ab. Es liegen gut abbaubare Stärke und Pflanzenöl vor, ebenso wie die unbehandelten, ligninhaltigen Cellulosefasern, die sich langsamer abbauen. Die Versuche zeigten, dass sich das Mulchmaterial unter den vorherrschenden Laborbedingungen gut abbaut. In der Praxis liegen meist andere Bedingungen vor, allerdings zeigten Beobachtungen, dass sich das Material auch hier gut abbaut. Die Geschwindigkeit hing hier primär von der Witterung ab. Viele Niederschläge begünstigten den Abbau, während ihn trockenes Wetter verzögerte.

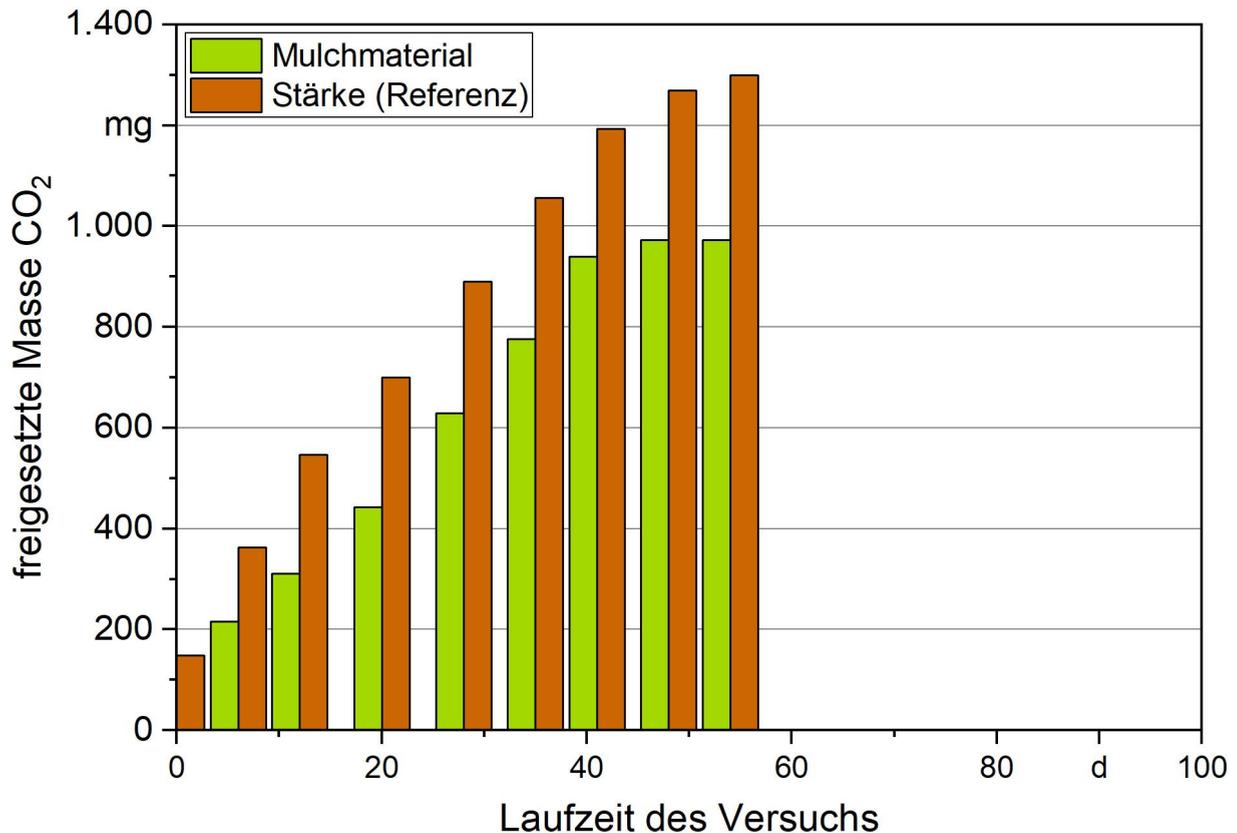


Abbildung 32: Freigesetzte Menge Kohlenstoffdioxid aufsummiert über 50 Tage aus dem Abbau von Mulchmaterial und Stärke (Referenz)

5.2.2.8 Rückstandsanalytik Pflanzenöl im 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 hauptsächlich 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. Das Limit dieser Methode lag bei 5 mg pro 150 g Boden, das entsprach 33 mg Rapsöl pro kg Boden). In Abbildung 33 ist der Peak in der gaschromatografischen Messung der methylierten Ölsäure bei 12,5 min zu erkennen.

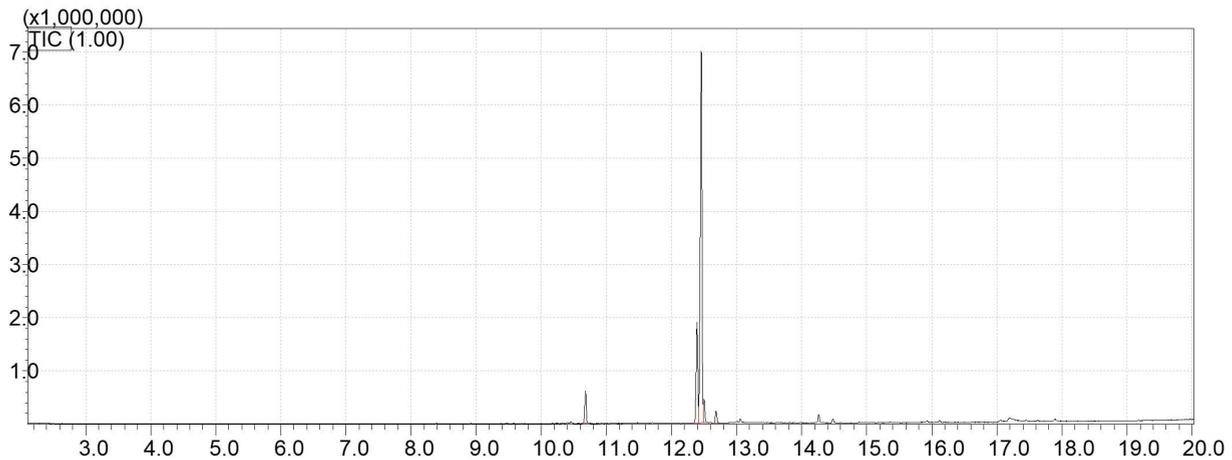


Abbildung 33: GC-Messung einer Probe mit zugesetzten 5 mg Rapsöl – Peak der methylierten Ölsäure bei 12,5 min

Mit derselben Methode wurden auch die Rückstände der Extraktion von Bodenmaterial direkt unter dem Mulchmaterial und von Boden des Referenzstreifens ohne Mulchmaterial untersucht. Bei beiden Varianten konnte allerdings kein Peak bei der entsprechenden Retentionszeit detektiert werden (vgl. Abbildung 34 und Abbildung 35). Dadurch lässt sich feststellen, dass sich drei Monate nach der Applikation des Mulchmaterials zumindest weniger als 33 mg Rapsöl pro Kilogramm Erde unter dem Mulchmaterial auffinden ließen.

Die Bodenproben für die Extraktion wurden 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. [67]

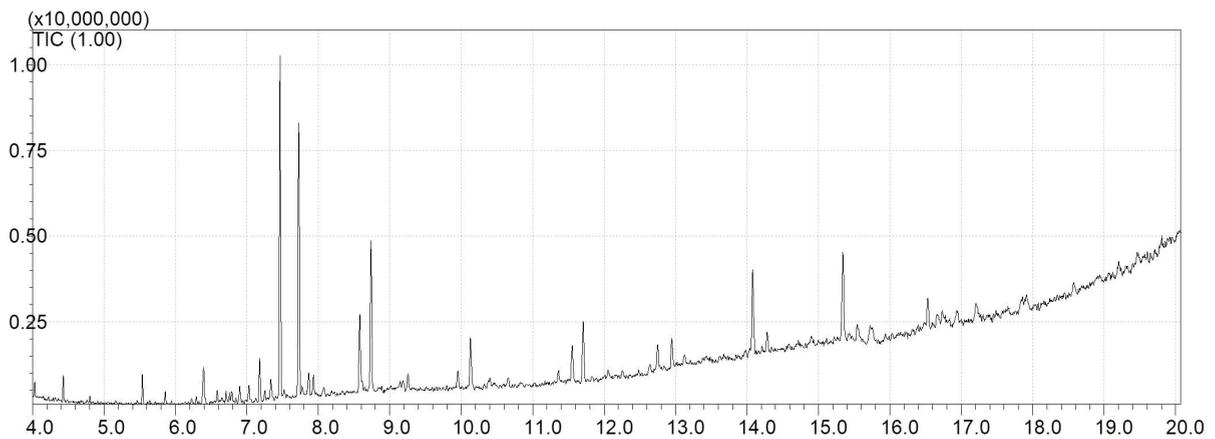


Abbildung 34: GC-Messung einer Bodenprobe, entnommen unter einer mit Mulchmaterial abgedeckten Fläche

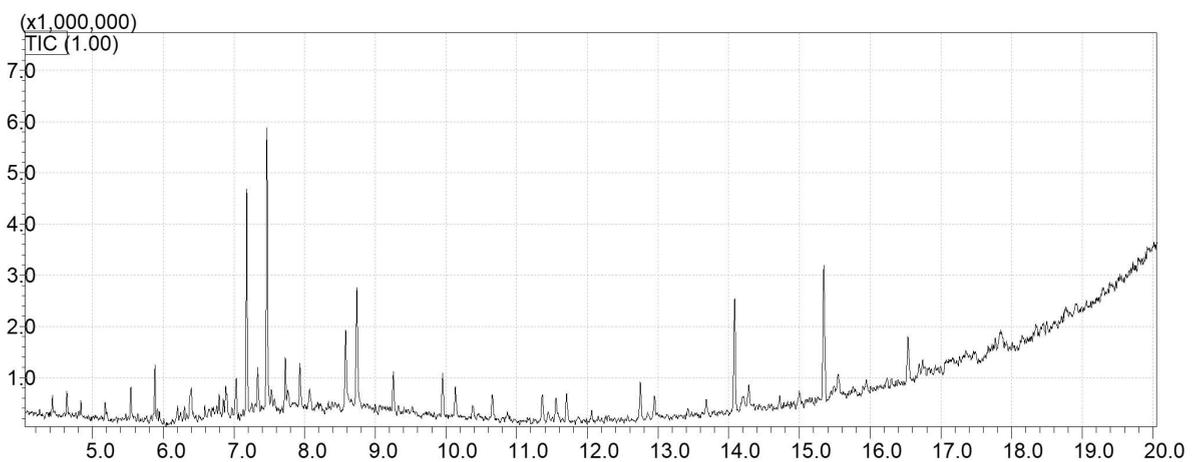


Abbildung 35: GC-Messung einer Bodenprobe, entnommen unter einer nicht mit Mulchmaterial abgedeckten Fläche

5.2.3 Praxisnahe Versuche im Gewächshaus

5.2.3.1 Auswahl der Beikräuter und Bestimmung der Keimfähigkeit

Um aus allen hergestellten Prüfkörpern geeignete Rezepturen für den Praxistest auszuwählen, mussten die Rezepturen in praxisnahen Versuchen getestet werden. Hierfür sollten Beikräuter im Gewächshaus kultiviert und anschließend mit unterschiedlichen Rezepturen behandelt werden. Allerdings traten Schwierigkeiten bei der Beschaffung des Saatguts in ausreichender Menge und Qualität auf, weshalb die ersten Experimente nur mit vier repräsentativen Beikräutern (*Amarant* [*Amaranthus retroflexus*], Flughafener [*Avena fatua*], Vogelmiere [*Stellaria media*] und Ackerkratzdistel [*Cirsium arvense*]) durchgeführt werden konnten. Zu Beginn der Versuche wurden Keimtests sowohl auf Filterpapier als auch auf Bodensubstrat durchgeführt, um das Saatgut auf die Keimfähigkeit zu untersuchen und abzuschätzen, wie viel Samen pro Kiste ausgebracht werden mussten. Dabei

wurde folgende Keimfähigkeit des Saatguts ermittelt: Amarant 27 %, Flughafer 30 %, Vogelmiere 23 % und Ackerkratzdistel 67 %.

5.2.3.2 Spritzversuche im Gewächshaus auf Aussaatkisten

Um die geeignetste Formulierung für die Praxisversuche auszuwählen, wurden mit den drei am besten bewerteten Rezepturen auf Stärkebasis (R88a, R105d und R114k) Gewächshausversuche durchgeführt und nach zweierlei Kriterien ausgewertet. Zum einen sollte die Beikraut regulierende Wirkung, zum anderen auch die physikalischen Eigenschaften des Materials für den Anwendungszweck geeignet sein. Um die Beikraut regulierende Wirkung auszuwerten, wurden die Pflanzen nach drei Wochen gezählt, die pro Aussaatkiste durchgewachsen und nicht abgestorben waren. Abbildung 36 zeigt die Ergebnisse. Große Unterschiede zeigten sich schon in den Referenzkisten. Obwohl in allen Aussaatkisten exakt übereinstimmende Mengen Samen ausgesät worden waren, resultierten stark unterschiedliche Mengen gekeimter Pflanzen. Diese Diskrepanz lag an der Keimfähigkeit der Arten. Alle drei Rezepturen schienen auf den ersten Blick einen deutlichen Beikraut unterdrückenden Effekt zu haben. Die Anzahl durchgewachsener Flughafer- und Vogelmiere-Pflanzen bei Behandlung mit Rezeptur R105d schien höher als bei den anderen beiden Rezepturen zu sein. Alle drei Formulierungen wirkten aber augenscheinlich sehr gut gegen Amarant. Als Fazit ließ sich festhalten, dass die Beikraut unterdrückenden Wirkungen der Rezepturen R88a und R114k auf einem vergleichbaren Niveau lagen, während die Rezeptur R105d etwas schlechter abschnitt. Um die geeignetste Rezeptur für die Praxisversuche auszuwählen, kam es auch auf die physikalischen Eigenschaften der Materialien an. Hierbei wurden Materialeigenschaften wie Flexibilität, Anzahl der Risse und das Schrumpfverhalten untersucht. Diesbezüglich schnitt die Rezeptur R114k besser ab als die anderen beiden. Es bildeten sich deutlich weniger Risse. Zudem schrumpfte das Mulchmaterial in der Aussaatkiste kaum, was in Abbildung 37 zu sehen ist. R88a (links) wirkt spröder und weist auch vermehrt kleinere Risse auf.

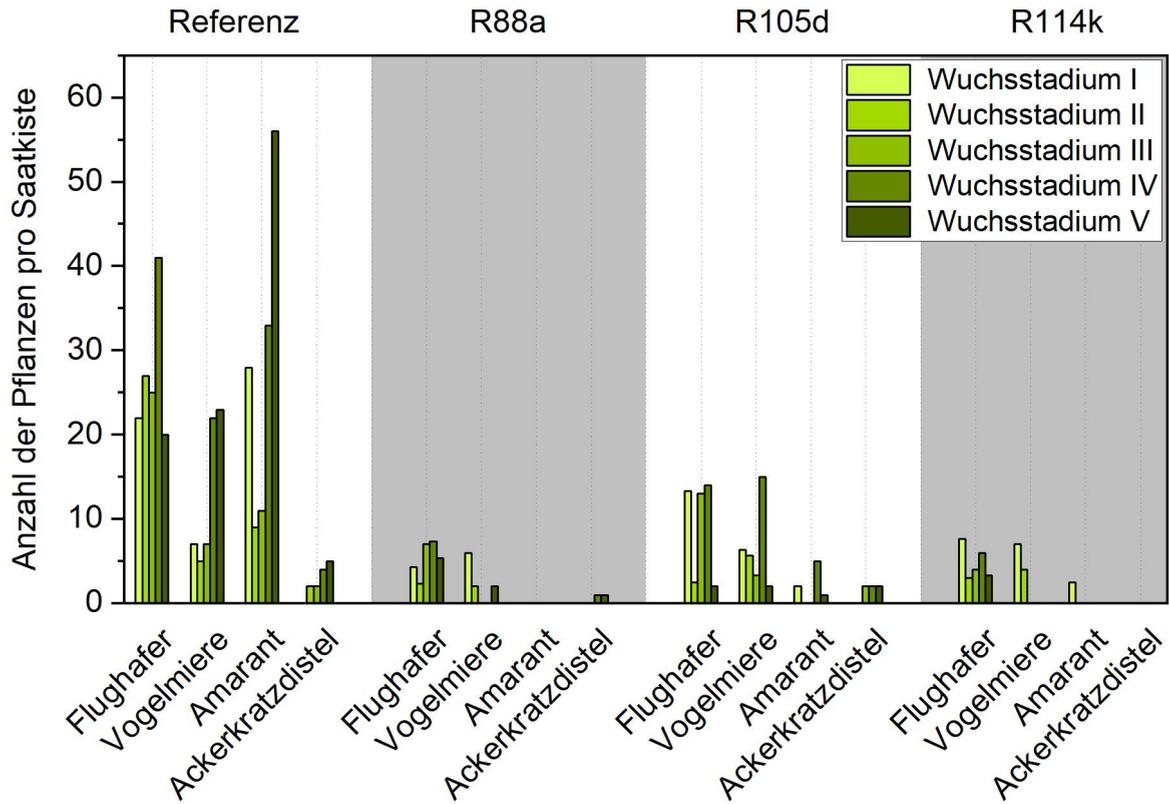


Abbildung 36: Anzahl durchgewachsener Beikräuter je Saatkiste nach Behandlung mit Mulchmaterial der Rezepturen R88a, R105d und R114k in Abhängigkeit vom Wuchsstadium bei der Behandlung ($n = 4$)



Abbildung 37: Vergleich der Oberflächenbeschaffenheit und Schrumpfung der Mulchmaterialien der drei Rezepturen R88a (links), R105d (Mitte) und R114k (rechts) drei Wochen nach der Applikation im Gewächshaus

Die Beikraut unterdrückende Wirkung der Rezeptur R114k ist in Abbildung 38 im zeitlichen Verlauf dargestellt. Das linke Bild zeigt die Kiste vor der Behandlung, vier Wochen nach der Aussaat, das Bild in der Mitte direkt nach der Behandlung und das rechte Bild die schon abgestorbenen Pflanzen drei Wochen nach der Applikation. Wie oben beschrieben zeigte das Mulchmaterial drei Wochen nach der Aufbringung keine Beschädigungen. Es bildeten sich nur sehr vereinzelt kleine Risse – zum Teil verursacht durch die Bewegungen beim Tragen der Pflanzkiste. Zusammenfassend eignen sich wohl die beiden Rezepturen R88a und R114k als spritzbares Mulchmaterial zur Beikrautregulierung. Da Rezeptur 114k bei den physikalischen Eigenschaften den besseren Eindruck machte, wird R114k als Vorzugsvariante bei den Praxisversuchen Anwendung finden.



Abbildung 38: Beikraut unterdrückende Wirkung der Rezeptur R114k im zeitlichen Verlauf – unbehandelte Beikräuter ca. vier Wochen nach der Aussaat (Bild links), direkt nach der Applikation (Mitte) und drei Wochen nach der Applikation (rechts)

5.2.4 Entwicklung der Applikationstechnik

Die Entwicklung der Applikationstechnik war ein stetiger Optimierungsprozess. Der grundlegende Aufbau mit einem Rahmen aus Aluprofilen, Pumpen, Stromversorgung und Steuerung wurde bereits im Laufe des ersten Projektjahrs realisiert. Während der Projektlaufzeit wurden weitere Verbesserungen ergänzt. Das Applikationsgerät wurde für die Gewächshausversuche durch eine lineare Vorschubeinheit ergänzt, um auch bei diesen Versuchen eine reproduzierbare Schichtdicke ausbringen zu können.

5.2.4.1 Entwicklung einer linearen Vorschubeinheit

Um die Versuche an Beikräutern in Aussaatkisten im Gewächshaus (wie in Abschnitt 5.2.3.2 beschrieben) reproduzierbar durchführen und auch gezielt Schichtdicken einstellen zu können, wurde eine lineare Vorschubeinheit (vgl. Abbildung 39) gebaut. Mit Hilfe dieses Aufbaus war es möglich, anhand der Vorschubgeschwindigkeit der Saatkisten

und der Durchflussmenge der Pumpen die Schichtdicke des Mulchmaterials einzustellen. Das Mulchmaterial wurde in zwei Schläuchen zur linearen Vorschubeinheit gefördert. Das Düsensystem war an einem über die Vorschubeinheit gebauten Metallständer befestigt. Über das Düsensystem wurden die beiden unvermischten Komponenten ausgebracht. Auf die Oberfläche der linearen Vorschubeinheit wurde die Saatkiste gestellt und in einer einstellbaren Geschwindigkeit unter den Düsen vorbeibewegt. Ziel war es, die Applikation des Materials auf die Aussaatkisten automatisch durchführen zu können. Sowohl der Rahmen als auch das Düsensystem waren verstellbar, sodass die Düsen exakt auf die Anwendung eingestellt werden können. Dadurch war sichergestellt, dass immer reproduzierbare Schichtdicken ausgebracht wurden.

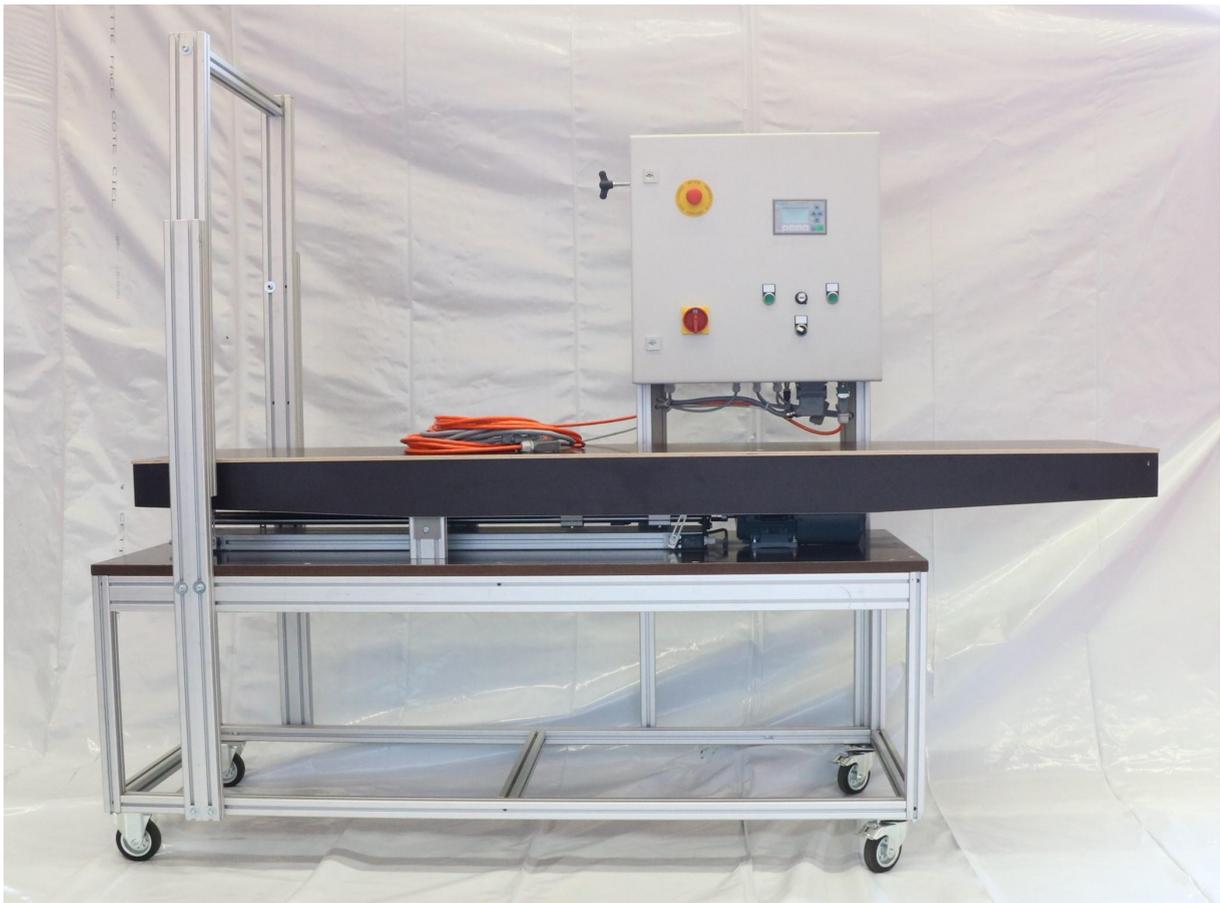


Abbildung 39: Lineare Vorschubeinheit zum Transport von Aussaatkisten im Rahmen der Gewächshausversuche

5.2.4.2 Entwicklung des Applikationssystems SAM

Für die Feldversuche war es nötig, größere Mengen Mulchmaterial zu applizieren. Um die nötigen Mengen in einer reproduzierbaren Schichtdicke auszubringen, wurde das Applikationsgerät SAM (**S**ystem zur **A**pplikation von **M**ulchmaterial) gebaut. Das Gerät musste auch für Versuche im Weinbau geeignet sein. Um auch in den engen Zeilen mancher Rebanlagen applizieren zu können, war eine Breite von maximal 1,30 m vorgesehen. Aus

diesen Vorgaben wurde die Grundfläche des Applikationsgeräts auf 1,30 m Breite und 0,85 m Länge festgelegt. Der Rahmen des Geräts wurde mit Aluminiumprofilen aufgebaut. Auch das Gewicht von SAM musste auf maximal 700 kg beschränkt sein, da eine Fahrt im steilen Gelände sonst nicht mehr möglich gewesen wäre. Für einen flexiblen Anbau des Geräts an einen Traktor wurde eine Palettengabel an das Applikationsgerät montiert, die schnell an den Drei-Punkt-Anbau befestigt werden konnte.

Bei den meisten Rezepturen lag ein Verhältnis der beiden Komponenten von ca. 1 : 2 (Ölphase zu wässriger Phase) vor. Um die im Labor ermittelten Materialeigenschaften auch beim Vermischen unter Praxisbedingungen zu erreichen, musste dieses Verhältnis immer konstant sein. Es sollte auch möglich sein, die Mischungsverhältnisse variieren zu können. Dies war erforderlich, um unterschiedliche Rezepturen zu testen, deren Zusammensetzung sich von diesem Verhältnis unterschied. Außerdem musste sichergestellt sein, dass die verwendeten Pumpen auch genügend Förderleistung hatten und Druck aufbauen konnten, um das Material mit einem ausreichenden Druck aus der Düse zu fördern. Die Durchmesser der Schläuche konnten dahingegen einfach angepasst werden.

Hinsichtlich der Art der Pumpen wurde für die Praxisanwendung auf Schlauchpumpen gesetzt. Diese haben keinen direkten Kontakt zum Medium, was besonders bei der ölhaltigen A-Komponente von Vorteil war. In der Ölphase waren neben Natriumalginat- und Calciumsulfatpulver auch Cellulosefasern suspendiert. In Kombination mit dem Pflanzenöl ergab sich eine hochviskose Suspension, die aufgrund der Zähigkeit leicht zu Verstopfungen und Ablagerungen führen konnte. Außerdem können mit Schlauchpumpen auch scherkraftempfindliche und hochviskose Flüssigkeiten gefördert werden. Die Fördermenge der beiden Schlauchpumpen wurde so gewählt, dass sie einerseits im kleineren Maßstab in den Gewächshausversuchen, aber auch in den Feldtests zum Einsatz kommen können. Unter Berücksichtigung der großen Diskrepanz beider Bereiche und der Tatsache, dass das Verhältnis der Fördervolumina beider Komponenten bei 1 : 2 liegt, war eine maximale Durchflussmenge von ca. zehn Litern pro Minute angedacht. Durch den Einsatz von Pumpen mit frequenzgesteuerten Servomotoren ließen sich die Drehzahlen und damit die Förderleistungen der Pumpen nach unten regeln. Das war grundsätzlich bis zu 40 % der maximalen Drehzahl möglich. Bei einer der Pumpen (Ölkomponente) wurde der Antriebsmotor zusätzlich mit einem externen Lüfter ausgestattet, sodass die Drehzahl noch weiter reduziert werden konnte. Rechnerisch war so eine Drehzahlreduzierung von 90 % der maximalen Geschwindigkeit möglich. Mit diesen beiden Anpassungen konnten sowohl Feldtests als auch Gewächshaus tests und ebenso die Dosierung des richtigen Komponentenverhältnisses gut bewerkstelligt werden. Zur Reduzierung der Pulsation, die durch langsames Betreiben der Schlauchpumpen entstehen kann, wurden zwei Pulsationsdämpfer der Firma Steinle verbaut. Um ausreichend Mulchmaterial mitführen zu können, wurden zwei Vorratsbehälter inklusive Rührwerke für die Komponenten verbaut (vgl. Abbildung 40 und Tabelle 11). Die Volumina der Vorratsbehälter wurde so ausgewählt, dass das Applikationsgerät SAM bei höchstem Füllstand insgesamt bei maximal 700 kg lag. Dies ergab ein Volumen des Vorratsbehälters der wässrigen Phase von 90 Litern bzw. ein Volumen von 60 Litern für das Behältnis der öligen Komponente. Als Rührwerke dienten anfangs zwei handelsübliche Bohrmaschinen, die aber im Zuge von Opti-

mierungsmaßnahmen gegen ansteuerbare Laborrührgeräte (Heidolph Hei-TORQUE Precision 200) ausgetauscht wurden. Dies hatte neben der geringeren Lärmbelastung auch den Vorteil, die Steuerung mittels LabView realisieren zu können.

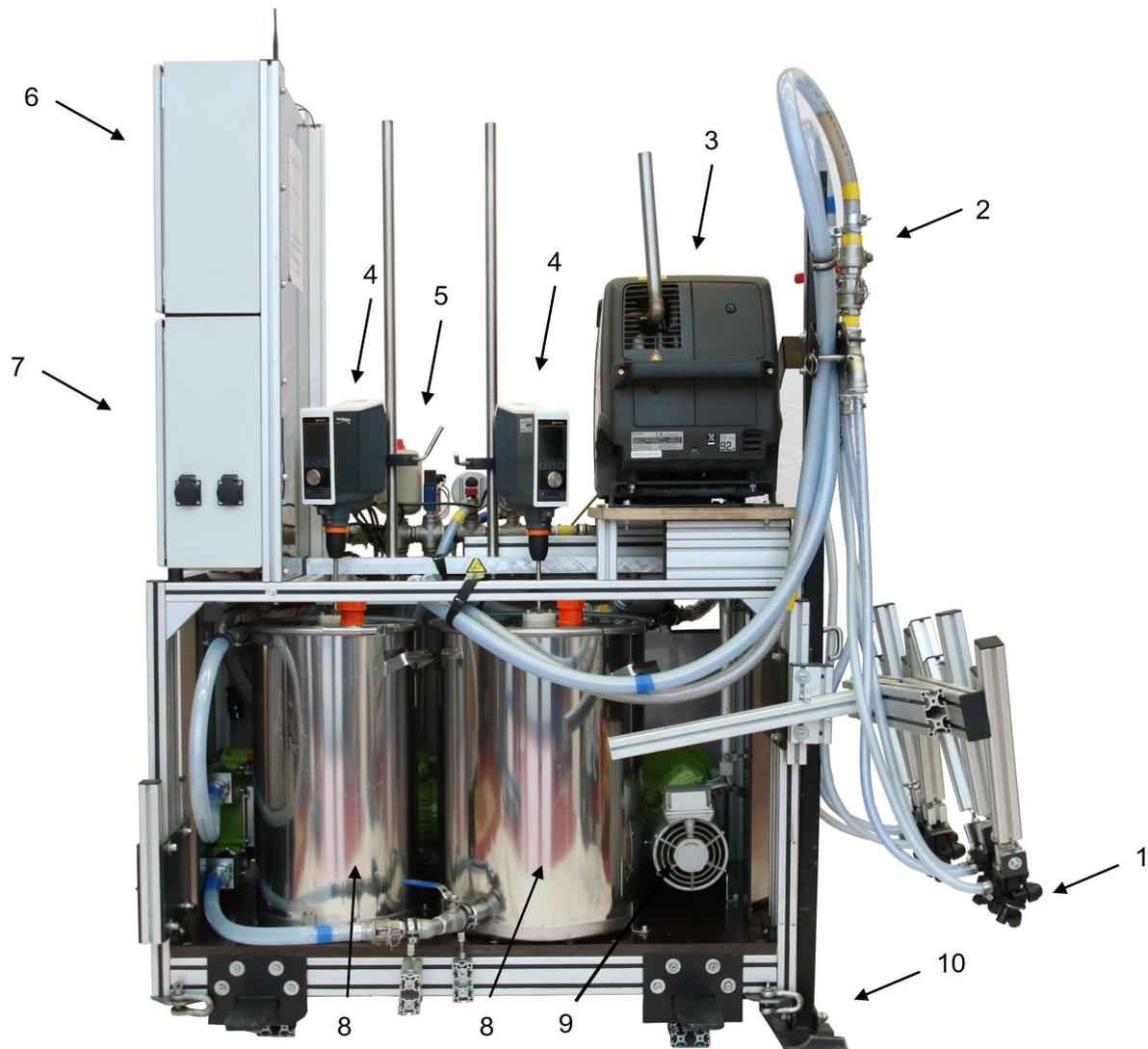


Abbildung 40: System für die Applikation von Mulchmaterial (SAM) – Stand 2022

Tabelle 11: Auflistung der einzelnen Bauteile des Applikationsgeräts SAM

Position	Bezeichnung	Stück
1	Agrardüsen	6
2	Verteilung	2
3	Mobiler Generator (Stromaggregat)	1
4	Rührwerk	2
5	Pulsationsdämpfer	2
6	Schaltschrank Steuerungstechnik mit Bedienpanel	1
7	Schaltschrank Elektrik	1
8	Vorratsbehälter	2
9	Peristaltikpumpe (Schlauchpumpe)	2
10	Gleitkufe	1

Die beiden Phasen A und B wurden anfangs in einem Mischerblock mit Statikmischer vermengt. Die homogene Vermischung gelang mit diesem Verfahren sehr gut. Um Spritzschatten zu verringern, wurden zwei in einem Winkel von ca. 120° gegeneinander ausgerichtete Statikmischer eingesetzt. Die Ausbringung erfolgte über eine Flachstrahldüse am Ende jedes Statikmischer. Der benötigte Druck für einen gleichmäßigen Spritzstrahl konnte durch die beiden Pumpen problemlos erzeugt werden. Die Einstellung des Mischungsverhältnisses war anfangs allerdings etwas umständlich. Da nur die Menge an Material, das den Statikmischer verließ, gewogen werden konnte, mussten beide Phasen vorab separat ausgelitert werden. Hierbei entstanden erste Ungenauigkeiten, da beim Spritzen der einzelnen Komponenten kein Gegendruck im Mischerblock durch die zweite Komponente aufgebaut wurde, was sich auf die geförderte Menge auswirken könnte. Aus diesem Grund wurde für die Überwachung des Durchflusses auf Ultraschalldurchflussmesser gesetzt. Diese Art Sensoren wurde nach zahlreichen Vorversuchen ausgewählt, da diese keinen Kontakt zum Medium haben und damit nicht verstopfen können. Die Messung des Volumenstroms der Ölphase war allerdings sehr ungenau, da die Ultraschallwellen ungewünschte Wechselwirkungen mit der zugesetzten Zellulose eingingen und dadurch die Genauigkeit der Messung stark litt. Besser geeignet gewesen wären Coriolis-Massendurchflussmesser, die allerdings einen sehr hohen Anschaffungspreis haben. Für die ersten Praxisversuche im Weinbau wurden die Sensoren demontiert und manuell per Hand der gewünschte Volumenstrom eingestellt. Diese Handhabung stellte sich als präziser und einfacher heraus. Der erste Versuch unter Praxisbedingungen verlief zufriedenstellend, allerdings war der Reinigungsaufwand der beiden Statikmischer und des Mischerblocks nach jedem Applikationsdurchgang sehr hoch. Daher wurde die Applikationstechnik „Vermischen im Spritzstrahl“ entwickelt (vgl. Abschnitt 5.2.4.4).

Um stets mit der gewünschten Spritzbreite applizieren zu können, musste der Abstand zwischen Düsen und Boden konstant gehalten werden. Hierfür wurden die Düsen an einen

Gleitschuh befestigt. Dieser reagierte auf alle Unebenheiten im Boden, wodurch auch die Spritzbreite angepasst wurde (Details sind in Abschnitt 5.2.4.5 dargestellt).

Die Steuerung des Applikationsgeräts erfolgte über einen Bildschirm am Schaltschrank mit der Software LabView. Das Applikationsgerät SAM war während der Applikation am Heck des Schleppers angebaut, sodass sich der Schaltschrank sehr hoch über dem Boden befand. Enge Fahrgassen und steile Zeilen erschwerten die Steuerung. Aus diesen Gründen wurde ein Tablet mittels WLAN mit der Steuerung verbunden, sodass das Gerät aus sicherer Entfernung gesteuert werden konnte. Diese Verbesserung brachte nicht nur mehr Komfort in die Bedienung des Applikationsgeräts, sondern war auch ein wichtiger Schritt bezüglich Verbesserung der Arbeitssicherheit.

5.2.4.3 Anmischen der Komponenten bei Feldversuchen

Die ausgebrachte Menge an Mulchmaterial variierte bei den Feldversuchen zwischen 2,5 mm und 5 mm. Diese Mengen entsprachen 2,5 bzw. 5 Liter je Quadratmeter zu applizierender Fläche. Um diese Volumina anzurühren, wurden die Inhaltsstoffe der einzelnen Komponenten vorab portioniert, sodass die Chargen bei den Feldversuchen nur noch zusammengegeben und verrührt werden mussten. Hierfür wurden Gebinde mit einer Gesamtmasse von 130 kg angerührt. Dies entsprach einer Füllung der Vorratsbehälter. Angerührt wurde in zwei 60-Liter-Eimern, je einer pro Komponente. Zum Anrühren wurden zwei Handrührgeräte verwendet. Die Flüssigkeiten Wasser bzw. Pflanzenöl wurden vorgelegt, die Feststoffe anschließend zugegeben und ca. fünf Minuten verrührt (vgl. Abbildung 41). Die aufgerührten Suspensionen wurden dann direkt in das Applikationsgerät SAM gepumpt.



Abbildung 41: Anmischen der ölhaltigen Komponente mit einem Handrührgerät

5.2.4.4 Entwicklung der Applikationsmethode „Vermischen im Sprühstrahl“

Das Vermischen der beiden Komponenten wurde in den ersten Versuchen mit einem Statkmischer bewerkstelligt. Statkmischer sind grundsätzlich sehr gut geeignet, verschiedene Medien homogen miteinander zu vermengen. Allerdings verursachte diese Methode großen Reinigungsaufwand bei den Versuchen. Nach jedem Spritzdurchgang musste das ausgehärtete Material aus dem Statkmischer entfernt werden. Sobald die Pumpen ausgeschaltet wurden, begann das Mulchmaterial in der Mischkammer und im Statkmischer fest zu werden. Nach kürzeren Pausen war es zwar möglich, weiteres Material durchzupumpen, häufig wurde dabei allerdings die Düse mit kleinen ausgehärteten Klümpchen verstopft. Nach längeren Pausen konnte das Material dann nicht mehr gefördert werden, da der Statkmischer komplett verstopft war. In diesem Fall half nur noch intensives Reinigen des Statkmischer und der Düsen. Um dieses Problem zu umgehen, wurden zwei Möglichkeiten erarbeitet. Zum einen wurde der Statkmischer um eine Reinigungsfunktion ergänzt. Hierfür wurden zwei Druckluftanschlüsse – ein Anschluss an jeder Komponentenführung – montiert. Nach jedem Spritzvorgang wurden die Rohrleitungen, der Mischerblock sowie der Statkmischer und die Düse mit Druckluft gereinigt (Abbildung 42).

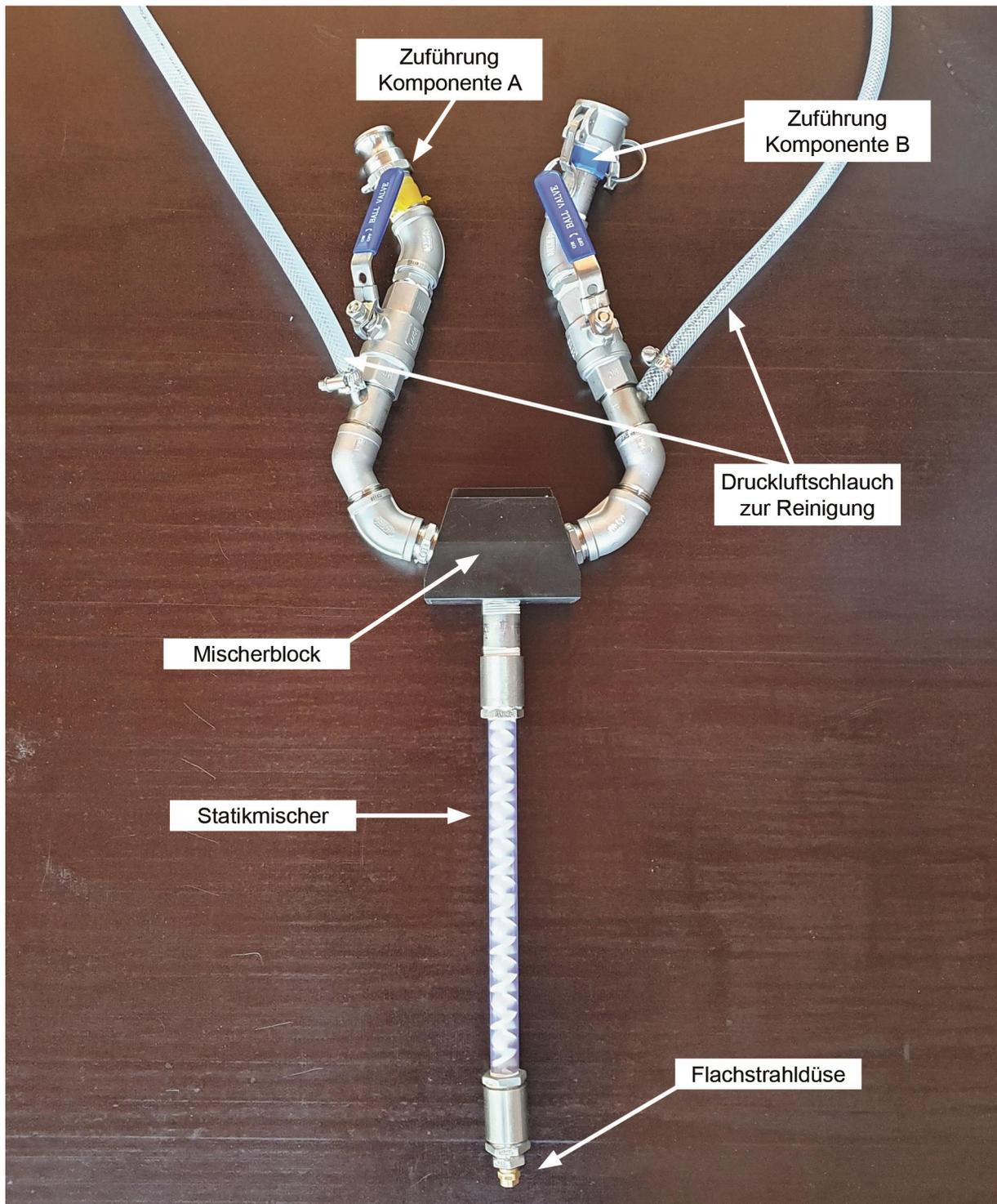


Abbildung 42: Statikmischer mit Mischkammer und zwei Anschlüssen für die Komponenten A und B sowie Druckluftanschluss zur Reinigung des Systems

Eine andere Art der Vermischung der beiden Komponenten wurde durch ein neues Mischverfahren, Vermischen im Spritzstrahl, realisiert. Dabei kamen die beiden Komponenten A (Ölphase) und B (Wasserphase) erst außerhalb der Düsen in Kontakt, was zu einer erheblichen Zeit- und Arbeitersparnis führte. Problematisch war das Applizieren der öligen Komponente A. Die meisten Düsen sind für das Medium Wasser ausgelegt und bilde-

ten mit einer Ölphase meist nur einen unbefriedigenden Sprühstrahl aus. Um geeignete Düsen für diese Anwendung zu finden, wurden mehrere Düsengeometrien und deren Sprühwinkel untersucht. Die vielversprechendsten Ergebnisse sind abgebildet in Tabelle 12 und Tabelle 13.

Tabelle 12: Resultierende Spritzwinkel, Drücke und Durchflussmengen für unterschiedliche Düsengeometrien und Querschnitte bei vorgegebenen Pumpendrehzahlen der Komponente A (Ölphase)

Düsengeometrie	Firmenspezifikation Sprühwinkel in °	Querschnitt in mm	Durchfluss in kg/min	Druck in bar	Resultierender Sprühwinkel in°
Vollkegel	60	1,90	3,9	4	4,1
Vollkegel	60	2,30	3,9	4	3,2
Vollkegel	90	2,00	5,1	3	10,3
Vollkegel	90	2,00	5,6	3,5	15,4
Vollkegel	90	2,00	6,2	4	13,3
Zungendüse	45	3,00	5,1	2-2,5	17,2
Vollkegel	90	1,90	3,4	4-5	5,5
Vollkegel	90	1,90	2,2	3,0	4,1
Vollkegel	90	2,40	3,9	3,0	5,3
Vollkegel	90	2,40	4,5	3,5-4	5,5
Vollkegel	90	2,40	5,1	4-5	7,0
Flachstrahl	45	1,80	3,9	2,5-3	16,7
Flachstrahl	45	1,80	4,5	3-3,5	22,6
Flachstrahl	45	1,80	5,1	4,0	25,6
Flachstrahl	45	1,40	2,8	3-3,5	25,1
Flachstrahl	45	1,40	3,4	4,0	29,2
Flachstrahl	60	1,60	2,8	1,8	27,5
Flachstrahl	60	1,60	3,4	2,0	34,5
Flachstrahl	60	1,60	3,9	2,5	39,7
Flachstrahl	60	1,60	4,5	3,0	42,5
Flachstrahl	60	1,30	2,8	3,0	35,6
Flachstrahl	60	1,30	3,4	4,0	43,2
Flachstrahl	90	1,10	2,2	1,8	65,4
Flachstrahl	90	1,10	2,8	2,5-3	69,2
Flachstrahl	90	1,10	3,4	3-3,5	72,7
Flachstrahl	45	1,10	2,2	4,0	22,8

Tabelle 13: Resultierende Spritzwinkel, Drücke und Durchflussmengen für unterschiedliche Düsengeometrien und Querschnitte bei vorgegebenen Pumpendrehzahlen der Komponente B (Wasserphase)

Düsengeometrie	Firmenspezifikation Sprühwinkel in °	Querschnitt in mm	Durchfluss in kg/min	Druck in bar	Resultierender Spritzwinkel in °
Flachstrahl	30	1,50	7,6	2,0	31,2
Flachstrahl	30	1,50	8,1	2,5-3	31,7
Flachstrahl	30	1,50	8,7	3-3,5	26,5
Flachstrahl	45	1,40	7,6	2,0	39,8
Flachstrahl	45	1,40	8,1	3,0	40,4
Flachstrahl	45	1,40	8,7	3,5	43,7
Flachstrahl	45	1,10	7,6	2,5	40,2
Flachstrahl	45	1,10	8,1	4,0	46,1
Flachstrahl	45	1,10	7,8	3,5-4	34,8
Flachstrahl	60	1,00	7,0	4,0	62,5
Flachstrahl	60	1,00	6,8	3,5	61,4
Flachstrahl	60	1,00	6,2	3,0	61,9
Flachstrahl	60	1,30	6,5	1,5	52,3
Flachstrahl	60	1,30	7,0	2,0	50,2
Flachstrahl	60	1,30	7,6	2,2	56,7
Flachstrahl	60	1,30	8,1	3,0	55,7
Flachstrahl	90	1,90	6,5	1,0	75,5
Flachstrahl	90	1,90	7,0	2,0	80,0
Flachstrahl	90	1,90	7,6	2,2	84,5
Flachstrahl	90	1,90	8,1	2,5-3	86,5
Flachstrahl	90	0,80	6,0	1,0	68,9
Flachstrahl	90	0,80	6,2	2,0	74,6
Flachstrahl	90	0,80	6,5	2,0	75,0
Flachstrahl	90	0,80	6,8	2,2	77,8
Flachstrahl	90	0,80	7,0	3,0	78,9
Flachstrahl	90	0,80	7,3	3,5	78,8
Flachstrahl	45	2,00	6,8	1,0	38,0
Flachstrahl	45	2,00	7,3	1,0	39,9
Flachstrahl	45	2,00	8,1	2,0	44,0
Flachstrahl	45	2,00	8,7	2,0	40,1
Vollkegel	60	2,05	7,6	2,0	31,6
Vollkegel	60	1,80	7,6	2,5	36,1
Hohlkegel	90	2,00	6,5	1,0	91,4
Hohlkegel	90	2,00	7,0	1,8	88,5
Hohlkegel	90	2,00	7,6	2,0	92,1

Um mit diesen Ergebnissen einen funktionierenden Aufbau für ein kontaktloses Vermischen realisieren zu können, mussten Paare jeweils eines Düsentyps für die Ölphase und eines Düsentyps für die Wasserphase gefunden werden, die bei dem benötigten Durchfluss auch denselben Sprühwinkel bildeten. Das war beispielsweise der Fall bei den Flachstrahldüsen 60 ° mit 1,60 mm Querschnitt für die ölige Komponente und der Flachstrahldüse 60 ° mit 1,30 mm Querschnitt für die wässrige Komponente. Die Durchflussmengen der Düsen ergab das gewünschte Verhältnis 1 : 1,85. Außerdem stimmten die resultierenden Spritzwinkel gut überein. Dieses Düsenpaar wurde deshalb auch für die ersten Versuche des Vermischens im Sprühstrahl (vgl. Abbildung 43) verwendet.



Abbildung 43: Versuchsaufbau für das Vermischen im Sprühstrahl mit Flachstrahldüsen

In Abbildung 43 ist erkennbar, dass sich die Strahlen der drei Düsen beim Auftreffen am Boden komplett überlappen. Das war wichtig für ein gleichmäßiges und gut vermischtes Mulchmaterial. Die Versuche mit dem Vermischen im Sprühstrahl verliefen durchweg sehr positiv. Die resultierende Mulchschicht wurde nach der Applikation sehr rasch fest. Rein optisch waren keine Unterschiede zur Applikation mit Statikmischer feststellbar. In einem weiteren Optimierungsschritt wurden die Flachstrahldüsen durch Agrardüsen (agrotop GmbH, Deutschland, Ölphase: Schwarz, Wasserphase: Grau, Spritzwinkel 60 °) ersetzt. Diese verfügten über einen Tropfstopp, sodass nach dem Abschalten der Pumpen kein Material mehr aus den Düsen tropfte. Nachteilig war allerdings die enge Geometrie in Düse und Tropfstopp, da sich hier feste Ablagerungen des Mulchmaterials bildeten und so die Düse verstopfen konnte (Abbildung 44). Es wurde auch festgestellt, dass eingetrocknete Rückstände des Pflanzenöls die Membran verkleben konnten. Diese Rück-

stände verringerten die Haltbarkeit dieser Düsen, sodass sie gegebenenfalls bei Gebrauch in kurzen Abständen ersetzt werden mussten.

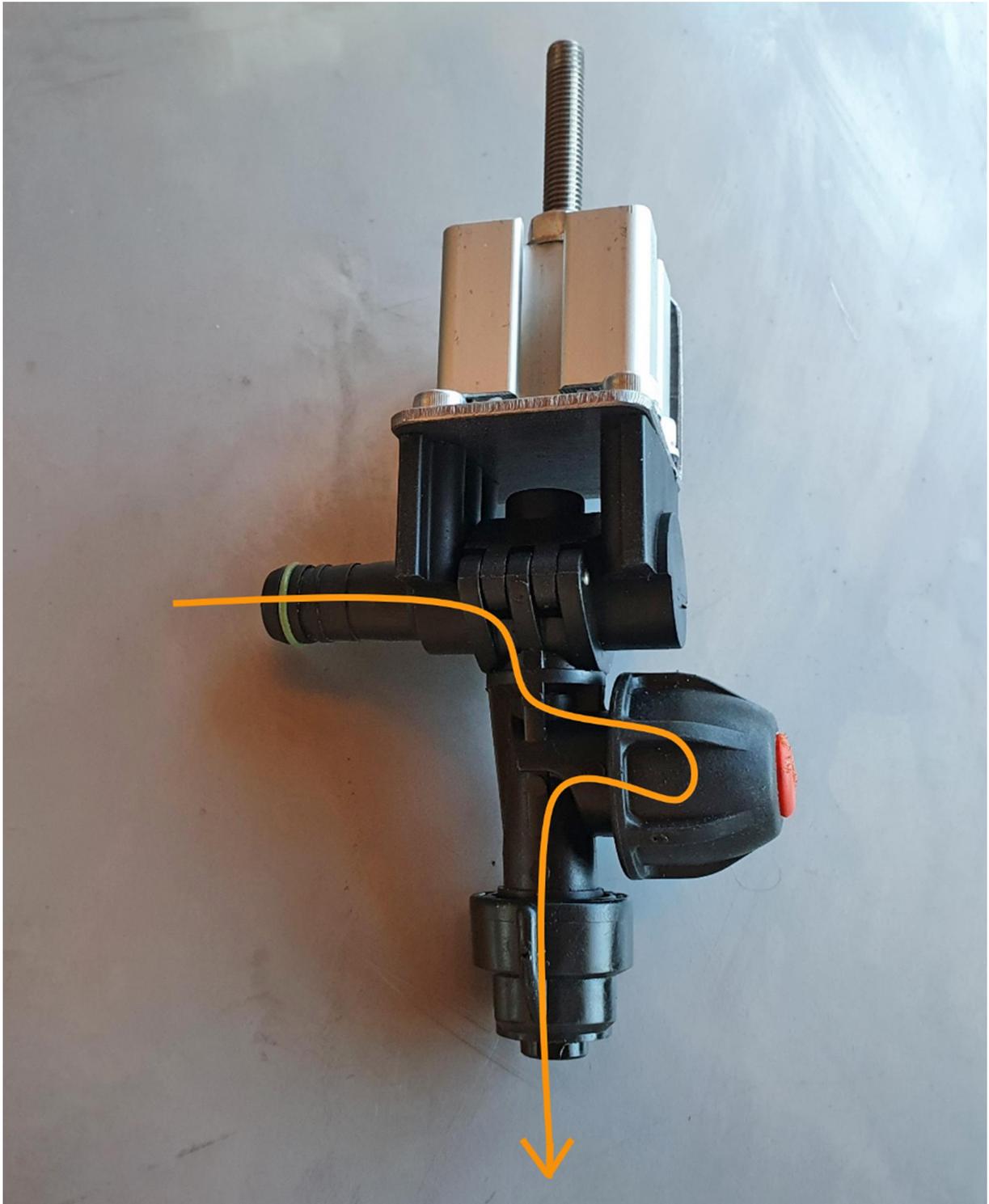


Abbildung 44: Agrardüse mit markierter Durchflussrichtung des Mulchmaterials

5.2.4.5 Höhenanpassung des Düsensystems an den Boden

Um den Beikraut regulierenden Effekt des Materials untersuchen zu können, war die Reproduzierbarkeit der Applikation ein entscheidender Einflussfaktor. Um die Breite des Applikationsstreifens konstant halten zu können, war es notwendig, dass sich die Düsen immer im selben Abstand zum Boden befanden. Vergrößerte oder verkleinerte sich dieser Abstand, so veränderten sich auch die Breite des applizierten Streifens und die Dicke des Materials. Um dieses Problem zu lösen, wurden die Düsen an einer in vertikaler Richtung auslenkbaren Stütze mit Gleitschuh befestigt (vgl. Abbildung 45). Der Gleitschuh schleifte über den Boden und hob oder senkte die Stütze bei Bodenunebenheiten. Dadurch wurden dann auch die Düsen je nach Bodenbeschaffenheit mitbewegt. Der Abstand von den Düsen zum Boden blieb so immer gleich und es resultierte ein immer gleiches Spritzbild.

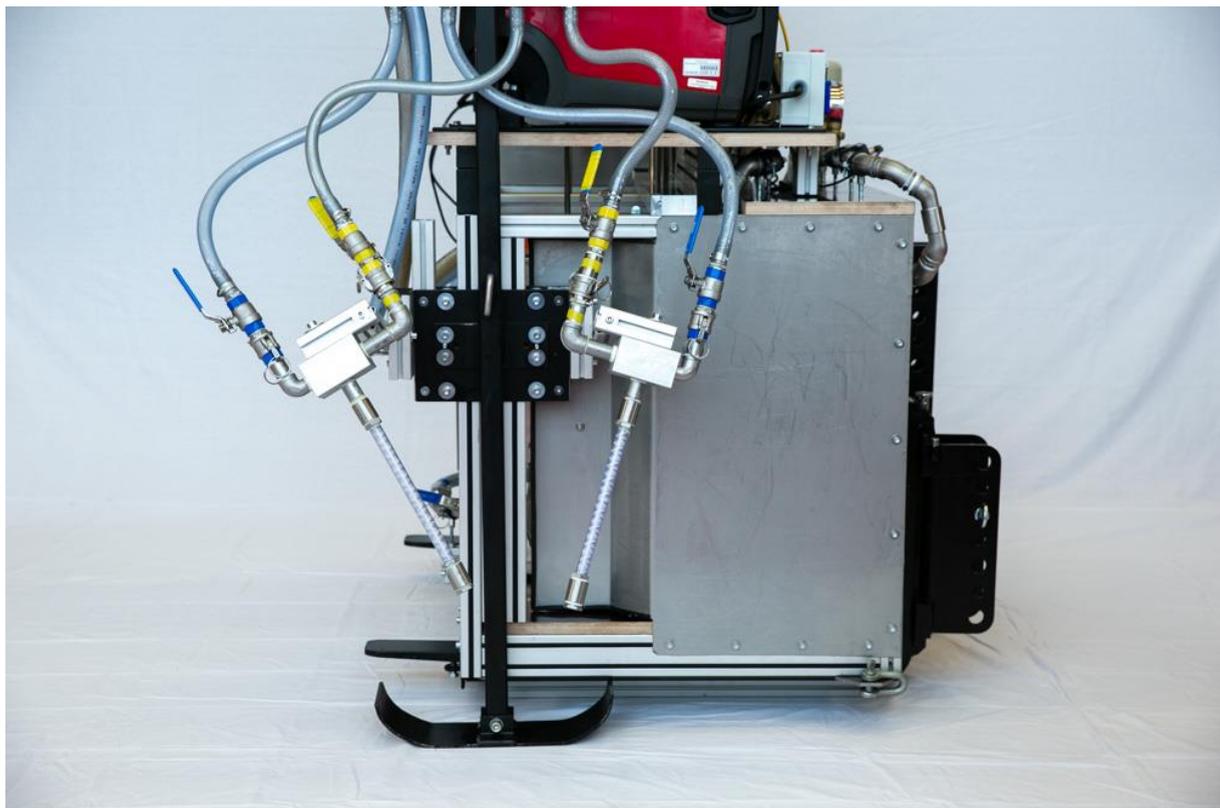


Abbildung 45: Seitenansicht des Applikationsgeräts SAM mit einer in vertikaler Richtung auslenkbaren Stütze mit Gleitschuh, an dem Statikmischer und Düsen befestigt sind

In weiteren Optimierungsmaßnahmen wurde das Düsensystem im Zwischenachsenbau am Schmalspurschlepper montiert. In diesem Fall war keine separate Höhenanpassung mehr nötig, da dies automatisch durch den Schlepper geschah. Eine Applikation des Mulchmaterials über Düsensysteme im Zwischenachsenbau ist in Abbildung 46 dargestellt.



Abbildung 46: Ausbringen des Mulchmaterials mit zwei Düsensystemen im Zwischenachsenbau des Schmalspurschleppers

5.2.4.6 Abschließendes Fazit

Die entwickelte Applikationstechnik war für den Versuchsbetrieb gut geeignet. Das Volumen der Vorratsbehälter reichte auch für eine Behandlung der längsten Zeilen am Standort in Veitshöchheim (50 Meter) mit der dicksten Schichtdicke von 5 mm, sodass die Rüstzeiten erheblich reduziert werden konnten. Die Reinigungsarbeiten waren, wie in den vorherigen Kapiteln erläutert, oft sehr aufwendig, da das vermischte Mulchmaterial schnell fest wurde und so alle Bauteile verstopfte, die damit in Berührung kamen. Dies konnte aber mit einfachen, vor Ort durchführbaren Reinigungsschritten behoben werden.

Für die Überführung der Methode in eine praxisgerechtere Anwendung müssen allerdings einige Anpassungen vorgenommen werden. Diese Optimierungen sind beispielsweise das Anmischen und Einfüllen der Komponenten in das Applikationsgerät, das Reinigen des Systems sowie die Wahl eines geeigneten Mischsystems inklusive Düsen. Das Grundprinzip der Ausbringung aus den Versuchen hat sich gut bewährt, kann weiterverwendet und sollte lediglich optimiert werden.

5.2.5 Ergebnisse der Praxisversuche

5.2.5.1 Wetterdaten

Die Monatsmitteltemperatur und die Niederschlagssummen in den Versuchsjahren 2020, 2021 und 2022 im Versuchsfeld Thüngersheimer Ravensburg im Vergleich zum langjährigen Mittel (1981–2010, Deutscher Wetterdienst) sind in Abbildung 47 dargestellt.

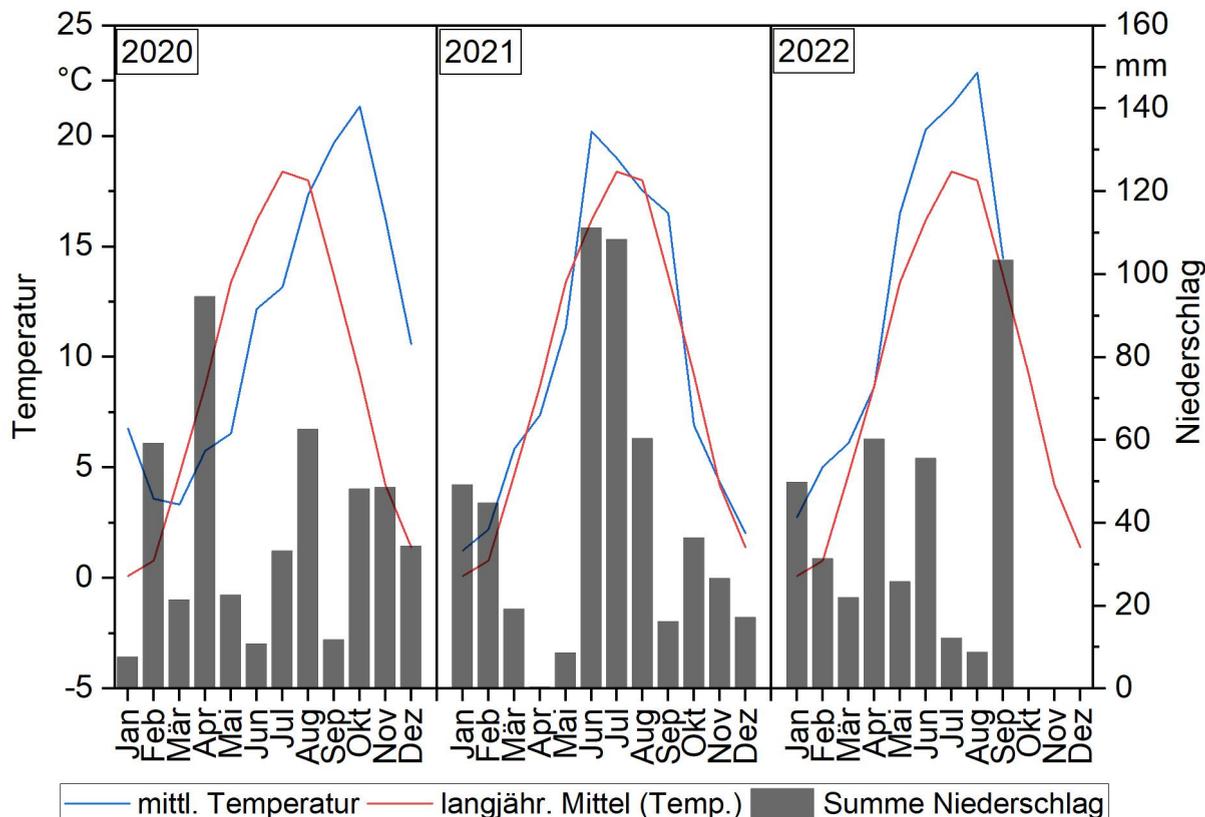


Abbildung 47: Monatliche Niederschlagssummen und Monatsmitteltemperatur in den Versuchsjahren 2020, 2021 und 2022 im Versuchsfeld Thüngersheimer Ravensburg im Vergleich zum langjährigen Mittel (1981–2010, Stand vom 06.06.2019, Deutscher Wetterdienst, Wetterstation addVANTAGE Pro 6.6)

Witterungsbedingungen 2019

Der Frühling 2019 verlief warm und sonnenscheinreich bei ausgeglichener Niederschlagsmenge. Der Sommer 2019 verzeichnete vor allem von Juli bis September unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen im Vergleich zum langjährigen Mittel. Während der neun Monate im Vegetationszeitraum herrschten überdurchschnittliche Temperaturen von 1,4 °C mehr im Vergleich zum langjährigen Mittel.

Witterungsbedingungen 2020

Die Monatsmittelwerte der Temperatur (vgl. Abbildung 47) waren 2020 2,5 °C höher als im Vergleich zum langjährigen Monatsmittel. Nur im Mai 2020 lag der Monatsmittelwert um 0,6 °C niedriger. Die meisten Monate waren 2020 zu trocken, vor allem der April und der Juli. Nur im Februar 2020 waren die Niederschläge höher als das langjährige Mittel. In der gesamten Versuchsperiode bis November 2020 wurde mit insgesamt 374,6 mm/m² eine geringere Niederschlagssumme gegenüber dem langjährigen Durchschnitt gemessen.

Witterungsbedingungen 2021

Der Frühling startete mild. Zum Anfang des Jahres lagen die Monatsmittelwerte der Temperatur (vgl. Abbildung 47) über dem langjährigen Mittel. Dies änderte sich im März bis Juni. Diese Monate waren im Schnitt kühler als im langjährigen Mittel. Der Sommer 2021 zählte laut Deutschem Wetterdienst zu den niederschlagsreichsten Sommern seit Messbeginn 1881 [15]. Mitte Juni gab es eine Hitzewelle. Danach sanken die Temperaturen und blieben im Schnitt auf einem ähnlichen Niveau wie das langjährige Mittel. Im Schnitt begann die Vegetationsperiode etwa zwei Wochen später als im Jahr davor. Die Lese der Trauben begann daher knapp drei Wochen später als im Vorjahr am 07.10.2021 (Ernte 2020: 15.09.2020).

Witterungsbedingungen 2022

Die Monate von März bis Mai reihten sich wieder in die Serie deutlich zu warmer Frühjahre ein. Häufiger Hochdruckeinfluss bewirkte viel Sonnenschein und kaum Niederschläge (vgl. Abbildung 47). Vor allem im März gab es eine lange Schönwetterperiode. Der Temperaturdurchschnitt lag im Sommer 2022 mit 19,2 °C um 1,6 °C über dem Wert des langjährigen Mittels. Bereits im Juni gab es sehr warme Temperaturen, die im Juli und August dauerhaft blieben. Die deutlich zu trockene und überdurchschnittlich warme und sonnenscheinreiche Sommerwitterung ließ die Böden stark austrocknen und wirkte sich auf den Beikrautdruck aus. Viele Beikräuter sind vertrocknet oder ab Sommer nicht aufgelaufen. Der Rückgang der Bodenfeuchte nahm einen ähnlichen Verlauf wie im Dürrejahr 2018. Im Schnitt lagen die Vegetation und dadurch auch die Ernte etwa zwei Wochen vor dem langjährigen Mittel. Die Ernte der Trauben im Versuch war schon am 21.09.2022.

5.2.5.2 Beikraut regulierende Wirkung des spritzbaren Mulchmaterials

Im Folgenden werden die repräsentativen Ergebnisse aus 23 Einzelversuchen dargestellt.

Der wichtigste Boniturparameter war die Beikraut regulierende Wirkung des Mulchverfahrens. Aus diesem Grund wurde in insgesamt 23 Versuchen die Wirkung gegen Beikräuter untersucht und mit üblichen Verfahren am Standort sowie einer unbehandelten Nullvariante verglichen. Die grundsätzliche Wirksamkeit des Mulchmaterials gegen Beikräuter war an jedem Standort gegeben. Beim Vergleich einer einmaligen Applikation des Mulchmaterials mit einer einmaligen Verwendung eines Herbizids bzw. einer einmaligen mechanischen Bodenbearbeitung schnitt das Mulchmaterial gut ab. Abbildung 48 zeigt den Boden-

bedeckungsgrad einer Apfelanlage am Versuchsstandort Laimburg für vier Versuchsvarianten. Alle Behandlungen wurden zum selben Zeitpunkt durchgeführt. Es zeigte sich, dass eine einmalige Behandlung mit dem Mulchmaterial eine bessere Wirkung hatte als einmalige Behandlungen mit den etablierten Verfahren „mechanische Bodenbearbeitung“ oder „Spritzen des Herbizids Glyphosat“. Bei dem vergleichsweise hohen Beikrautdruck im Versuchsjahr 2022 in Südtirol stieg der Bodenbedeckungsgrad im Lauf des Beobachtungszeitraums recht schnell deutlich an. Die Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung und Glyphosat erreichten nach ca. drei Monaten ca. 90 % Bodenbedeckung. Das aufgespritzte Mulchmaterial war zu diesem Zeitpunkt noch deutlich unter dieser Marke bei etwa 50 %. Gegen Ende der Bonitur nach ca. 150 Tagen näherten sich aber alle vier Varianten einander an.

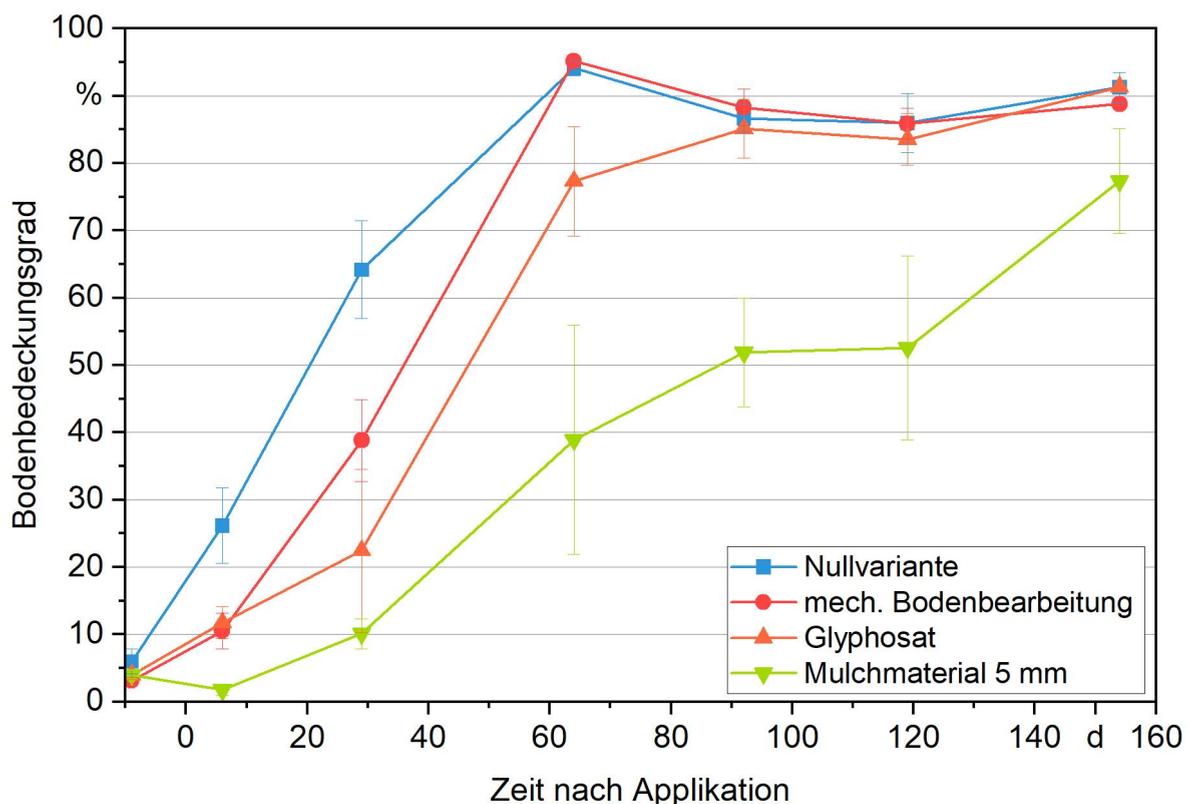


Abbildung 48: Bodenbedeckungsgrad (MW + SEM, $n = 4$) einer Apfel-Ertragsanlage in Laimburg (Südtirol) im Jahr 2022

Am Standort Götzhof in Österreich wurden in einer Weinanlage chemische und mechanische Varianten mit mehrmaligen, praxisüblichen Anwendungen im Jahr mit einer einmaligen Applikation des Mulchmaterials verglichen. Abbildung 49 zeigt den Bodenbedeckungsgrad der vier Varianten. Deutlich zu erkennen ist, dass der Beikrautbewuchs in der Mulchmaterialvariante bis zum Boniturende stetig ansteigt – ähnlich wie es am Versuchsstandort Laimburg der Fall war. Die Wirkung war in den ersten vier bis sechs Wochen in einem für die Praxis guten Rahmen, danach stieg der Beikrautbewuchs stark an. Wäh-

renddessen konnte die mehrmalige mechanische bzw. die Herbizidbehandlung den Beikrautwuchs gut im Zaum halten.

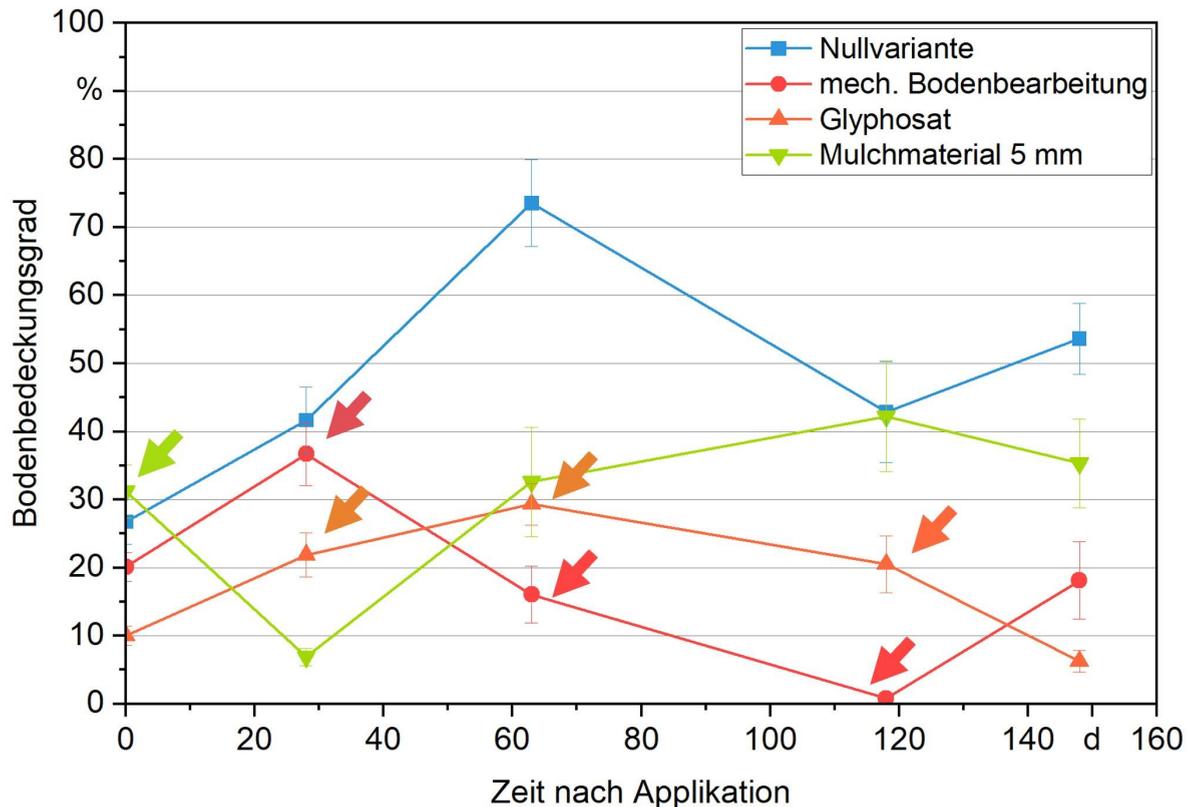


Abbildung 49: Bodenbedeckungsgrad (MW + SEM, $n = 4$) im Unterstockbereich einer Rebanlage am Götzhof (Österreich) 2022 – die Pfeile kennzeichnen jeweils den Zeitpunkt der Applikation mit dem Mulchmaterial (einmalig), dem Herbizid (dreimal) und der mechanischen Bodenbearbeitung (dreimal)

5.2.5.3 Einfluss der Schichtdicke auf die Wirksamkeit des Mulchmaterials

Die grundsätzliche Beikraut regulierende Wirkung konnte in vielen Versuchen demonstriert werden. Im Folgenden soll der Einfluss der Schichtdicke dargestellt werden. Hierfür wurden an drei Applikationszeitpunkten (März 2021, März 2022 und April 2022) am Versuchsstandort der LWG jeweils eine 5 mm und eine reduzierte 2,5 mm dicke Mulchschicht aufgebracht. Für diese detaillierteren Untersuchungen wurde neben dem Bodenbedeckungsgrad auch die Trockenmasse der Beikrautvegetation bestimmt. Dieser Wert beschreibt den Aufwuchs im Unterstockbereich genauer, da hier die tatsächliche Biomasse der Beikräuter erfasst wird. Bei der fotografischen Bonitur des Bodenbedeckungsgrads können verschiedene Faktoren die Qualität der Aussage beeinträchtigen. So können größere Blätter im Bereich der Aufnahme einen deutlich höheren Bedeckungsgrad suggerieren. Außerdem zeigt ein sehr flacher, aber geschlossener Bewuchs einen ähnlichen Bedeckungsgrad wie ein massiver Beikrautbesatz. Die Höhe der Beikräuter bleibt zudem bei der fotografischen Dokumentation unberücksichtigt. Der unschlagbare Vorteil der fotografischen Bonitur ist allerdings die sehr zeiteffiziente Durchführung, die auch eine Abschät-

zung bei einer sehr großen Versuchszahl ermöglicht. Die Bonitur der Trockenmasse ist dahingegen relativ aufwendig und wurde aus diesem Grund nur zu zwei Zeitpunkten im Versuchsjahr (einmal im Frühjahr und einmal im Herbst) durchgeführt. Diese Zeitpunkte sind repräsentativ für das Versuchsjahr, sodass sie eine gute Einschätzung über den Verlauf der Beikraut unterdrückenden Wirkung geben. Abbildung 50 zeigt den Einfluss unterschiedlicher Schichtdicken des Mulchmaterials auf die Beikraut unterdrückende Wirkung im Unterstockbereich der Reben. Diese Varianten wurden mit praxisüblichen Verfahren wie mechanische Bodenbearbeitung und Einsatz von Glyphosat verglichen. Der Vergleich zwischen den Mulchmaterialvarianten zeigte 2021 und 2022 kaum signifikante Unterschiede bei der Trockenmasse der Beikrautvegetation. Die Halbierung der Aufwandmenge auf eine 2,5 mm dicke Schicht wirkte sich nicht negativ auf den Beikraut regulierenden Effekt aus. Tendenziell zeigten die dünneren Varianten im Versuchsjahr 2022 im Vergleich zu den dickeren Mulchmaterial-Varianten eine bessere Wirksamkeit. Der Einfluss der Schichtdicke sollte aber näher analysiert werden, da sich hier die Ausbringmenge des Materials deutlich reduzieren ließe. Dadurch würde auch ein Großteil – in diesem Fall 50 % – der Materialkosten gespart werden. Neben der Trockenmasse wurden auch Beikrautarten bestimmt. Im trockeneren Jahr 2022 war auch die Anzahl der unterschiedlichen Beikrautarten geringer als 2021. Bei den Varianten mit geringer Trockenmasse waren generell auch weniger Arten zu finden als bei stärkerem Bewuchs beispielsweise bei der Nullvariante (vgl. Abbildung 51).

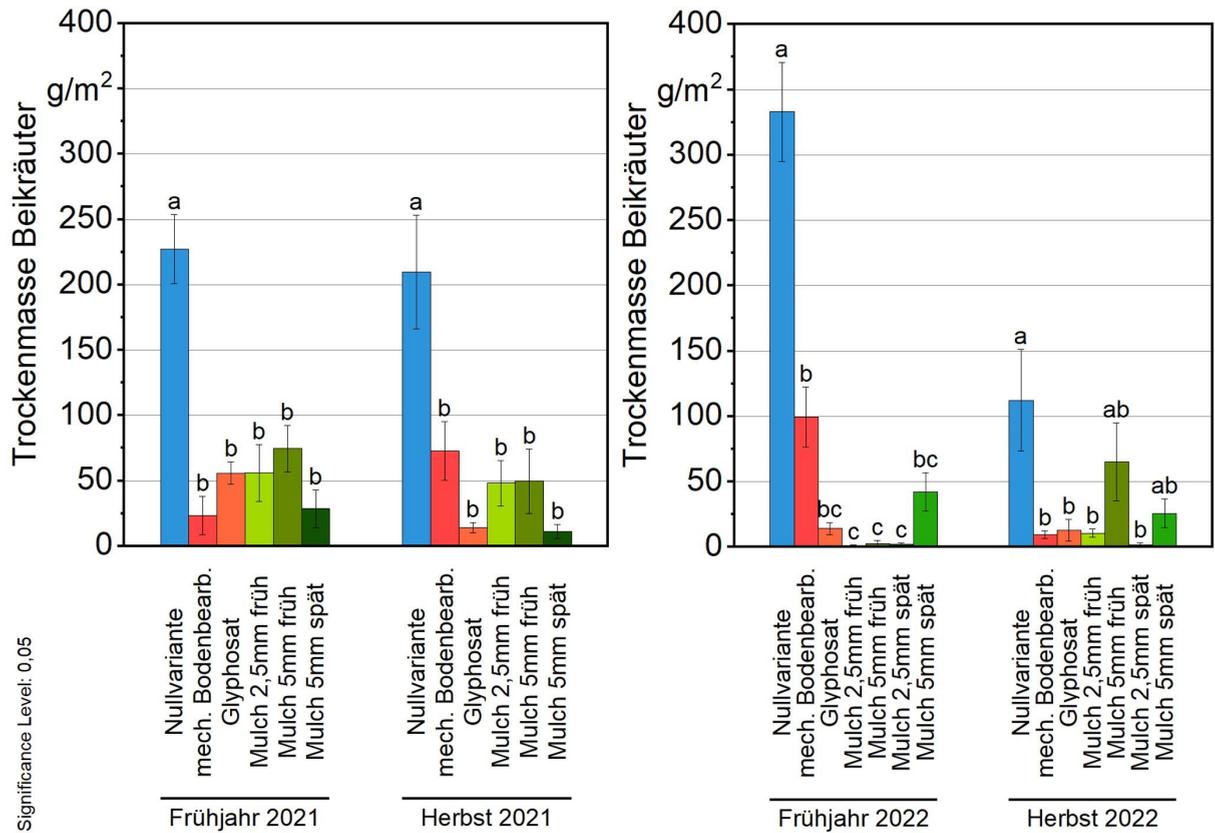


Abbildung 50: Trockenmasse der Beikräuter (MW \pm SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat und der Mulchmaterialvarianten (frühe bzw. späte Applikation sowie 2,5 mm und 5 mm) in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg

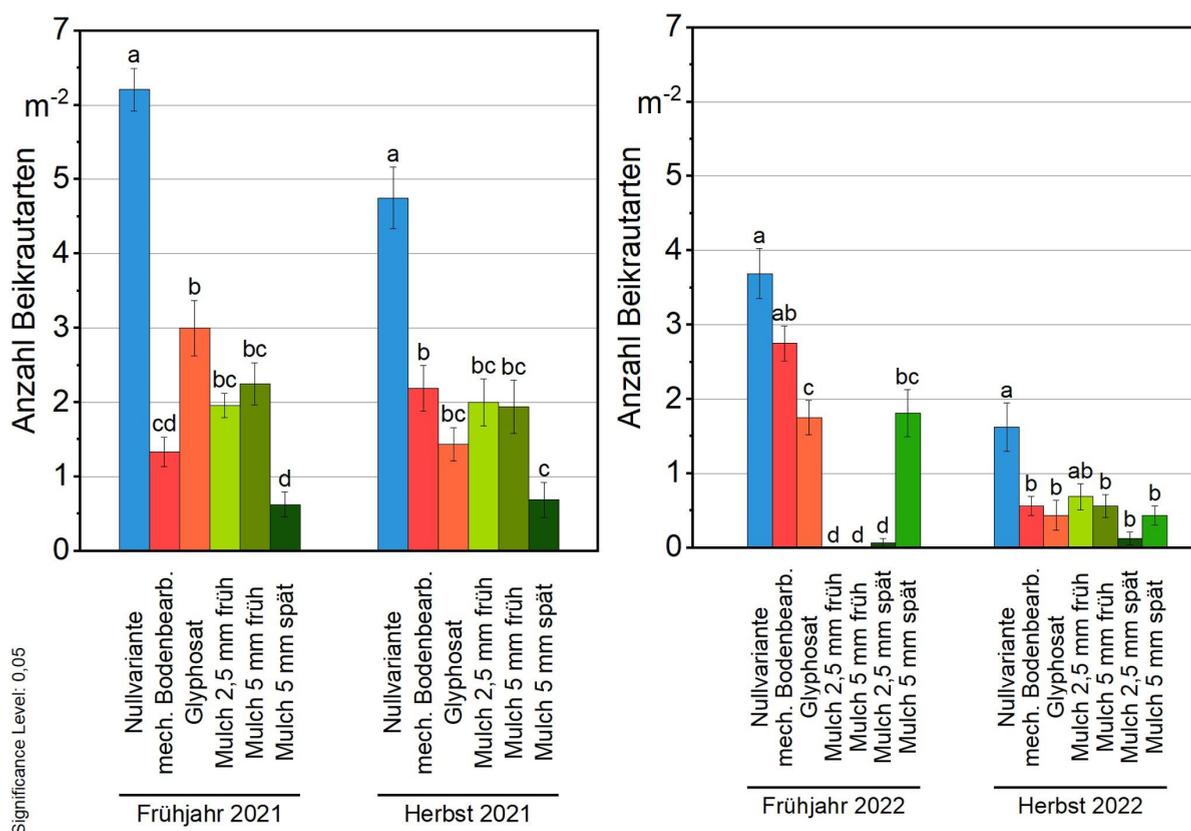


Abbildung 51: Anzahl der Beikrautarten pro Quadratmeter (MW \pm SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey, $p < 0,05$, $n = 16$) der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat und der Mulchmaterialvarianten (frühe bzw. späte Applikation sowie 2,5 mm und 5 mm) in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg

5.2.5.4 Dichte der häufigsten vorkommenden Beikrautarten

In den beiden erhobenen Versuchsjahren traten unterschiedlich viele Unkrautarten (Gesamtartenzahl) auf. Im niederschlagsreichen Jahr 2021 wurden im Mai und September insgesamt 47 verschiedene Beikrautarten gezählt. Im vergleichsweise trockenen Jahr 2022 traten insgesamt 34 Arten auf (siehe Anhang, Tabelle 17). Im Jahr 2021 betrug die mittlere Anzahl an Unkrautarten bei den Mulchmaterialvarianten „Mulch 2,5 mm früh“ 2,0, bei „Mulch 5 mm früh“ 2,3 und bei „Mulch 5 mm spät“ 0,6 Arten, während im trockenen Jahr 2022 die Artenanzahl grundsätzlich sank (siehe Abbildung 51). Die fünf häufigsten für den Weinbau relevanten Beikrautarten (Leitbeikräuter) waren über beide Jahre hinweg Pfeilkresse, Ackerklettenkerbel, Gräser, Amaranth und Ackerkratzdistel. Im Frühjahr waren tendenziell mehr Beikrautarten zu finden als im Herbst.

Das Auftreten der einzelnen Beikrautarten wurde in den beiden Versuchsjahren 2021 und 2022 erheblich von der Witterung beeinflusst. In den folgenden Abbildungen sind die mittleren Beikrautdichten für die fünf standortspezifischen Leitbeikräuter (Pfeilkresse, Ackerklettenkerbel, Amaranth, Ackerkratzdistel und Gräser) getrennt nach Jahren und Jahreszeit dargestellt. Die Beikrautdichten zeigten sowohl zwischen den Jahren als auch innerhalb eines Jahres je nach Beikrautart eine größere Streuung.

Die Pfeilkresse ist eine mehrjährige Pflanze. Sie wird zwischen 20 und 60 Zentimeter hoch und verbreitet sich durch Wurzelsprossen und Ausläuferwurzeln und durch eine hohe Anzahl von Samen. Sie ist zudem stark herdenbildend. Sie keimt vom zeitigen bis teilweise zum späten Frühjahr und im Herbst bei Temperaturen von 5 bis 30 °C. Im Frühjahr 2021 trat die Pfeilkresse im Vergleich zu den anderen Varianten ähnlich hoch auf wie bei der Glyphosat- und der mechanischen Variante (vgl. Abbildung 52). Da sich die Pfeilkresse durch Spross- und Wurzelstücke effektiv vermehrt, wird bei der mechanischen Beikrautregulierung die Vermehrung der Pfeilkresse durch abgetrennte Wurzelteile gefördert. Sowohl im Herbst 2021 als auch 2022 konnte man anhand der Artenauszählung dieses Szenario in der mechanischen Variante erkennen. Ein Problem im Weinbau stellt die Pfeilkresse dar, da durch ihre wachsartigen, großen Blätter der Schlepper bei Überfahrten ins Rutschen kommen kann. Außerdem wird die Pflanze sehr groß und hat eine starke Konkurrenzwirkung gegenüber der Kulturpflanze. Durch die hohe Samenproduktion (1000–5000 Samen pro Pflanze) und die schnell wachsenden Wurzeläusläufer ist es aufwendig, diese Beikrautart zu regulieren. Es bilden sich sehr oft Nester im Bestand. Daher war es positiv zu beobachten, dass die Dichte der Pfeilkresse bei allen Mulchmaterialvarianten sowohl in einem niederschlagsreichen als auch in einem trockenen Jahr deutlich geringer ausfiel bzw. gar keine Pflanzen aufgetreten sind [37].

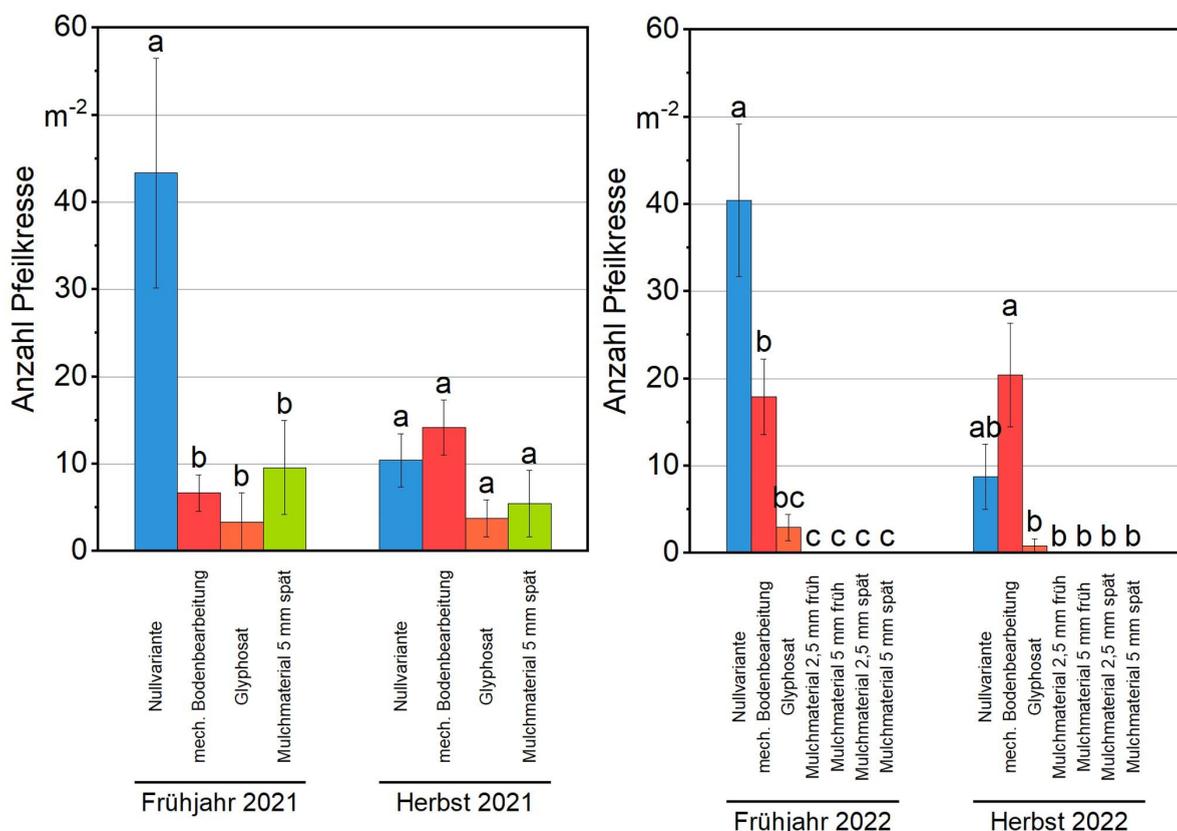


Abbildung 52: Anzahl an Pfeilkresse-Pflanzen pro Quadratmeter ($MW \pm SEM$, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) in den Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat und den Mulchmaterialvarianten (frühe bzw. späte Applikation sowie 2,5 mm und 5 mm) in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg

Der Ackerklettenkerbel ist eine einjährige krautige Pflanze, die Wuchshöhen von 30 bis 100 Zentimetern erreichen kann. Die Doppelachänen weisen Fruchtstacheln auf, die an der Spitze Widerhäkchen besitzen und zur Samenverbreitung dienen. Die Blütezeit ist von Juli bis August (bis ca. 60 Samen pro Pflanze). Die Pflanze gedeiht am besten auf kalkreichen, mäßig trockenen und sommerwarmen Standorten. Die Pflanze ist in den letzten Jahren vermutlich auch infolge des Klimawandels häufiger in Unterfranken zu beobachten, war im Versuchsfeld Thüngersheimer Ravensburg fast flächendeckend vorhanden und eine der fünf häufigsten Beikrautarten. Interessanterweise ist sie in Deutschland bzw. Mitteleuropa nur zerstreut bzw. selten anzutreffen. Teilweise ist ihr Bestand als stark gefährdet einzustufen. Sie keimt vom mittleren Frühjahr bis zum Vorsommer in bis ca. 5 cm Bodentiefe. Die vegetativen Pflanzen dieser Art sind im mittleren Frühjahr bis zum Sommer vorhanden. Im Jahr 2021 lag im Frühjahr die Dichte des Ackerklettenkerbels bei der Nullvariante bei 23,13 Pfl./m² und sank im Herbst auf 6,31 Pfl./m² (vgl. Abbildung 53). Im trockenen Jahr 2022 war die Beikrautdichte wesentlich geringer und lag im Frühjahr bei 8,3 Pfl./m² und sank im Herbst auf nur noch 3,7 Pfl./m². Bei der Mulchmaterialvariante 2021 kam diese Art sowohl im Frühjahr als auch im Herbst annähernd oft wie bei der mechanischen Variante vor. Der Ackerklettenkerbel war eine der Beikrautarten, die nicht nur zwischen aufgetretenen Rissen beim Mulchmaterial, sondern auch durch das unbeschädigte Mulchmaterial keimen konnten. Dies liegt möglicherweise daran, dass der Keimling dieser Art genügend Energie besitzt (Keimling Hypokotyl), von einer relativ tiefen Saattiefe von ca. 5 cm an die Bodenoberfläche zu kommen. Dadurch hat diese Art wahrscheinlich auch die Energie, durch das Mulchmaterial hindurchzuwachsen. Im Frühjahr 2022 wurde der Ackerklettenkerbel vor allem bei der Mulchmaterialvariante „Mulch 5 mm spät“ beobachtet. Im Herbst 2022 wurde diese Art nur noch vereinzelt bei der Nullvariante gefunden. Ein Großteil der Pflanzen ist im Sommer nach der Samenreife vertrocknet und abgestorben [37].

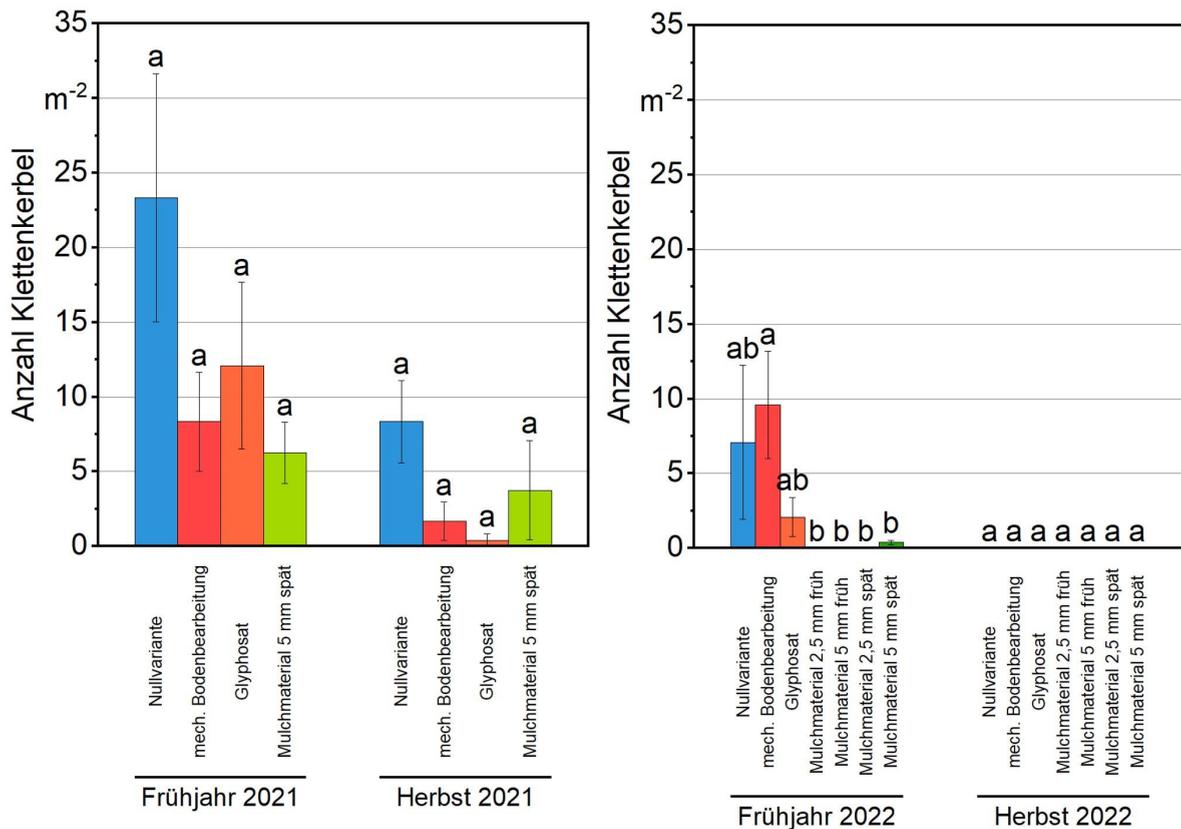


Abbildung 53: Anzahl an Klettenkerbel-Pflanzen pro Quadratmeter (MW \pm SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) in den Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat und den Mulchmaterialvarianten (frühe bzw. späte Applikation sowie 2,5 mm und 5 mm) in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg

Bei der Artenbestimmung wurden einkeimblättrige Arten (Gräser) nicht näher bestimmt, sondern unter „Gräser“ zusammengefasst. Am Versuchsstandort Thüngersheimer Ravensburg hatten grundsätzlich alle Mulchmaterialvarianten eine gute Wirkung gegenüber „Gräsern“ (vgl. Abbildung 54). Im Herbst beider Jahre nahm die Anzahl der Gräser pro Quadratmeter deutlich ab. Im Herbst 2022 war sogar wegen der Trockenheit nur in der Nullvariante Gras (0,42 Pfl./m²) zu finden. Nicht erklären lässt sich die Bonitur der Beikrautdichte der Variante „Mulch 5 mm spät“. Bezüglich aller fünf genannten Beikrautarten hatte diese Variante im Vergleich zu den anderen Mulchmaterialvarianten hohe Beikrautdichten zu verzeichnen. Dies ist bei den Gräsern nicht anders.

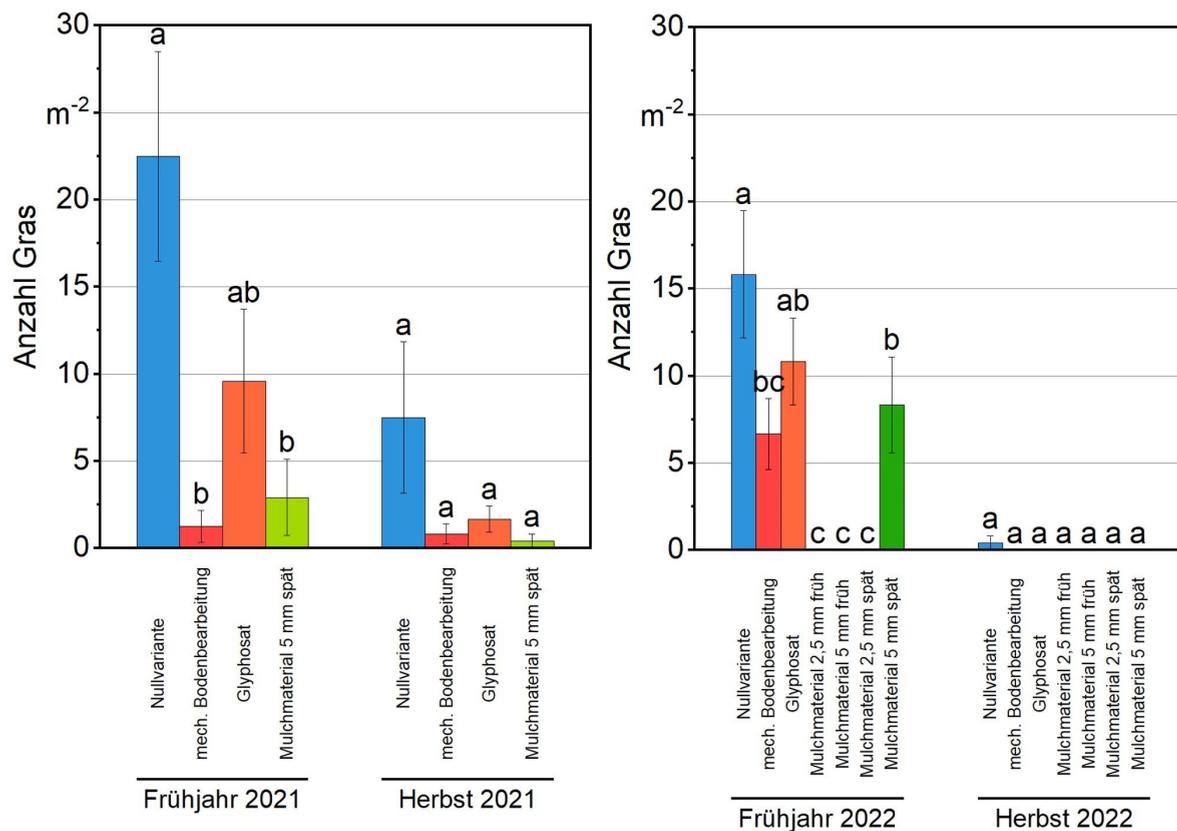


Abbildung 54: Anzahl Gräser pro Quadratmeter (MW ± SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) in den Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat und den Mulchmaterialvarianten (frühe bzw. späte Applikation sowie 2,5 mm und 5 mm) in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg

Die Ackerkratzdistel ist eine formenreiche und ausdauernde Pflanze, die durch ihre tiefreichenden Ausläuferwurzeln und aufwärts gerichteten Wurzelsprossen herdenweise auftritt. Das Hypokotyl der Keimpflanzen ist nicht oder nur kurz bodenüberständig. Die Keimung ist vom zeitigen Frühjahr bis zum Vorsommer und teilweise vom frühen bis späten Herbst bei Temperaturen von 5 bis 30°C in 0,5 bis 2 cm Tiefe. Das Auslaufen wird zudem bei wechselnden Temperaturen zwischen 10 und 28 °C begünstigt. Die Art ist sehr konkurrenzstark mit einer Fruchtausbildung von 1000 bis 5000 Stück pro Pflanze und einer starken Ausbreitung und Vermehrung durch abgetrennte Ausläuferwurzeln bei Bodenbearbeitung. Auch kurze Wurzelstücke, die unter 1 cm liegen, können neue Wurzelsprosse bilden. Aus diesem Grund ist diese Pflanzenart eine gefürchtete Beikrautart, die nur schwierig zu regulieren ist. Im Frühjahr 2021 kam die Ackerkratzdistel bei den untersuchten Varianten noch nicht vor (vgl. Abbildung 55). Dies änderte sich im Herbst. Bei der mechanischen Variante wurde die höchste Ackerkratzdistel-Dichte von 2,9 Pfl./m² festgestellt. Dabei trat die Ackerkratzdistel immer in Nestern auf. Dies erklärt die relativ große Streuung der Ergebnisse. Beispielsweise wurde bei der mechanischen Variante nur ein Bonitурpunkt mit der Ackerkratzdistel ermittelt. Dort sind 47 Pflanzen gekeimt. Auf allen anderen Bonitурpunkten gab es keine Ackerkratzdisteln. Die Ackerkratzdistel gehört auch zu den Beikrautarten, bei denen wir beobachtet haben, dass sie durch das Mulchmaterial, besonders

durch entstandene Risse keimen. Erklären lässt sich dies eventuell durch die Förderung des Auflaufens bei Wechseltemperaturen zwischen 10 und 28 °C. Wenn beim Mulchmaterial Schäden durch Schrumpfungerscheinungen (Risse, Löcher etc.) entstehen, ändert sich an dieser Stelle die Temperatur im Boden. Dies könnte ein Auslöser für die Keimung bzw. das Wachstum der Wurzelsprosse der Ackerkratzdistel sein. Abhilfe könnte hier eine Verbesserung der Mulchmaterialbeständigkeit (weniger Risse) schaffen. Diese Vermutungen müssten mit Keimungsversuchen mit der Ackerkratzdistel und dem Mulchmaterial unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus genauer untersucht werden [37].

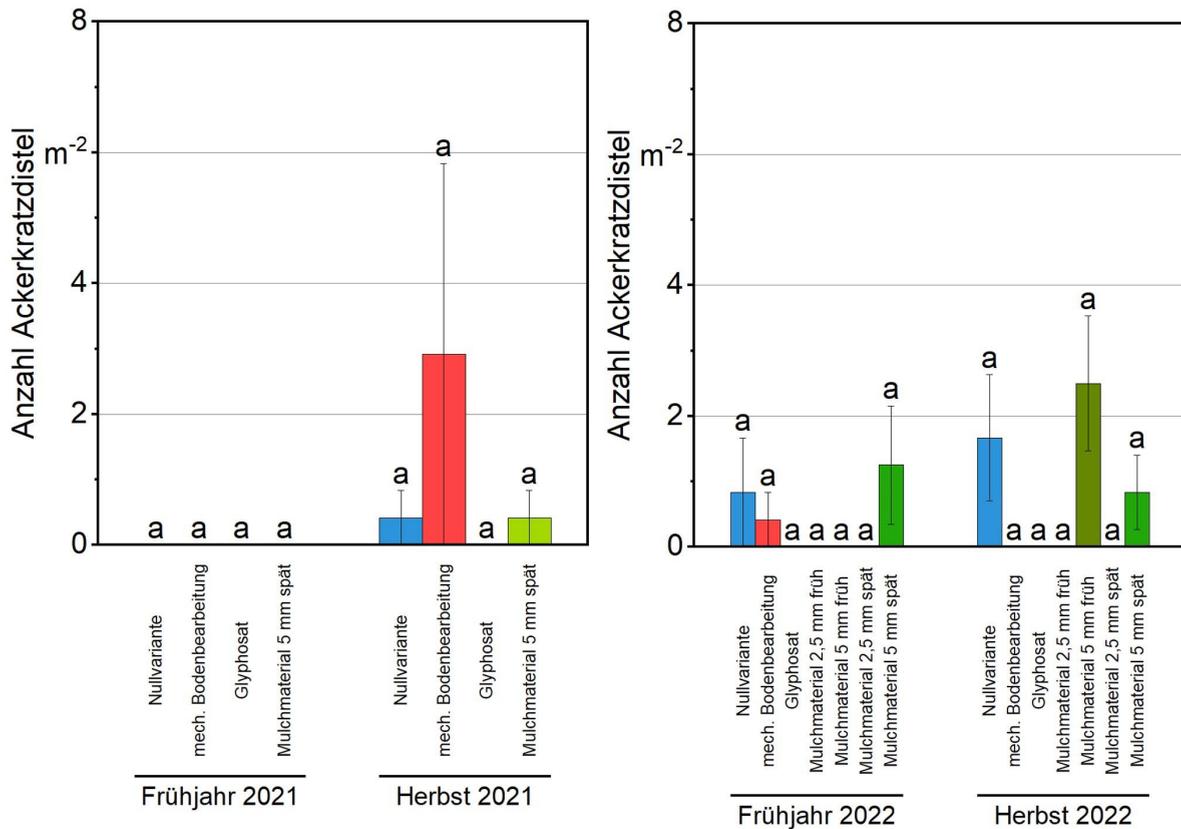


Abbildung 55: Anzahl Ackerkratzdisteln pro Quadratmeter ($MW \pm SEM$, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) in den Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat und den Mulchmaterialvarianten (frühe bzw. späte Applikation sowie 2,5 mm und 5 mm) in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg

Amarant ist eine C4-Pflanze, daher sehr stark licht-, wärme- und stickstoffbedürftig. Extrem trockene oder vernässte Standorte werden gemieden. Amarant keimt vom mittleren Frühjahr bis in den Sommer bei Temperaturen von 7 bis 35 °C in 0,5 bis 1 cm Bodentiefe. Wechseltemperaturen von 35/20 °C und Licht fördern die Keimung der Pflanze. Amarant ist durch seine hohe Samenproduktion (1000–5000 Samen/Pflanze) und seine große Höhe (bis 200 cm hoch) eine sehr konkurrenzstarke Pflanze. Sie kam im niederschlagsreichen Jahr 2021 im Herbst relativ häufig bei der mechanischen und der Glyphosatvariante vor (vgl. Abbildung 56). Das Mulchmaterial scheint eine sehr gute Wirkung gegenüber

dem Amarant zu haben. Im Herbst 2021 und im gesamten Boniturzeitraum 2022 kam keine Pflanze des Amarants bei den Mulchmaterialvarianten vor. Obwohl der Amarant eine C4-Pflanze ist, scheint Trockenheit einen sehr starken Einfluss auf das Vorkommen dieser Art zu haben [37].

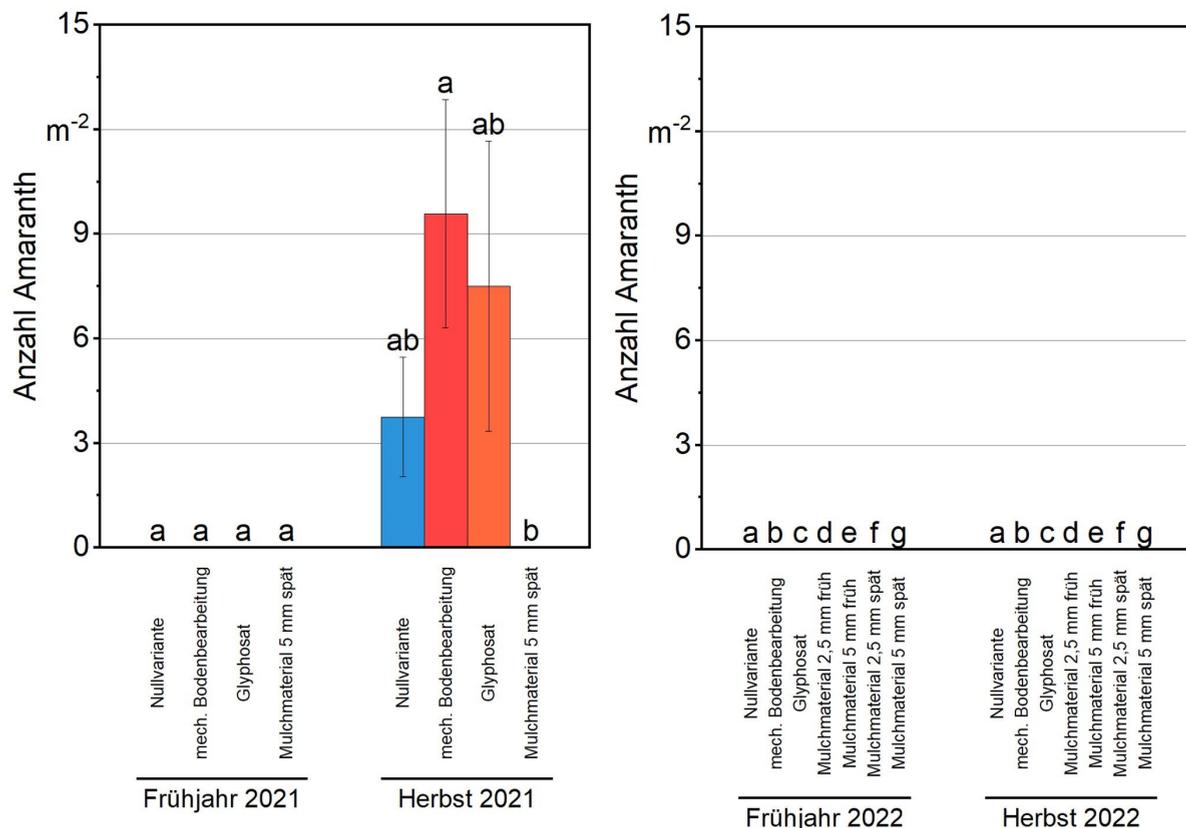


Abbildung 56: Anzahl Amarant-Pflanzen pro Quadratmeter (MW \pm SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 16$) in den Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Glyphosat und den Mulchmaterialvarianten (frühe bzw. späte Applikation sowie 2,5 mm und 5 mm) in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg

5.2.5.5 Einfluss des Applikationszeitpunkts auf die Wirksamkeit des Mulchmaterials

Um den Einfluss des Applikationszeitpunkts auf die Beikraut regulierende Wirkung zu untersuchen, wurde neben dem Termin Anfang März vor Aufbruch des Beikrauts eine verspätete Anwendung Ende April durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt waren die ersten Beikräuter schon gekeimt. Hintergrund dieser Variante war die Überlegung, durch die Applikation auf die noch jungen Beikräuter die Triebkraft und somit das Wachstum zu hemmen. Durch die entstehende physikalische Barriere sollte auch nach der Applikation der Beikrautbewuchs reduziert sein. Die Ergebnisse sind in Abbildung 50 zusammengefasst. In allen Versuchen zum Vergleich der Varianten „frühe Applikation“ und „späte Applikation“ war die Trockenmasse der Beikrautvegetation der späten Anwendung deutlich geringer. Bei den späten

Anwendungen war die Beikraut regulierende Wirkung sogar ähnlich der Wirkung einer mehrmaligen Anwendung von Glyphosat. Im Vergleich zu Glyphosat waren die mit dem Mulchverfahren erzielten Ergebnisse im Frühjahr 2021 tendenziell erfolgsversprechender. Diese Ergebnisse glichen sich im Herbst 2021 dem Niveau der Variante Glyphosat an. Die ermittelte Trockenmasse der Beikrautvegetation für das später applizierte Mulchmaterial („Mulch 5 mm spät“) blieb über den gesamten Boniturzeitraum auf einem ähnlichen Niveau, sank im September aber nochmals im Mittel um $6,64 \text{ g/m}^2$ (vgl. Abbildung 50). Dies könnte daran liegen, dass vor dem Applikationstermin am 29.04.2021 gekeimte und gewachsene Beikräuter vom Mulchmaterial überdeckt worden und abgestorben sind. Größere im Bestand stehende Beikräuter wurden im Wachstum stark beeinträchtigt. Außerdem liegen zwischen der frühen und späten applizierten Mulchmaterialvariante bis zum ersten Boniturtermin im Mai 52 Tage. In diesem Zeitraum finden bereits Abbauprozesse des Mulchmaterials statt, was anhand von Schrumpfungerscheinungen am Material wie z. B. Risse, Zerfall und Verfärbungen erkennbar war. Es konnte beobachtet werden, dass durch diese biologisch-abbaubedingten Materialbeschädigungen wieder Beikräuter keimen und durchwachsen. Daher ist der Applikationszeitraum ein wichtiger Parameter, um sowohl die Hauptkeimungszeit der konkurrenzstärksten Beikräuter im Weinbau abzuspassen, als auch die beginnenden Abbauprozesse des Materials zu berücksichtigen. Zu bedenken sind auch die Umweltbedingungen am Applikationstag selbst. Am 08.03.2021 betrug die Temperatur zur Applikationszeit um ca. zehn Uhr noch $-0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Höchsttemperatur betrug um 16 Uhr $4,7 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Viskosität des verwendeten Rapsöls im Mulchmaterial ist im hohen Maße temperaturabhängig. Bei niedrigen Temperaturen nimmt es Einfluss auf das Fließverhalten und die Zerstäubung beim Applizieren des Öls und wirkt sich wahrscheinlich negativ auf die Qualität und die Beständigkeit des gesamten Mulchmaterials aus. Dieser Aspekt könnte auch ein Grund sein, warum die früh applizierten Mulchmaterialvarianten (Mulch 2,5 mm früh und Mulch 5 mm früh) etwas schlechter abschnitten als das später applizierte Mulchmaterial (Mulch 5 mm spät). Die Versuche in 2022 zeigten einen ähnlichen Trend, allerdings war hier in den Parzellen der Variante „Mulchmaterial spät 5 mm“ vermehrt Beikraut aufgewachsen. Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse, dass nach späterer Applikation auf bereits aufgelaufene Beikräuter tendenziell weniger Beikrautvegetation über den gesamten Untersuchungszeitraum aufwächst als nach einer frühen Applikation. Eine Untersuchung von GRANATSTEIN et al. (2003) [28] mit einem aufspritzbaren Mulchmaterial aus den Abfällen der Papier- und Kartonagenverpackungsindustrie testete die Beikraut unterdrückende Wirkung. Die Abdeckung wurde an unterschiedlichen Zeitpunkten (Vorauflauf und Nachauflauf) und in unterschiedlichen Stärken (dicke und dünnere Mulchmaterialsicht) appliziert. Es wurde ähnlich wie in diesem Versuch festgestellt, dass eine spätere Applikation die besseren Ergebnisse erzielte.

5.2.5.6 Einfluss der Witterung auf die Wirksamkeit des Mulchmaterials

Am Obstbaustandort der LWG in Thüngersheim wurde in den Versuchsjahren 2021 und 2022 jeweils eine Apfelanlage mit dem Mulchmaterial behandelt. Die Versuchseinstellungen wie Schichtdicke, Applikationszeitpunkt, Streifenbreite etc. waren in beiden Jahren identisch. Die Jahre 2021 und 2022 unterschieden sich allerdings deutlich in der Wetterlage. Während 2021 ein sehr regenreiches Jahr war (394 mm Niederschlag im Versuchszeitraum 01.03.–31.08.) war 2022 sehr trocken (188 mm Niederschläge im Versuchszeitraum 01.03.–31.08.). Abbildung 57 und Abbildung 58 zeigen die Auswertungen des Bodenbedeckungsgrads im Versuchszeitraum. Im niederschlagsreichen ersten Versuchsjahr stieg der mit Beikräutern bedeckte Bereich der unbehandelten Nullvariante bis auf knapp 80 %. Im zweiten Jahr wurde dieser Wert gegen Ende April zwar ebenfalls fast erreicht, in der Folgezeit allerdings fiel er wegen der Trockenheit auf 50 %. Der höhere Wert am Anfang lässt sich mit vermehrten Regenfällen Anfang April erklären (siehe Abbildung 47). Auch der Bodenbedeckungsgrad der Mulchmaterialvariante zeigte deutliche Unterschiede in den beiden Versuchsjahren. Nach anfänglichen zwei Monaten, in denen bei beiden Varianten kein nennenswerter Anteil an Beikräutern durchgewachsen war, stieg der Bodenbedeckungsgrad im niederschlagsreichen Jahr 2021 auf teilweise 50 % an. Durch die hohe Feuchtigkeit war der Beikrautdruck wesentlich stärker, sodass auch vermehrt Pflanzen durch Risse im Material oder teilweise direkt durch das Mulchmaterial wuchsen. Zudem rankten Beikräuter von den Seiten über den aufgespritzten Streifen, was auch einen Anstieg des Bodenbedeckungsanteils verursachte. Im trockenen Jahr 2022 war der Wuchs der Beikräuter deutlich schlechter. In der Mulchmaterialvariante resultierte das in einem Maximum von ca. 30 % Bodenbedeckungsgrad zum Ende der Vegetationsperiode.

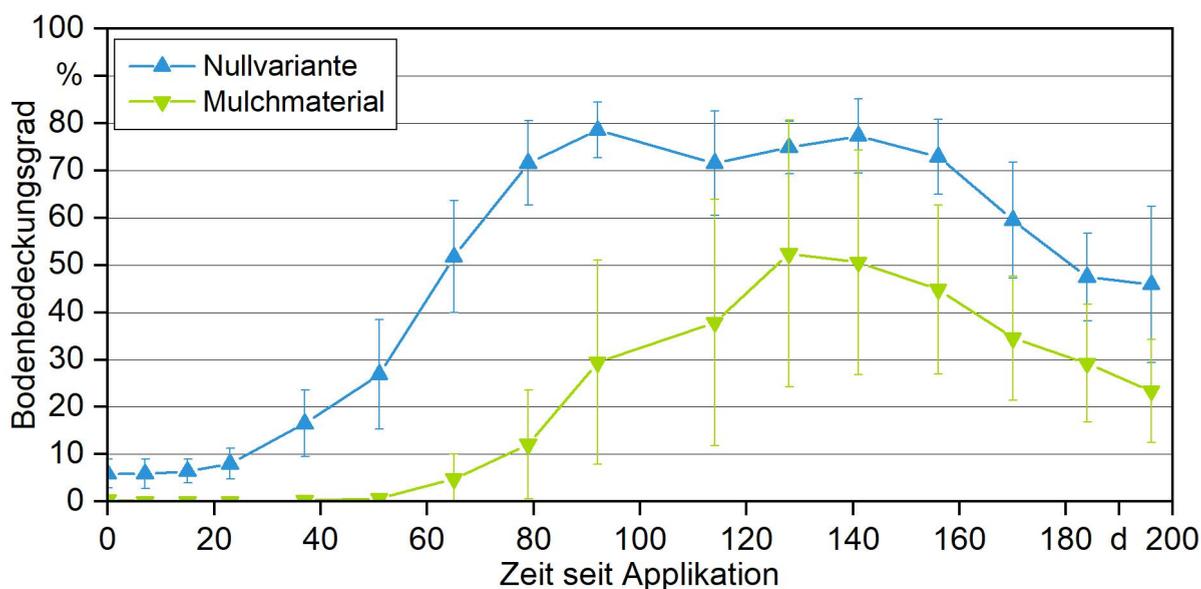


Abbildung 57: Bodenbedeckungsgrad ($MW \pm SEM$, $n = 4$) der unbehandelten Kontrolle und der Mulchmaterialvariante einer Apfelbestandsanlage am Standort Thüngersheim – niederschlagsreiches Jahr 2021

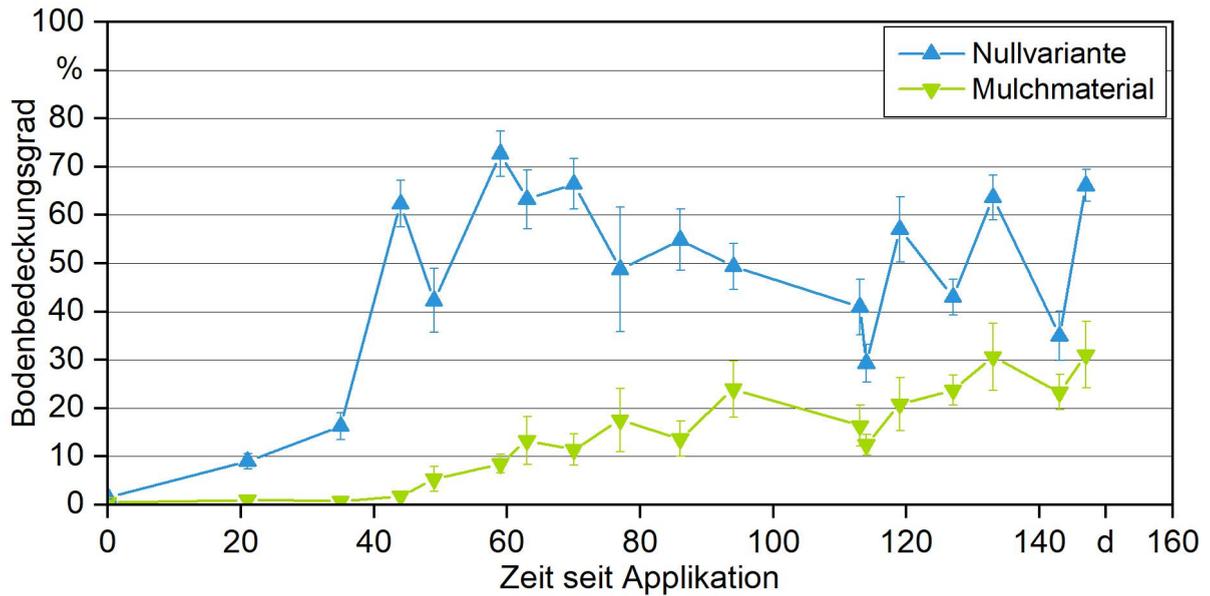


Abbildung 58: Bodenbedeckungsgrad der unbehandelten Kontrolle und der Mulchmaterialvariante ($MW \pm SEM$, $n = 4$) einer Apfelbestandsanlage am Standort Thüngersheim – niederschlagarmes Jahr 2022

Diese beiden Versuche zeigen recht deutlich, dass die Witterung und speziell die Menge an Niederschlägen innerhalb der Vegetationsperiode die Wirksamkeit des Mulchmaterials beeinflussen. Allerdings zeigte das spritzbare Mulchmaterial in beiden Jahren einen deutlichen Beikraut regulierenden Effekt. In Abbildung 59 und Abbildung 60 sind exemplarisch Boniturbilder zu jeweils drei Zeitpunkten (April, Mai, Juli) der Jahre 2021 und 2022 zu sehen. Es ist zu erkennen, dass sich die Mulchmaterialsicht im regenreicheren Jahr 2021 schneller zersetzte und abbaute als im trockenen Jahr 2022 (jeweils rechtes Bild, „Juli“). Das lässt vermuten, dass viele Niederschläge vermehrt Stoffe aus dem Mulchmaterial herauslösen können.

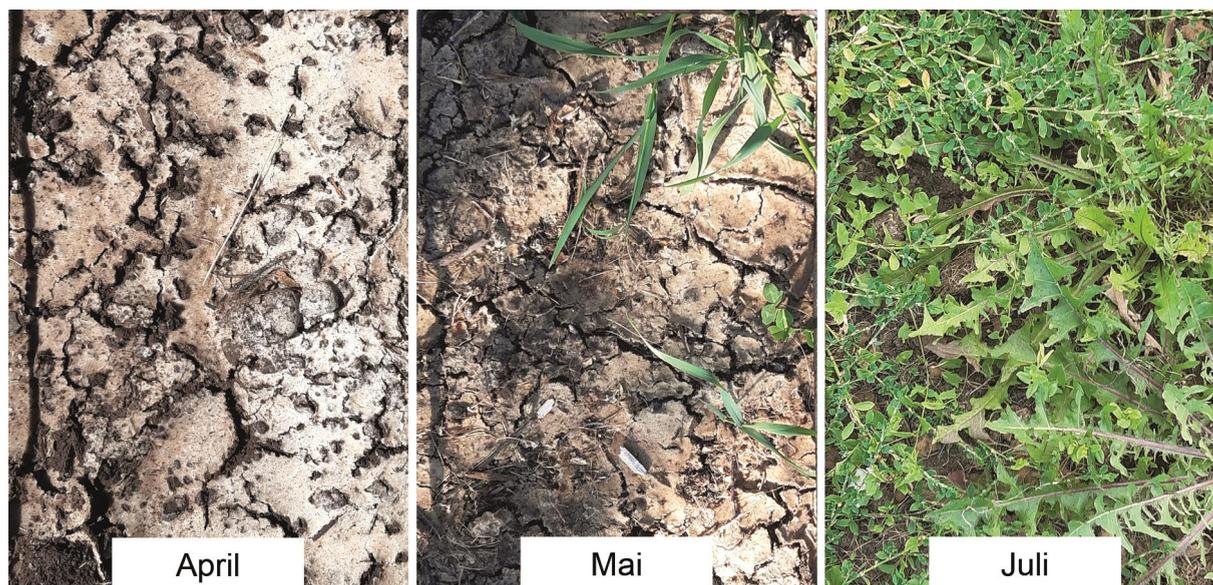


Abbildung 59: Boniturbilder eines Streifens der Mulchmaterialvariante an derselben Boniturstelle in den Monaten April, Mai und Juli im Versuchsjahr – niederschlagreiches Jahr 2021

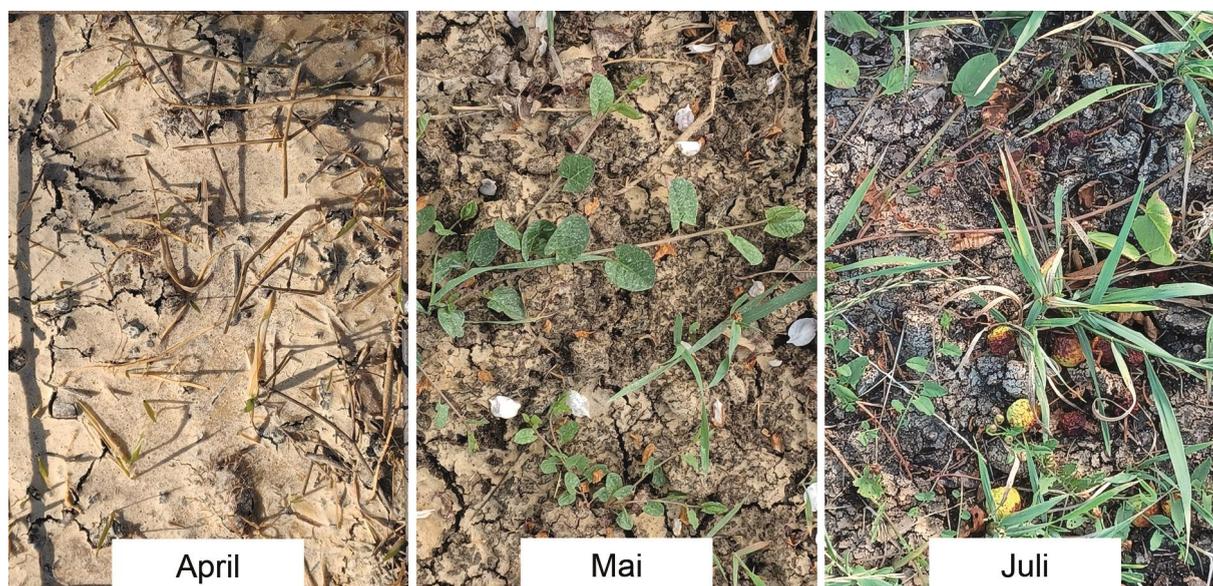


Abbildung 60: Boniturbilder eines Streifens der Mulchmaterialvariante in den Monaten April, Mai und Juli im Versuchsjahr – niederschlagarmes Jahr 2022

5.2.5.7 Einfluss der Bodenbeschaffenheit auf die Wirksamkeit des Mulchmaterials

Die Schichtdicke des Mulchmaterials wird durch die Ausbringungsmenge in Litern pro Quadratmeter bestimmt. Einen wesentlichen Einfluss hat die Vorbereitung des Bodenuntergrunds. Am Versuchsstandort in Laimburg wurden hierzu zwei Varianten untersucht, bei denen die Bodenbearbeitung vor der Applikation variiert worden war. Während bei einer Variante der Unterstockbereich mit einer Bürste (BioSystem Serie BSI [Aedes]) von Beikräutern freigehalten wurde, blieb der Unterstockbereich der zweiten Variante komplett unbehandelt. Auf letzterer Variante wuchsen Gräser mit einer Höhe von ca. 10 bis 15 cm. Abbildung 61 zeigt die Varianten am Tag der Applikation.



Abbildung 61: Vergleich der beiden Varianten mit unbehandeltem Unterstockbereich (links) und gebürstetem Unterstockbereich (rechts) am Versuchsstandort Laimburg nach der Applikation

Ziel des Versuchs war der Test, ob das Mulchmaterial auch auf stark bewachsenem, unebenem Untergrund wirkt oder der Boden des Spritzbereichs im Vorfeld gut präpariert werden sollte. Wie Abbildung 62 zeigt, führt das Mulchmaterial zu einer Braunfärbung der Gräser. Diese Reaktion verzögert deutlich erkennbar den Beikrautbewuchs. Allerdings waren bereits zu diesem Zeitpunkt erste grüne Triebe zu erkennen, die aus dem Unterstockbereich neu austrieben (vgl. Bild rechts). Die Schichtdicke des Mulchmaterials erschien zudem auch dünner als bei der Variante mit gebürstetem, ebenem Untergrund.



Abbildung 62: Boniturbilder der Variante mit unbehandeltem Untergrund, drei Wochen nach der Applikation am Versuchsstandort Laimburg

Abbildung 63 vergleicht die Bodenbedeckungsgrade der Beikrautvegetation der untersuchten Varianten. Beide Mulchmaterialvarianten schnitten besser ab als das mechanische Verfahren mit Bürste oder Krümmler und die Herbizidvariante mit Glyphosat. Die beiden Mulchmaterialvarianten mit gebürstetem bzw. unbehandeltem Untergrund unterschieden sich kaum in ihrer Wirkung. Die erste Vermutung, dass das Mulchmaterial mit den abgestorbenen Resten der Gräser eine Abdeckung bildet und dadurch eine verbesserte Wirkung gegen den Aufwuchs weiterer Beikräuter bringt, konnte sich durch die Auswertung des Bodenbedeckungsgrads (vgl. Abbildung 63) nicht bestätigen. Allerdings erlaubt diese Erkenntnis eine Vereinfachung bei der Ausbringung des Mulchmaterials, da vorab keine besonderen Maßnahmen zum Freihalten der Fläche getroffen werden müssen.

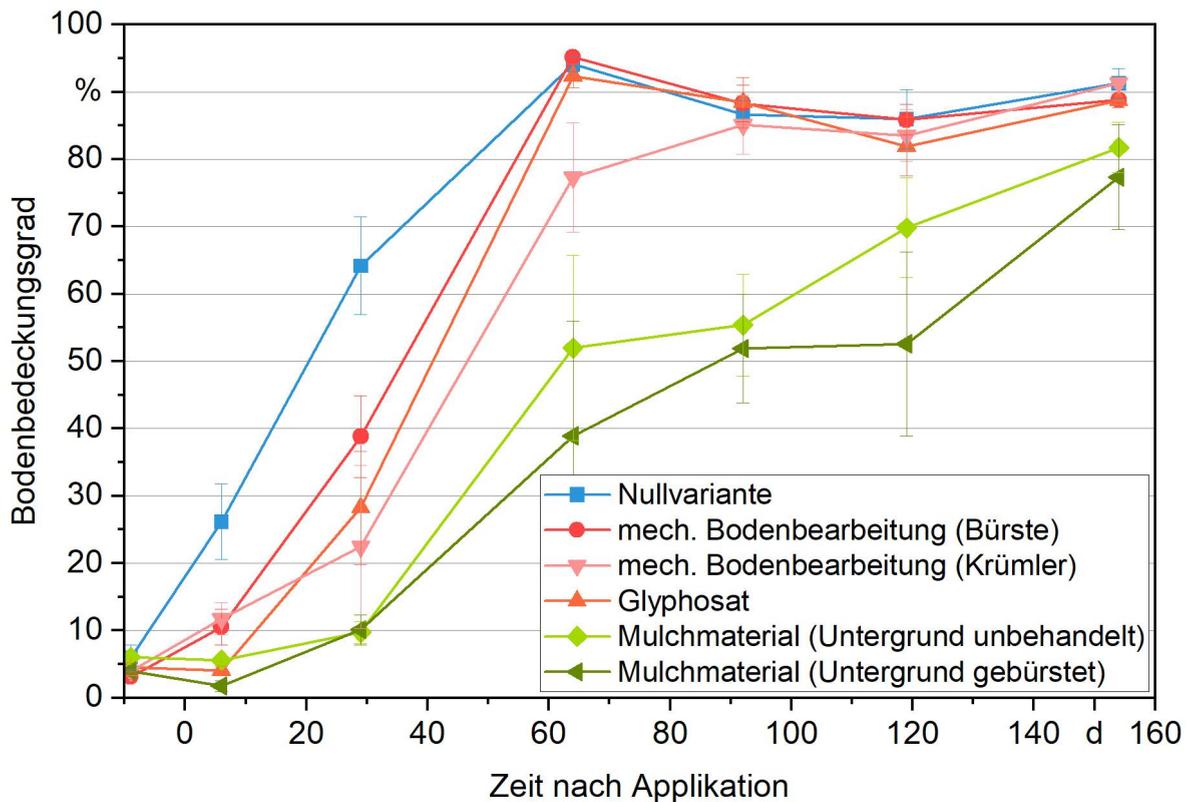


Abbildung 63: Bodenbedeckungsgrad ($MW \pm SEM$, $n = 4$) der Varianten am Standort Laimburg im Weinbau im Jahr 2022

In einem weiteren Versuch wurde eine ähnliche Fragestellung untersucht. Am Kompetenzzentrum für Obstbau am Bodensee (KOB) wurden zwei Varianten mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung verglichen. In der ersten Variante wurde ein sehr feinkrümliger Untergrund mit dem Krümler (Modell 7F, Ladurner) erzeugt, bei der zweiten Variante wurde bereits im Herbst des Vorjahrs mechanisch bearbeitet. Durch die längere Standzeit und die vielen Niederschläge während der Wintermonate in der Bodenseeregion bildete sich eine feste, ebene Fläche im Unterstockbereich (vgl. Abbildung 64) bis zum Zeitpunkt der Applikation.



Abbildung 64: Vergleich der Bodenbeschaffenheit des Unterstockbereichs am Versuchstandort KOB 2021 vor der Applikation: feinkrümelig (links) und fester Untergrund (rechts)

Aus Zeitgründen konnten an diesem Standort die Versuche nicht exakt bonitiert werden. Abbildung 65 zeigt den Versuch unmittelbar nach dem Aufspritzen. Beide Flächen wurden mit der identischen Menge Mulchmaterial appliziert. Im linken Bild wurde das Material auf den feinkrümeligem Untergrund aufgebracht. Durch die lockere Erde und die krümelige Oberfläche drangen die beiden Komponenten vermehrt in den Boden ein und konnten so schlechter eine homogene Schicht bilden. Beim festeren Untergrund im rechten Bild erkennt man eine deutlich dickere Mulchschicht. Die betreuende Mitarbeiterin am KOB schätzte den Bewuchs in der Variante des Mulchmaterials als weniger stark ein. Dies konnte mangels Boniturdaten nicht bestätigt werden. Aufgrund der größeren Schichtdicke würde sich eine Applikation auf festerem Untergrund wohl besser eignen. Zudem wäre eine Bodenbearbeitung im Herbst zeitlich flexibler als direkt vor der Applikation. Nachteilig an diesem Bearbeitungstermin sind allerdings die erhöhte Erosionsgefahr, die verstärkte Mineralisierung und Auswaschung von Nährstoffen, was es abzuwägen gilt.



Abbildung 65: Vergleich des Spritzbilds auf zwei unterschiedlich vorbereiteten Bodenuntergründen (links: feinkrümelig, rechts: fester Untergrund) am KOB 2021

Das Mulchmaterial lässt eine bessere Wirkung bei einer größeren Schichtdicke erkennen, die durch einen festen, ebenen Untergrund begünstigt wird. Dieser Sachverhalt ließ sich sowohl in Laimburg als auch am KOB erkennen. Bewuchs mit einer geschlossenen Graschicht muss vor der Applikation nicht zwingend behandelt werden, da der Beikraut regulierende Effekt kaum Unterschiede in den Varianten „Spritzen auf Gras“ und „Spritzen auf gebürstetem Untergrund“ zeigte. Dies würde eine Vereinfachung des Verfahrens ermöglichen. Die Einflüsse glatter, ebener Oberfläche bzw. feinkrümeliger Oberfläche mit kleinen Steinen oder Erdbrocken auf die Ausbildung der Mulchschicht zeigen Abbildung 66 und Abbildung 67.

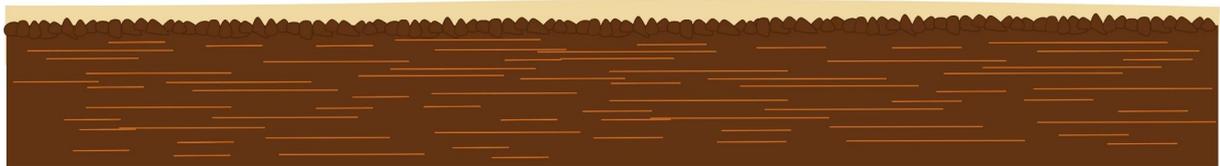


Abbildung 66: Schematische Darstellung der Mulchmaterialschiicht auf ebenem Untergrund

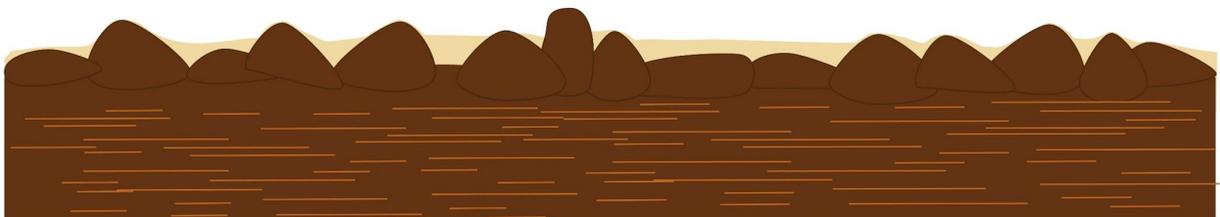


Abbildung 67: Schematische Darstellung der Mulchmaterialschiicht auf unebenem Untergrund mit Steinen

5.2.5.8 Weiterführende Untersuchungen

5.2.5.8.1 Beeinflussung des Wasserhaushalts durch das Mulchmaterial

Um die Auswirkungen des Mulchmaterials auf den Wasserhaushalt des Bodens feststellen zu können, wurde wie in Abschnitt 4.4.10 beschrieben, ein Versuch am Standort des TFZ angelegt. Unter jeder Versuchsparzelle wurden zwei Wassergehaltssensoren in 15 cm und 30 cm Tiefe vergraben. Aus den jeweils drei Messpunkten der Dreifachbestimmung wurde der Mittelwert gebildet. Das Ergebnis für den volumetrischen Wassergehalt über den Untersuchungszeitraum von drei Monaten ist in Abbildung 68 (15 cm Tiefe) und Abbildung 69 (30 cm Tiefe) dargestellt. Um den Einfluss der Niederschläge zu berücksichtigen, wurde zusätzlich auch die Niederschlagsmenge aufgetragen.

Im zeitlichen Verlauf ist für die Varianten ohne Mulchmaterial und die dünnere Schichtdicke 2,5 mm der geringste Wassergehalt im Boden zu erkennen. Vor allem bei den Sensoren in 15 cm Tiefe ist dieser Effekt sehr auffällig. Noch deutlicher zeigte sich dies nach längerer Trockenheit im Zeitraum vor dem 21. Juni. Hier war die volumetrische Feuchtigkeit im Boden umso höher, je mehr Mulchmaterial aufgebracht wurde. Unter den dicken

Mulchmaterialstreifen (5 mm Schichtdicke) wird mehr Wasser im Boden gehalten als unter der dünneren Variante. In diesem Versuch wurden ebenfalls schmalere Streifen mit 20 cm Breite anstatt 40 cm Breite appliziert (nicht in der Abbildung zu sehen). Diese Varianten zeigen einen höheren Verdunstungsschutz als die Nullvariante, liegen allerdings niedriger als die 40 cm breiten Varianten. Dieses Ergebnis deckt sich gut mit den Erwartungen, dass der Verdunstungsschutz mit breiten und dickeren Mulchmaterialauflagen höher ist als mit schmalen und dünnen oder gar ohne.

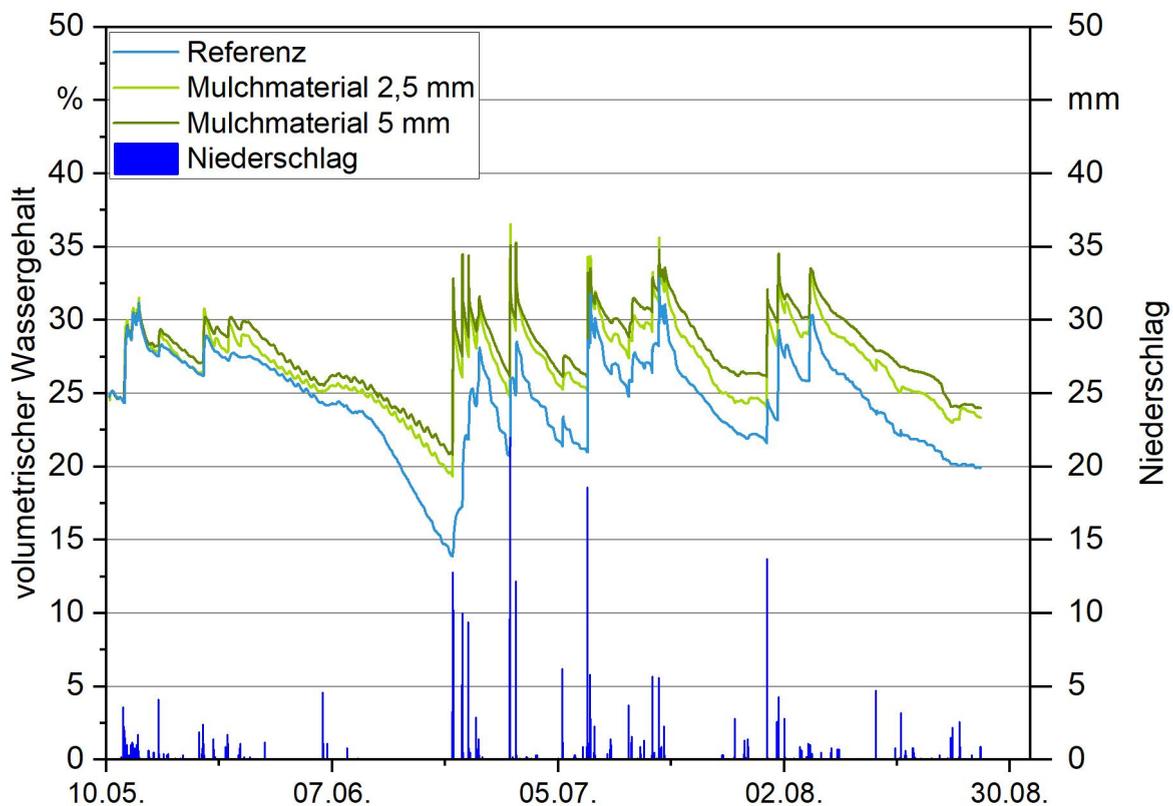


Abbildung 68: Volumetrischer Wassergehalt in der Tiefe von 15 cm (MW, $n = 3$) und Niederschlagsmenge (Wetterstation des TFZ in Straubing)

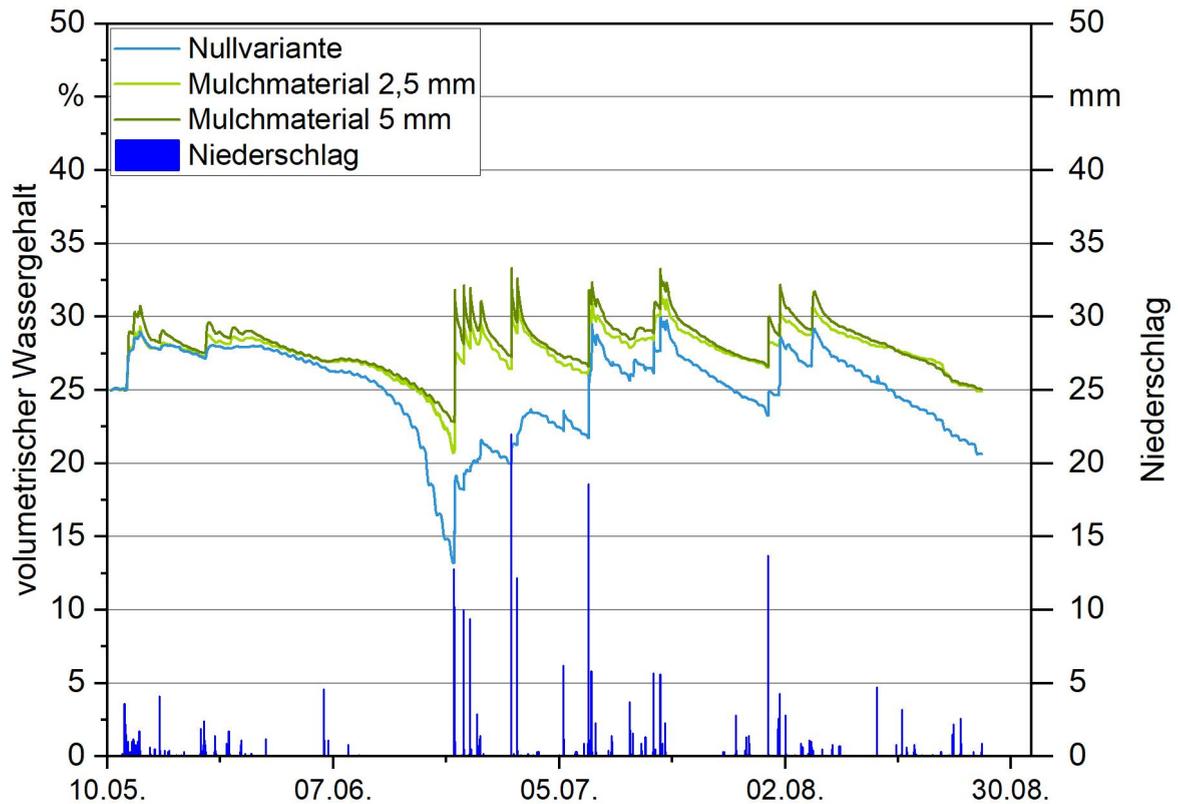


Abbildung 69: Volumetrischer Wassergehalt in der Tiefe von 30 cm (MW, $n = 3$) und Niederschlagsmenge (Wetterstation des TFZ in Straubing)

Zu diskutieren ist der Einfluss der Begrünung auf den Referenzstreifen ohne Mulchmaterial. Die Pflanzen schützen den Boden ebenfalls vor Verdunstung, verbrauchen aber auch Wasser aus dem Boden. Dieser Effekt ist recht deutlich im Zeitraum ab dem 31.06. zu sehen. Trotz größerer Niederschlagsmengen kommt in 30 cm Tiefe weniger Wasser an als bei den Mulchmaterialvarianten. Auch Pflanzen, Büsche oder Bäume neben dem Versuchsfeld können Wasser im Messbereich der Sensoren verbrauchen und so die Messdaten punktuell verfälschen. Trotz möglicher zusätzlicher Einflüsse bestärkt sich die These, dass eine Schicht aus Mulchmaterial den Wasserhaushalt positiv beeinflussen kann und mehr Wasser im Boden hält. Diese Versuche sollten allerdings mit einer zweiten Referenzvariante ohne Bewuchs wiederholt werden, um etwaige Effekte des Beikrautbewuchses komplett ausschließen zu können.

Im Jahr 2022 wurde an der LWG in Veitshöchheim ein ähnlicher Versuch durchgeführt. Der volumetrische Wassergehalt des Bodens wurde wöchentlich in 5 cm Tiefe gemessen. An acht Stellen wurde jeweils eine Sonde in den Boden gesteckt und der aktuell vorliegende Wassergehalt bestimmt. Abbildung 70 zeigt die resultierenden Werte sowie die gefallenen Niederschläge während des Versuchszeitraums.

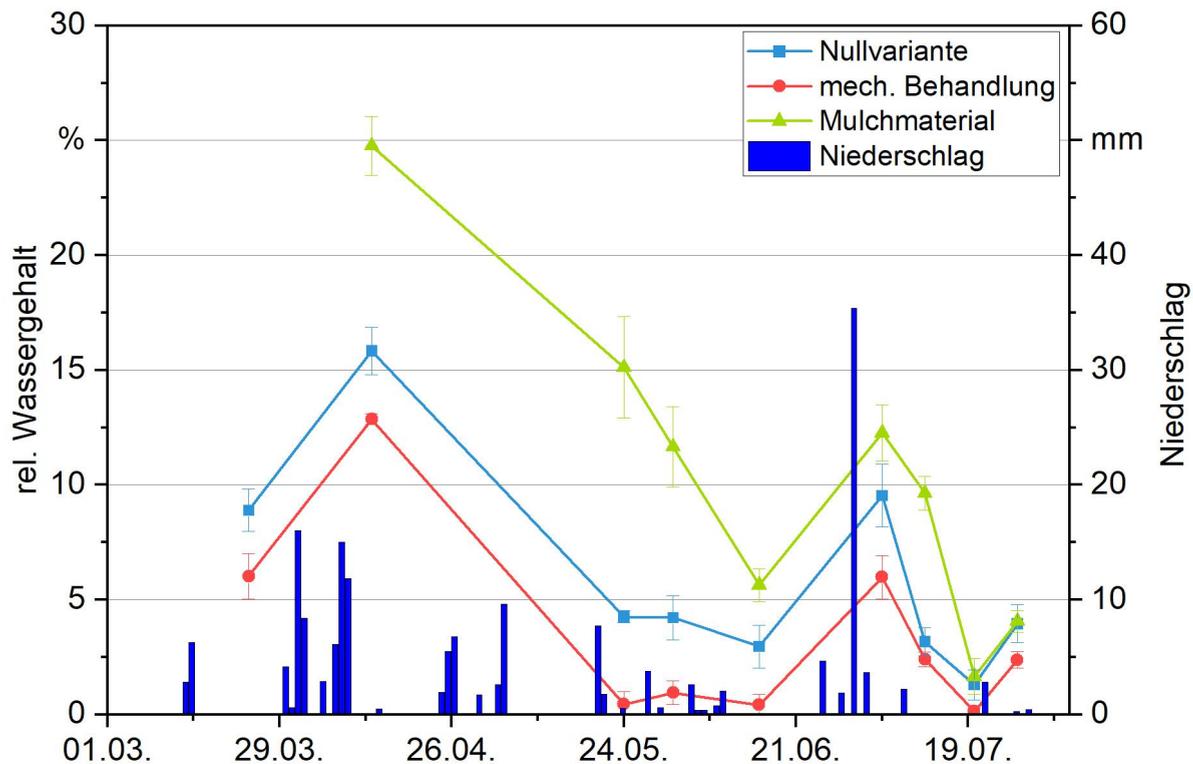


Abbildung 70: Vergleich des Wassergehalts bei Nullvariante, mechanischer Behandlung und Mulchmaterial 5 mm ($MW \pm SEM$, $n = 8$) am Versuchsstandort Thün-gersheimer Ravensburg

Es wird deutlich, dass das Mulchmaterial im Vergleich zur Nullvariante und zur mechanischen Beikrautregulierung einen positiven Effekt auf die Feuchtigkeit im Boden ausübt. Im Beobachtungszeitraum zeigte das Mulchmaterial insbesondere in der ersten Wachstumsphase einen Verdunstungsschutz, wodurch den Kulturpflanzen in den folgenden heißen Sommermonaten mehr Wasser zur Verfügung stand. Das Material versiegelte den Boden nicht, sodass Niederschläge weiterhin in das Erdreich sickern konnten und ein Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre weiterhin möglich war. Diesen Effekt belegt der gemessene Anstieg der Bodenfeuchte nach den Niederschlägen (Abbildung 70). Somit bietet das Mulchmaterial nicht nur eine Beikraut unterdrückende Wirkung, sondern nimmt wohl auch positiven Einfluss auf den Wasserhaushalt des Bodens. Diese ersten Erkenntnisse müssen allerdings noch in weiteren Untersuchungen bestätigt werden.

Beide Versuche deuten an, dass eine Schicht aus Mulchmaterial einen positiven Einfluss auf den Wasserhaushalt im Boden hat. Besonders in niederschlagarmen, trockenen Regionen spielt die Evaporation im Obst- und Weinbau eine enorm wichtige Rolle. Es bietet eine Möglichkeit, gerade bei Frühjahrstrockenheit, die gespeicherten Winterniederschläge im Boden länger zu erhalten.

5.2.5.8.2 Messung der gesättigten Wasserleitfähigkeit

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit wurde bei den Varianten „Nullvariante“, „mechanisch“ und bei „Mulch 5 mm spät“ gemessen. Die Methodik der Messung ist sehr zeitaufwendig. Die Messung dauerte im Schnitt 155 Minuten. Daher konnten nur die wichtigsten Varianten für die Fragestellung untersucht werden. Ziel war es, der Frage nachzugehen, ob das Mulchmaterial Einfluss auf die gesättigte Wasserleitfähigkeit des Bodens hat. Die Hypothese lautete, dass der mit dem Mulchmaterial bedeckte Boden weniger Wasser aufnehmen konnte und es so gegebenenfalls vermehrt zu Erosionserscheinungen auf bzw. neben dem Mulchmaterial kommen könnte. Abbildung 71 zeigt die Ergebnisse der Messungen.

Alle untersuchten Varianten zeigten keine signifikanten Unterschiede der gesättigten Wasserleitfähigkeit. Bei der „Nullvariante“ wurde ein Wert von 0,048 und bei der Variante „mechanisch“ ein Wert von 0,041 gemessen. Die geringste Wasserleitfähigkeit mit 0,031 wurde im Juni 2021 bei Variante „Mulch 5 mm spät“ festgestellt. Dies liefert Hinweise darauf, dass durch das Mulchmaterial die gesättigte Wasserleitfähigkeit im Vergleich zu den anderen Varianten geringfügig beeinflusst wird, aber trotzdem der Boden mit dem Mulchmaterial laut dem Durchlässigkeitswert nach DIN 18130 im Bereich „stark durchlässig“ (Kfs 0,001–0,1 cm/s) einzustufen ist.

Im September 2021 wurden die Messungen wiederholt. Die gesättigte Wasserleitfähigkeit war bei der „Nullvariante“ 0,0097, bei der „mechanischen Bodenbearbeitung“ 0,017 und bei der Variante „Mulch 5 mm spät“ 0,007. Im Vergleich zu den Werten im Juni sind alle Böden der untersuchten Varianten durchlässiger geworden. Allerdings ist die „mechanische Bodenbearbeitung“ tendenziell weniger durchlässig. Wurzel- und Regenwurmgänge, die bis zum Herbst entstanden sind, sowie der Verzicht auf Bodenbearbeitung erhöhen die Wasserdurchlässigkeit des Bodens. Die Bodenbearbeitung bei der mechanischen Variante hat vermutlich das Bodengefüge verändert und die Lagerungsdichte des Bodens (Bodenverdichtungen) wurde erhöht. Dies verringert die Wasserleitfähigkeit. Statistisch gesicherte Unterschiede konnten aufgrund der geringen Stichprobenanzahl (sehr zeitaufwendige Messungen) nicht bestätigt werden.

2022 wurden ebenfalls Messungen im Mai durchgeführt. Es zeigten sich folgende Ergebnisse: „Nullvariante“ 0,006, „mechanisch“ 0,0184 und „Mulch 5 mm spät“ 0,0169. Wieder zeigt sich, dass die mechanische und die Mulchmaterialvariante tendenziell etwas weniger durchlässig als die „Nullvariante“, aber immer noch im Bereich „stark durchlässig“ nach DIN 18130 einzustufen sind. Mit den Ergebnissen konnte gezeigt werden, dass eine geringe Beeinflussung durch das Mulchmaterial auf die gesättigte Wasserdurchlässigkeit gegeben war. Außerdem war keine erhöhte Erosionsgefahr durch Abschwemmung von Bodenmaterial auf bzw. neben dem Mulchmaterial zu erkennen.

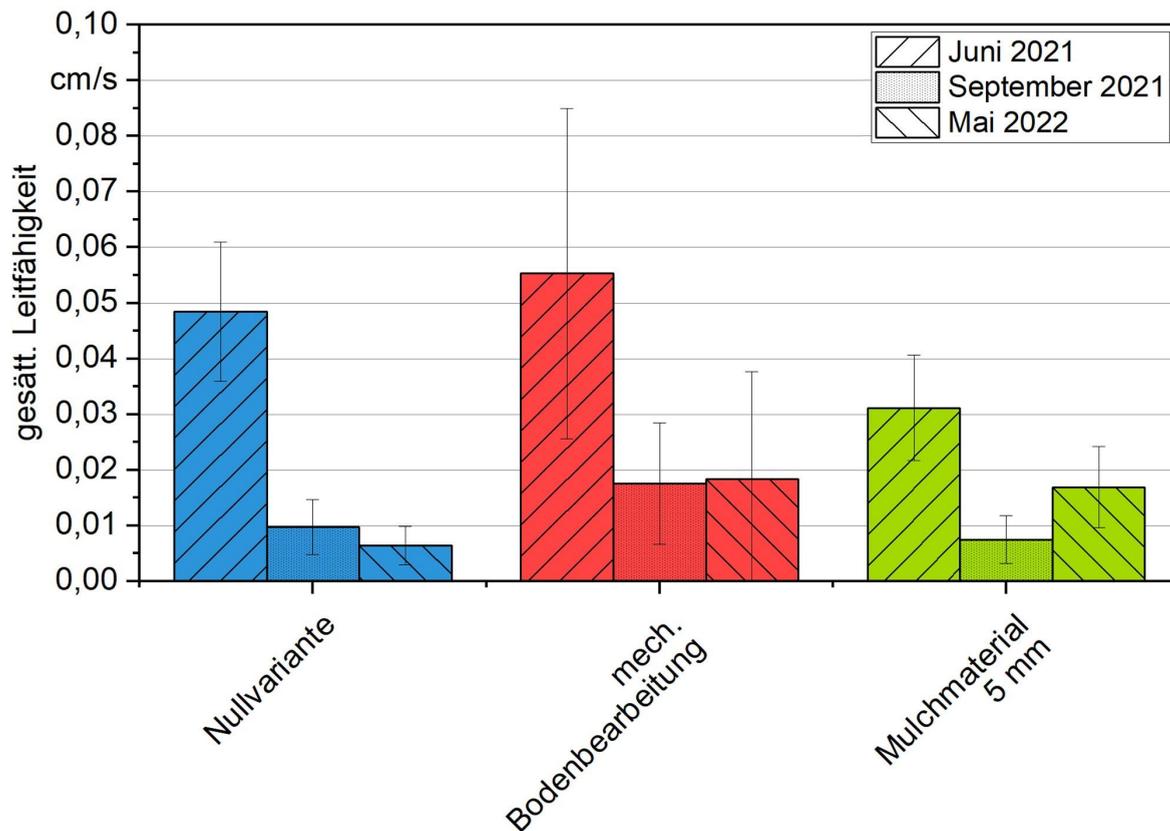


Abbildung 71: Gesättigte Leitfähigkeit (MW + SD, $n = 4$) der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung und Mulchmaterial spät 5 mm am LWG-Standort Thüngersheimer Ravensburg

5.2.5.8.3 Einfluss des Mulchmaterials auf das Bodenleben mittels Tea-Bag-Methode

Um die Beeinflussung des Bodenlebens abschätzen zu können, wurde die Tea-Bag-Methode [36] angewendet. Hierbei werden zwei Teesorten (Grüner Tee und Roibuschtee) in den Varianten in 8 cm Tiefe vergraben und für 90 Tage dem natürlichen Abbau überlassen. Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzungen der beiden Teesorten schreitet der Abbau unterschiedlich schnell voran. Grüner Tee wird schneller abgebaut, Roibuschtee aufgrund des höheren Anteils verholzter Bestandteile langsamer. Beim Abbau wird Biomasse des Tees in andere Stoffe wie beispielsweise CO_2 umgewandelt, was zu einem Masseverlust führt. Aus diesem Masseverlust lassen sich dann die Zersetzungsrate und der Stabilisierungsfaktor berechnen, die einen Anhaltspunkt auf die Aktivität des Bodenlebens geben. Die Abbaurrate 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. Sollte das Bodenleben durch externe Einflüsse, in diesem Fall durch eine Variante, beeinflusst werden, verändern sich die Werte verglichen mit der Nullvariante. Die Zersetzungsrate k und der Stabilisierungsfaktor S der Versuchsjahre 2021 und 2022 sind im Vergleich in Abbildung 72 dargestellt.

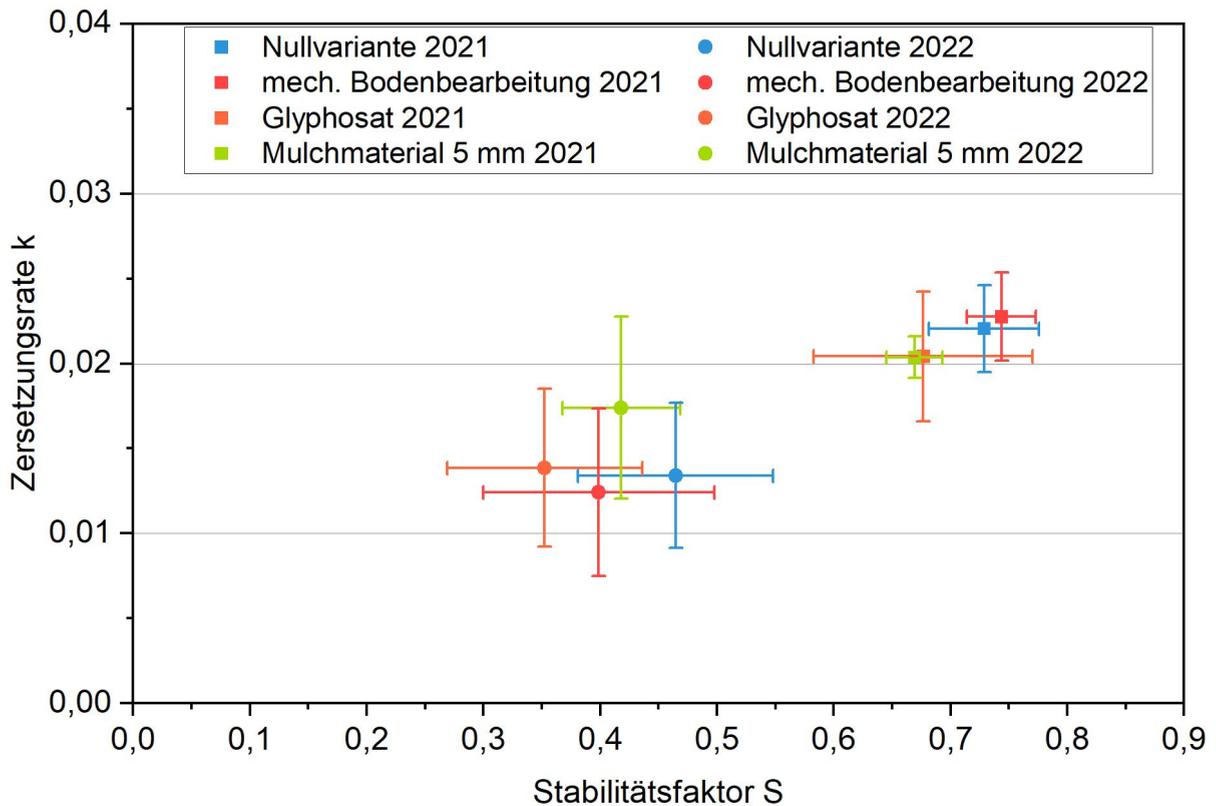


Abbildung 72: Zersetzungsrate k und Stabilitätsfaktor S ($MW \pm SEM$, $n = 8$) der Varianten Mulchmaterial, mechanische Behandlung, Herbizideinsatz und Nullvariante in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am LWG-Standort Thüngerheimer Ravensburg

Wie in Abbildung 72 ersichtlich unterscheiden sich die Zersetzungsraten der vier Varianten nicht signifikant. Deutlich unterscheidbar waren allerdings die Versuchsjahre 2021 und 2022. Beide Jahre waren recht unterschiedlich bezüglich der Witterung bzw. der Niederschläge. 2021 war ein relativ feuchtes Jahr. Im Gegensatz dazu fielen 2022 kaum Niederschläge. So sind die deutlichen Unterschiede der beiden Jahre gut erklärbar. In den Versuchsjahren zeigten sich marginale Unterschiede in den Ergebnissen der Methode. So war der Stabilitätsfaktor der Glyphosatvariante in beiden Jahren der niedrigste, was ein Hinweis ist, dass sich hier weniger Tee abgebaut hat. Allerdings sind die Werte nicht signifikant unterschiedlich zu den anderen Varianten, sodass keine sichere Aussage getroffen werden kann. Die Mulchmaterialvariante war im feuchten Jahr auf einem ähnlichen Niveau wie die Herbizidvariante, im zweiten Jahr allerdings war der Stabilitätsfaktor nah am Mittelwert aller Varianten. Die Zersetzungsrate unterschied sich über alle Varianten kaum. Einzig die Zersetzungsrate der Mulchmaterialvariante 2022 lag ein wenig höher als bei den anderen drei Varianten, was eine höhere Bodenaktivität bedeuten würde. Die Unterschiede der Werte waren nicht signifikant unterschiedlich. Abschließend lässt sich also festhalten, dass im Rahmen des Teebeutelindex die vier untersuchten Varianten keinen negativen Einfluss auf das Bodenleben zeigten.

5.2.5.8.4 Erntedaten

Die Ertragserfassung ist neben der Ermittlung der Beikraut hemmenden Wirkung eine relevante Untersuchung für die Praxis. 2021 fand die Lese der Trauben am 06.10.2021 und im Folgejahr am 21.09.2022 statt. Für das Jahr 2021 sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten ermittelt worden. Am ertragreichsten waren die Versuchsvarianten „Glyphosat“ mit 77,6 kg/Ar, „mechanisch“ mit 76,5 kg/Ar, gefolgt von der Variante „Mulch 5 mm spät“ mit 72,7 kg/Ar. Auf ähnlich hohem Ertragsniveau lagen die Varianten „Mulch 2,5 mm früh“ (66,6 kg/Ar) und „Mulch 5 mm früh“ mit 66,29 kg/Ar. Es ist ein Trend zu erkennen, dass die Mulchmaterialvariante „Mulch 5 mm spät“ 2021 durch die geringere Konkurrenzwirkung der Beikräuter höhere Erträge brachte. Dennoch war der Unterschied in den Mittelwerten zwischen den Versuchsvarianten nicht groß genug, um durch die Anzahl der Stichproben einen signifikanten Wert abzusichern. Aus diesem Grund wurde 2022 die Stichprobenanzahl erhöht und das Einzelstockgewicht in kg Traube/Rebstock ($n = 32$) von allen Varianten ermittelt. Bei der Ertragserfassung 2022 zeigten sich signifikante Unterschiede. Den höchsten Ertrag hatte 2022 die Glyphosatvariante. Die Mulchmaterialvarianten waren untereinander ähnlich, wobei „Mulch 2,5 mm früh“ tendenziell am besten abschnitt. In diesem Zusammenhang war eine kausale Beziehung zum ermittelten Trockenmassegewicht der Beikrautvegetation zu erkennen. Nur sehr geringe Trockenmassegewichte wurden im Frühjahr und Herbst bei dieser Variante ermittelt. Die Konkurrenzwirkung war in dieser Variante geringer, was sich positiv auf den Ertrag auswirkte. Die Effekte der Konkurrenzwirkung durch die Beikräuter konnte man 2022 auf alle Varianten ableiten, da durch die Trockenheit generell weniger Beikrautdruck (siehe Abschnitt 5.2.5.6) vorhanden war und dadurch die gesamten Erträge höher als im Jahr 2021 ausfielen.

In Abbildung 73 ist der mittlere Traubenertrag in kg/Ar der einzelnen Varianten in den Versuchsjahren 2021 und 2022 dargestellt.

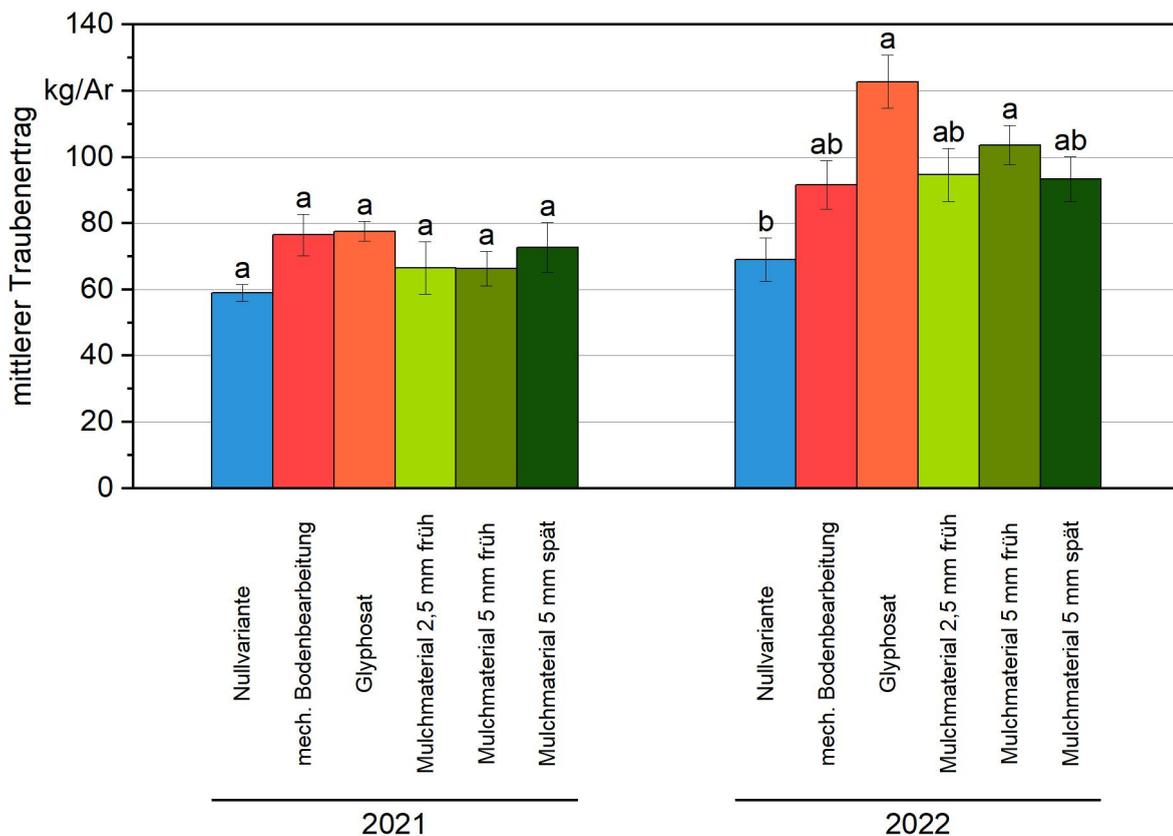


Abbildung 73: Mittlerer Traubenertrag (MW \pm SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$ [2021] und $n = 32$ [2022]) der Versuchsjahre 2021 und 2022 der Varianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung, Herbizidvariante sowie der Mulchmaterialvarianten 2,5 mm früh, 5 mm früh und 5 mm spät

5.2.5.8.5 Blattflächenindex (LAI)

Ab 2021 wurde auch bei den Mulchmaterialvarianten der LAI ca. zwei Wochen vor dem Lesetermin der Reben bestimmt. Die 2021 gemessenen Werte waren bei allen Varianten höher als 2022. Dies lag an den für das Pflanzenwachstum günstigen klimatischen Verhältnissen mit regelmäßigen Niederschlägen und wenig Trockenstressphasen, die 2022 dagegen überdurchschnittlich hoch ausfielen. Den höchsten gemessenen Wert hatte 2021 die Variante „Mulch 5 mm spät“ mit ($1,36 \text{ m}^2/\text{m}^2$), der im Vergleich zur „Nullvariante“ signifikant unterschiedlich war. Alle anderen Varianten hatten einen ähnlichen Wert und waren nicht signifikant unterschiedlich zur Nullvariante. Die gute Beikraut unterdrückende Wirkung (siehe Abschnitt 5.2.5.5) der Variante „Mulch 5 mm spät“ spiegelte sich im vegetativen Wachstum durch geringere Konkurrenzwirkung wider. 2022 lieferten die Variante „Mulch 5 mm spät“ ($0,87 \text{ m}^2/\text{m}^2$) und „Mulch 2,5 mm spät“ ($0,88 \text{ m}^2/\text{m}^2$) höhere Werte als die „mechanische Bodenbearbeitung“ ($0,81 \text{ m}^2/\text{m}^2$). Signifikant unterschieden sich keine der getesteten Varianten. Anhand der Ergebnisse war bei allen Mulchmaterialvarianten, je nach Witterungsverhältnissen und auftretendem Beikrautdruck, ein positiver Einfluss auf das vegetative Wachstum der Rebe zu erkennen. Abbildung 74 illustriert die Ergebnisse.

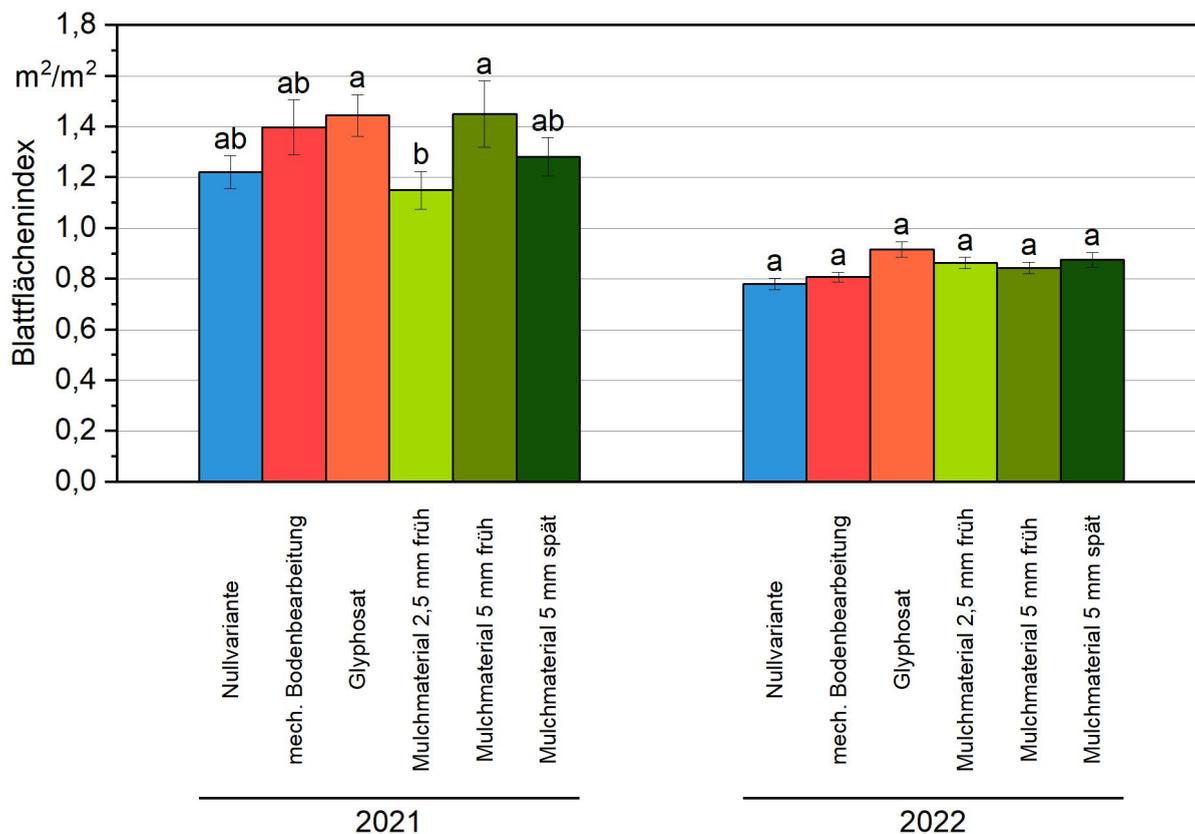


Abbildung 74: Blattflächenindex (LAI) ($MW \pm SEM$, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$) der Versuchsjahre 2021 und 2022 der Referenzvarianten Nullvariante, mechanische Bodenbearbeitung und Herbizidvariante sowie der Varianten Mulchmaterial früh 2,5 mm, Mulchmaterial früh 5 mm und Mulchmaterial spät 5 mm

5.2.5.8.6 Einfluss auf den Reifeverlauf der Trauben und Ertrag

Für die Versuche im Weinbau wurden in den Jahren 2020 und 2021 Reifemessungen in den Versuchsvarianten durchgeführt. 2022 wurden die Trauben wegen der Trockenheit schon früher als ursprünglich geplant geerntet, weshalb in diesem Versuchsjahr kein detaillierter Ernteverlauf, sondern nur ein Zeitpunkt bestimmt werden konnte. Die Messungen zeigten aber in keinem Versuchsjahr signifikante Unterschiede. Die Ergebnisse sind im Anhan (S. 170) zu finden.

5.2.5.8.7 Junganlagen

Ein interessanter Anwendungsbereich für das aufspritzbare Mulchmaterial ist der Einsatz in Junganlagen. Die gepflanzten Jungpflanzen aus Obst- und Weinbau sind deutlich empfindlicher gegenüber Konkurrenzbeikräutern als gut eingewachsene Bäume und Rebstöcke. Die Beikräuter nehmen Wasser, Nährstoffe und Licht weg und hemmen so das Wachstum der Kulturpflanzen im frühen Stadium. Abbildung 75 zeigt den Bodenbedeckungsgrad für diese Versuchsvariante. Bei dieser Versuchsanstellung wurde das Mulchmaterial auf die komplett unbehandelte Erde appliziert, da der Boden vor der Pflanzung

umgebrochen worden war. Aus diesem Grund erfolgten die mechanische Bearbeitung mit dem Krümeler sowie der Einsatz des Herbizids Glyphosat erst 40 Tage später, als auch entsprechend Beikrautbesatz auf der Fläche auftrat. Der Beikrautdruck war sehr stark, was in allen vier Varianten deutlich erkennbar war. Nach fünf Wochen erreichten die bis dahin unbehandelten Varianten Herbizid, mechanische Behandlung und Nullvariante einen Beikrautbesatz von 40 %. Der Bodenbedeckungsgrad des aufspritzbaren Mulchmaterials blieb die ersten 40 Tage nahezu bei null, stieg in den nächsten drei Wochen allerdings auf knapp 40 %. Ein Anstieg Wochen nach der Behandlung konnte dann auch in den Varianten „mechanische Bodenbearbeitung“ und „Herbizideinsatz“ beobachtet werden. Beide Varianten stiegen ca. vier Wochen nach der Behandlung auf ca. 60 %. Auf Flächen mit derart starkem Beikrautdruck müsste die Behandlung mehrmals im Jahr durchgeführt werden. Dasselbe gilt für das Mulchverfahren. Alternativ könnte die Stabilität verbessert und so langanhaltender Schutz gewährleistet werden. Die gleichen Versuchsanstellungen wurden in einer Wein-Junganlage vorgenommen. Die Ergebnisse in diesem Versuch waren sehr ähnlich, was die Erkenntnisse aus dem Apfelversuch untermauert.

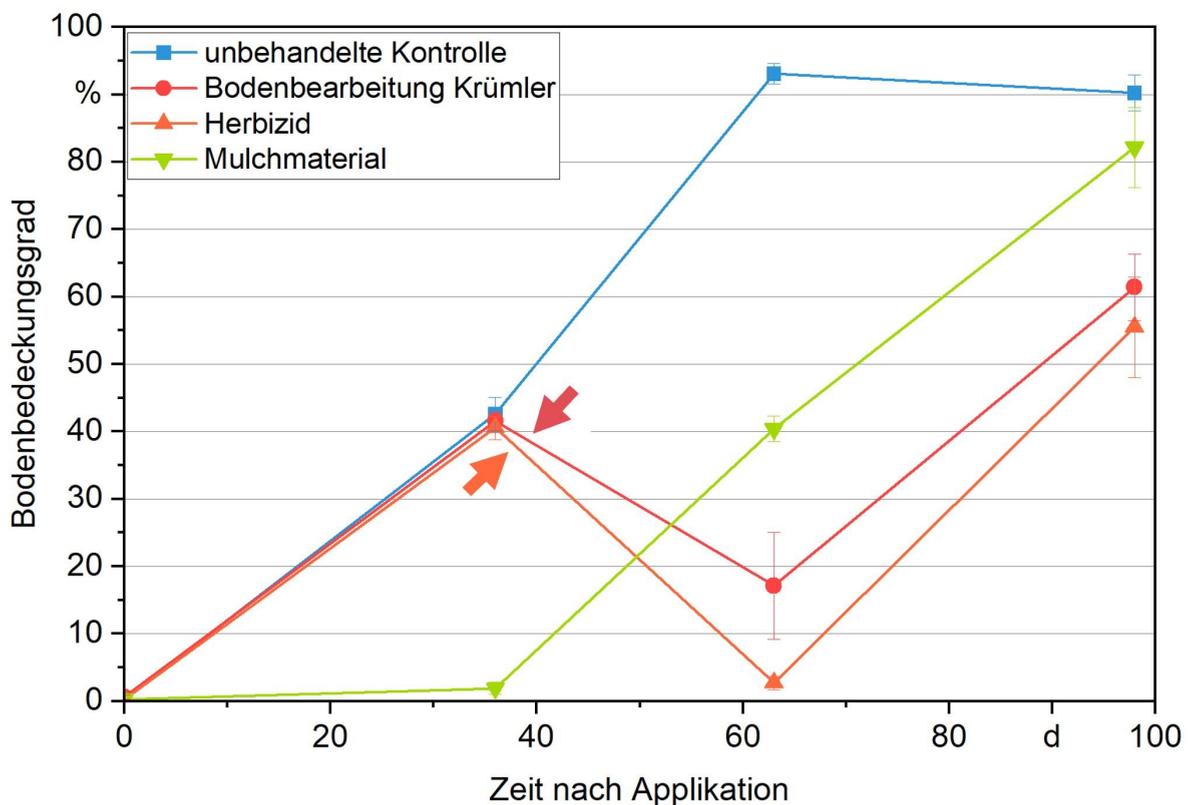


Abbildung 75: Bodenbedeckungsgrad ($MW \pm SEM$, $n = 4$) des Versuchs in Apfel-Junganlage in Laimburg 2022 – die Pfeile kennzeichnen den Zeitpunkt der mechanischen Bodenbearbeitung bzw. des Herbizideinsatzes

Ein weiteres Kriterium bei der Bonitur von Junganlagen ist der Zuwachs der Kulturpflanzen während der Vegetationsperiode. Hierfür wurden der Zuwachs der Triebhöhen bei den jungen Rebstöcken und der Zuwachs der Stammdurchmesser der Apfelbäume gemessen.

Abbildung 76 zeigt den Zuwachs der Trieb­längen. Bonitiert wurde an zwei Terminen, einmal im Juli und einmal im Oktober. Auffällig war, dass die Weinstöcke der Varianten „Mulchmaterial“ und „mechanische Bearbeitung“ bei der ersten Bonitur deutlich längere Triebe ausbildeten als die anderen beiden Varianten. Bei der Bonitur im Herbst zeigte sich allerdings ein anderes Bild. Während die Weinstöcke in der mechanischen Variante gut weiterwuchsen und die Herbizidvariante stark aufgeholt hatte, gab es bei den Varianten mit dem Mulchmaterial und der unbehandelten Variante kaum mehr Zuwachs der Triebe. Dieser Effekt kann mehrere Ursachen haben. Zum einen könnten die verschiedenen Behandlungstermine der Varianten Einfluss haben. Die mechanische und die Herbizid-Variante wurde 40 Tage später durchgeführt, was sich auch im verzögerten Beikrautaufwuchs widerspiegelte. Die größere Konkurrenz in den Varianten „Mulchmaterial“ und „unbehandelt“ kann daher den geringeren Längenzuwachs erklären. Denkbar wäre auch, dass sich durch den Abbau des Mulchmaterials die Verfügbarkeit von Stickstoff änderte und so das Wachstum ins Stocken geriet. Am Versuchsstandort wurden noch Proben gezogen, um den Stickstoffgehalt zu ermitteln, die Ergebnisse der Untersuchungen lagen zum Zeitpunkt der Berichterstellung allerdings noch nicht vor.

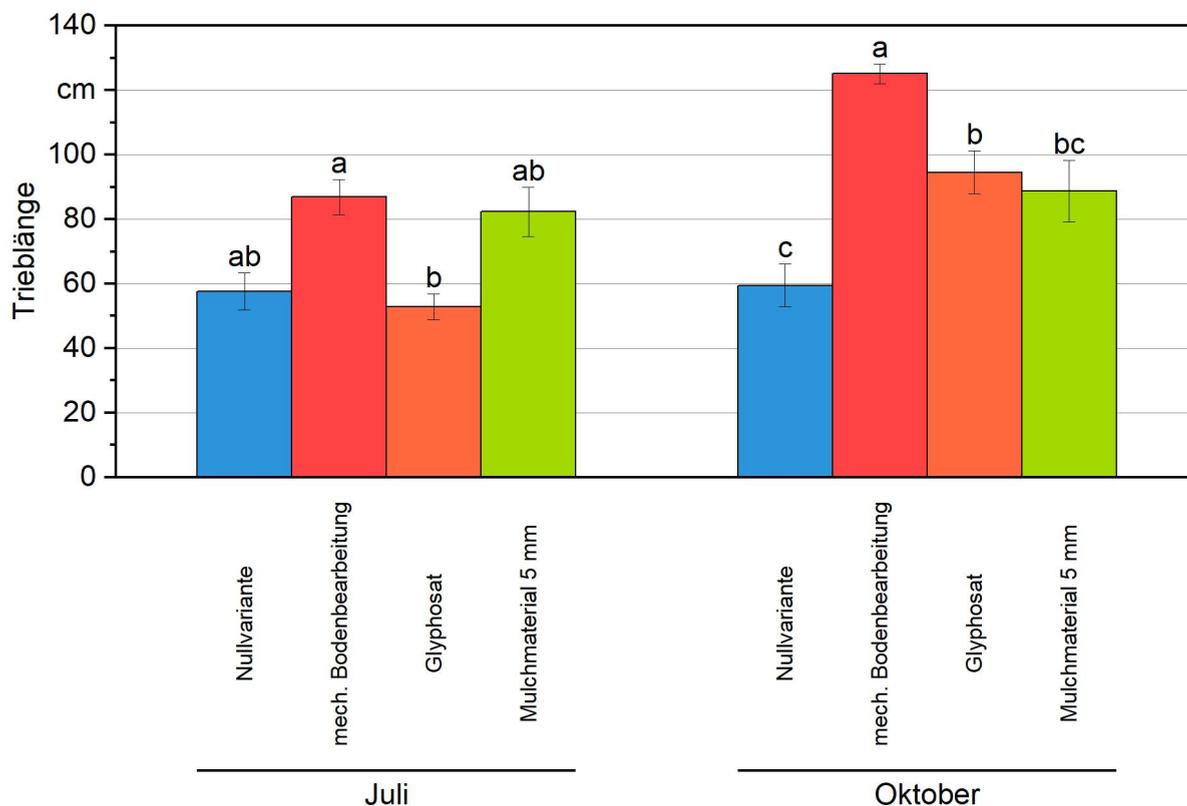


Abbildung 76: Trieb­längenzuwachs ($MW \pm SEM$, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$) der Junganlagen im Weinbau

Eine ähnliche Versuchsanstellung wurde bei den jungen Apfelbäumen untersucht. Hier wurde der Stammzuwachs gemessen und ausgewertet (vgl. Abbildung 77). Es zeigten sich zwar kleinere Unterschiede, allerdings waren diese zu gering, um als signifikant zu gelten. Bei beiden Versuchen wurden die Jungpflanzen auch später als üblich eingesetzt, weshalb auch andere äußere Einflüsse negativ auf die Zuwächse Auswirkungen genommen haben könnten. Um die Ergebnisse abzusichern, sollten diese Versuche wiederholt werden.

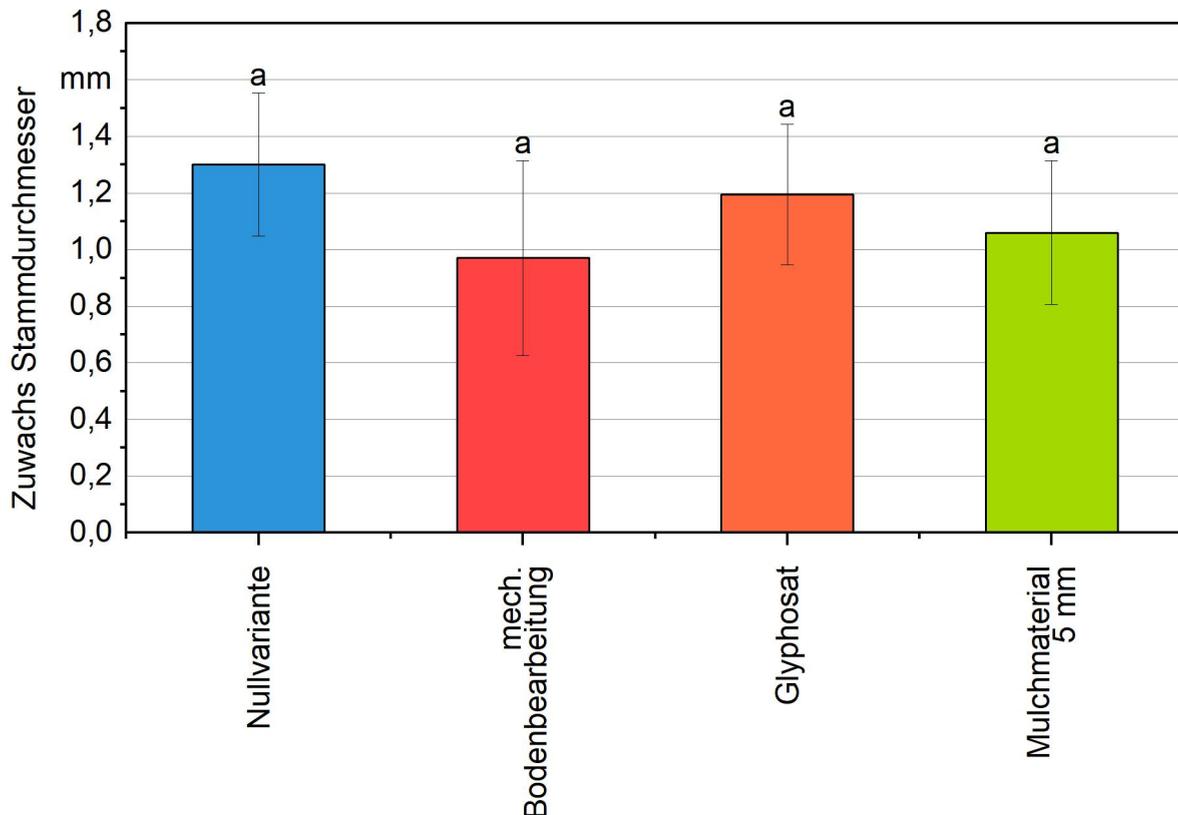


Abbildung 77: Ergebnisse der Messung des Stammzuwachses (MW \pm SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$) der Apfel-Jungbäume

5.2.6 Kostenkalkulation

Die Kosten des Verfahrens sind ein wesentlicher Faktor für die Etablierung in der Praxis. Auch wenn in diesem Vorhaben der Fokus hauptsächlich auf der grundsätzlichen Machbarkeit der Methode lag, soll nun die Kostenseite betrachtet werden. Für die Kostenkalkulation des neuen Verfahrens „spritzbares Mulchmaterial“ wird vom Stand Ende 2022 ausgegangen. Die Preise der Komponenten für die Herstellung des Mulchmaterials sind die zu diesem Zeitpunkt geltenden Preise für die Kleinmengen, die für dieses Projekt gekauft wurden. Es ist davon auszugehen, dass bei der Abnahme größerer Gebinde auch niedrigere Preise aufgerufen werden. Aufgrund der schwierigen Rohstoffsituation 2022 war es leider nicht möglich, realistische Preise für Großgebände von Herstellern und Lieferanten anzufragen.

Für den Kostenvergleich werden drei Verfahren gegenübergestellt. Das neu entwickelte spritzbare Mulchmaterial wird mit der Behandlung mit einem Flachschar, einem üblichen mechanischen Verfahren, und der Bandspritzung von Pelargonsäure verglichen. Da die Zulassung des Herbizids Glyphosat Ende 2023 auslaufen soll [40], wird in dieser Kalkulation nicht mehr auf diese Methode eingegangen. Für die Kostenrechnung werden typische Werte für die Anzahl der Anwendungen pro Jahr angenommen. Bei der Bandspritzung von Pelargonsäure wird daher eine viermalige Anwendung im Jahr, bei der Bodenbearbeitung mit dem Flachschar eine dreimalige Anwendung im Jahr kalkuliert. Die Ausbringung des Mulchmaterials erfolgt nur einmal in der Vegetationsperiode. Diese Werte sind praxisüblich und daher gut für die Berechnung geeignet. Im Folgenden (Tabelle 14, Tabelle 15 und Tabelle 16) werden die Kosten für Arbeit, Traktor sowie typische Posten für Geräte und Material aufgelistet. Die Berechnung bezieht sich jeweils auf einen Hektar Fläche. Bei der Behandlung mit dem spritzbaren Mulchmaterial wird mit einem im Unterstockbereich aufgespritztem 40 cm breiten Streifen kalkuliert – analog zu den durchgeführten Versuchen.

Tabelle 14: Kostenkalkulation einer mechanischen Bodenbearbeitung mit dem Flachschar – dreimalige Behandlung im Jahr

	Beschreibung	Kosten pro ha
Arbeit ^{1, 2, 3}	3 × 4 h/ha	250,08 €
Traktor 67 kW, Allrad, Vario ⁴		402,38 €
Fixe Kosten	6866 €/a, 500 h/a	164,78 €
Variable Kosten	4,20 Reparatur/h + 7,8 l/h Diesel × 2,00 €/l	237,60 €
Flachschar ^{5, 6}		81,14 €
Fixe Kosten	1339 €/ha, 200 h/a	80,34 €
Variable Kosten		0,80 €
SUMME		733,60 €

¹ KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, 16., überarbeitete Auflage, 2017, S. 119.

² Strub, Loose: Was kostet der Weinbau, Der deutsche Weinbau, Ausgabe 8/2021, S. 36.

³ KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, 16., überarbeitete Auflage, 2017, S. 115.

⁴ KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, 16., überarbeitete Auflage, 2017, S. 42, 39.

⁵ KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, 16., überarbeitete Auflage, 2017, S. 53.

⁶ Weinmann: ATW-Bericht 184 – Aktuelle Verfahren zur mechanischen Bodenbearbeitung im Unterstockbereich, 2019, S. 24.

Tabelle 15: *Kostenkalkulation einer Behandlung mit dem spritzbaren Mulchmaterial – eine Anwendung im Jahr*

	Beschreibung	Kosten pro ha
Arbeit ^{7, 8, 9}	5 h/ha	104,20 €
Traktor 67 kW, Allrad, Vario ¹⁰		167,66 €
Fixe Kosten	6866 €/a, 500 h/a	68,66 €
Variable Kosten	4,20 Reparatur/h + 7,8 l/h Diesel × 2,00 €/l	99,00 €
Mulchmaterial		960,00 €
Applikationsgerät ¹¹	Gerätekosten	160,00 €
Materialkosten ¹²	Mulchmaterial 1 × 5 mm ¹³ à 0,6 €/l (2022)	3.200,00 €
SUMME		4.160,00 €

Tabelle 16: *Kostenkalkulation einer Behandlung mit Pelargonsäure – viermaligen Anwendung im Jahr*

	Beschreibung	Kosten pro ha
Arbeit ^{14, 15, 16}	4 × 1,7 h/ha	141,71 €
Traktor 67 kW, Allrad, Vario ¹⁷		181,33 €
Fixe Kosten	6866 €/a, 500 h/a	46,69 €
Variable Kosten	4,20 Reparatur/h + 7,8 l/h Diesel × 2,00 €/l	134,64 €
Bandspritze ¹⁸		1.319,74 €
Fixe Kosten	333 €/J, 60 h/J	37,74 €
Variable Kosten		2,00 €
Material ¹⁹	Herbizid 4 × 1 l/ha à 20,00 €/l	1.280,00 €
SUMME		1.642,78 €

⁷ KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, 16., überarbeitete Auflage, 2017, S. 119.

⁸ Strub, Loose: Was kostet der Weinbau, Der deutsche Weinbau, Ausgabe 8/2021, S. 36.

⁹ KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, 16., überarbeitete Auflage, 2017, S. 115.

¹⁰ KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, 16., überarbeitete Auflage, 2017, S. 42, 39.

¹¹ Gerätekosten von einem Landmaschinenhersteller geschätzt.

¹² Materialkosten nach Einkaufspreisen 2022, Gebindegrößen im Labormaßstab.

¹³ 40 cm breiter Streifen im Unterstockbereich mit einer Ausbringmenge von 5 mm (entspricht 5 l/m²).

¹⁴ KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, 16., überarbeitete Auflage, 2017, S. 119.

¹⁵ Strub, Loose: Was kostet der Weinbau, Der deutsche Weinbau, Ausgabe 8/2021, S. 36.

¹⁶ KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, 16., überarbeitete Auflage, 2017, S. 115.

¹⁷ KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, 16., überarbeitete Auflage, 2017, S. 42, 39.

¹⁸ KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, 16., überarbeitete Auflage, 2017, S. 55.

¹⁹ KTBL-Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft, 16., überarbeitete Auflage, 2017, S. 105.

Ausgehend von der Kalkulation ist die mechanische Behandlung mit dem Flachschar die kostengünstigste Methode mit ca. 733 € pro Hektar. Auch die Behandlung mit Pelargonsäure liegt mit ca. 1.640 € pro Hektar unter den Kosten des neuartigen Mulchverfahrens (4.160 € pro Hektar). Die relativ hohen Kosten beim Aufspritzen des Mulchmaterials ergeben sich zum Teil aus den sehr stark gestiegenen Rohstoffkosten der letzten Jahre. Die Preise einiger Inhaltsstoffe haben sich in den letzten drei Jahren mehr als verdoppelt. So konnte beispielsweise im Frühjahr 2020 Rapsöl für 0,85 Cent pro Liter gekauft werden. Im Frühjahr 2022 lag der Preis für Rapsöl identischer Qualität und beim selben Lieferanten bei 1,84 Cent. Außerdem wurden im gesamten Projektverlauf ausschließlich Rohstoffe in Laborqualität verwendet, deren Reinheit deutlich höher als für das Material erforderlich ist. Die hohe Reinheit schlug sich allerdings auch deutlich im Preis nieder. Diese Rohstoffe wurden verwendet, da aufgrund der hohen Reinheit immer eine identische Qualität im Versuch sichergestellt war und etwaige Unterschiede in den Eigenschaften des Mulchmaterials nicht davon beeinflusst wurden. Für zukünftige Anwendungen könnte bei den meisten Komponenten auch eine geringere Qualität verwendet werden. Der Preis des Materials könnte sich auch durch Einsparung der Schichtdicke verringern. Ein anderer Ansatz wäre, das Material aufzuschäumen. Vorversuche dazu fanden in einem Vorgängerprojekt zur Entwicklung einer aufspritzbaren Silageabdeckung bereits statt [57]. Hierbei konnte das Material auf ein drei- bis vierfaches Volumen aufgeschäumt werden. Dies würde zu einer Kostenverringerung des Mulchmaterials um den Faktor vier führen. Falls dieses Verfahren auch für spritzbares Mulchmaterial funktionieren sollte, würden sich die Kosten auf ca. 1.230 € pro Hektar reduzieren. Somit wäre das Verfahren kostengünstiger als eine Bandspritzung mit Pelargonsäure.

5.2.7 Mögliche Wirkungsweise und rechtliche Einordnung des Mulchmaterials

Das entwickelte Mulchverfahren soll eine innovative Alternative zu bisher üblichen Beikrautmanagementsystemen mit chemischen Herbiziden darstellen. Die mögliche Wirkungsweise wurde durch Gewächshausversuche der BOKU Wien im Rahmen der Zusammenarbeit im Forschungs- und Innovationspakt Bayern–Österreich–Südtirol erforscht. Dabei wurde festgestellt, dass mit dem Mulchmaterial bedeckte Pflanzen Symptome wie unter Plastikfolienabdeckung zeigen. Dies lässt die Vermutung zu, dass die Wirkungsweise der Mulchabdeckung einem Ersticken der Beikräuter gleicht [32]. Diese Ergebnisse untermauern die Wirkungsweise des spritzbaren Mulchmaterials als rein physikalische Barriere. Die Inhaltsstoffe des Mulchmaterials basieren größtenteils auf nachwachsenden Rohstoffen. Die verwendeten Substanzen sind nach der REACH-Verordnung als unbedenklich eingestuft und damit völlig unbedenklich.

Nach Anfrage beim Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit²⁰ fällt das Material nicht unter die Kategorie als Pflanzenschutzmittel in den Geltungsbereich der

²⁰ Stellungnahme des BVL im Mai 2022, GZ 200.25000.0.390514.

Verordnung (EG) Nr. 1107/2009. Somit kann das Verfahren grundsätzlich auch im Ökolandbau eingesetzt werden.

5.3 Fazit zur Eignung ökologisch unbedenklicher Substanzen und des innovativen spritzbaren Mulchverfahrens zum Beikrautmanagement

Innerhalb der vier Versuchsjahre von 2019 bis 2022 gab es bei der Untersuchung der Beikraut unterdrückenden (herbiziden) Wirkung der natürlichen Substanzen, die durch die Messung der oberirdischen Trockenmasse der Beikrautvegetation bzw. des Bodenbedeckungsgrads der Beikrautvegetation untersucht wurden, im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle keine statistisch abgesicherten Unterschiede. Wirkung zeigte sich optisch nur bei Beikräutern in den ersten Entwicklungsstadien (BBCH 00 bis 30). Bei größeren Beikräutern wurden nur einzelne Blattbereiche benetzt (Regenschirmeffekt) und geschädigt. Oft sind diese geschädigten Pflanzen weitergewachsen und hatten nur wenig Effekt auf den Gesamtbewuchs der Beikräuter. Auch bezüglich vegetativen Wachstums der Rebe und des Rebenertrags zeigten sich über die Jahre keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur Nullvariante. Pelargonsäure, Essigsäure und Rapsöl sind im Einkaufspreis vergleichsweise teuer und haben entsprechend den Untersuchungen keine praxistaugliche Eignung, um als Substitut für synthetische Herbizide im Weinbau, insbesondere für Steillagen zu gelten. Zu viele Applikationen pro Vegetationsperiode müssten durchgeführt werden, um ausreichende Wirkungen zu erzielen. Dies wäre aufgrund der Bodenschäden (Verdichtungen, Anreicherungen der Substanzen im Boden), Treibstoffkosten und Rohstoffpreise der natürlichen Substanzen weder wirtschaftlich noch ökologisch.

Das entwickelte spritzbare Mulchmaterial hat in allen Versuchen seine Eignung als Beikraut regulierendes Verfahren belegt. Es zeigt – je nach Witterung und Applikationszeitpunkt – gute Wirkungen gegen Beikräuter. An manchen Standorten war die Wirkung vergleichbar mit in der Praxis üblichen Verfahren, wie der mechanischen Behandlung in mehreren Arbeitsgängen oder der Verwendung des chemischen Herbizids Glyphosat. An Standorten mit hohem Beikrautdruck war die Langzeitwirkung noch zu gering, als dass eine einmalige Applikation des spritzbaren Mulchmaterials eine für die Praxis ausreichende Wirkung über die komplette Vegetationsperiode gezeigt hätte. Die für die Versuche entwickelte Applikationstechnik konnte gut überzeugen und kann als Basis dienen für die Entwicklung eines Praxisgeräts. Der entwickelte Prototyp wurde gebaut, um die Spritzbreiten sowie die Schichtdicken einstellen zu können und vor allem um die großen Mengen Mulchmaterial für 23 Versuche reproduzierbar ausbringen zu können. Dabei wurden allerdings einige Kompromisse eingegangen, die aufgrund der kurzen Entwicklungszeit und des geringen Budgets nicht besser umsetzbar waren. Die gewünschten Versuchseinstellungen und Fragestellungen konnten damit aber gut abgearbeitet werden. Die aufgetauchten Probleme, wie Verstopfungen in den Spritzdüsen, sollten in weiterführenden Arbeiten behoben werden, um eine Überführung in die Praxis zu ermöglichen. Auch die aufgeworfenen Fragen, wie der Einfluss des Applikationszeitpunkts, die optimale Schichtdicke des Mulchmaterials und mögliche Wechselwirkungen mit der Kulturpflanze, dem Bodenleben, den Insekten und auch dem Wasserhaushalt, sollten tiefergehend untersucht werden. Al-

les in allem lässt sich festhalten, dass dieses neu entwickelte Verfahren eines spritzbaren Mulchmaterials eine vielversprechende Alternative zu konventionellen Verfahren des Beikrautmanagements darstellt.

Zusammenfassung

Beikräuter und Nutzpflanzen stehen in Nährstoff- und Wasserkonkurrenz. Je stärker der Beikrautbewuchs ist, desto mehr Wachstumsfaktoren können den Kulturpflanzen fehlen. Um diese Konkurrenz zu verringern, werden zum Beikrautmanagement im Obst- und Weinbau häufig Herbizide eingesetzt. Allerdings verlieren jedes Jahr mehr chemische Herbizide ihre Zulassung im Obst- und Weinbau, sodass der Bedarf nach Alternativen stetig steigt.

Aus diesem Grund wurde in diesem Vorhaben ein neues Verfahren mit einem spritzbaren Mulchmaterial auf Basis nachwachsender Rohstoffe entwickelt, das eine alternative Möglichkeit der Beikrautregulierung bietet. Ziele des Vorhabens waren die Entwicklung und der Machbarkeitsbeweis des Verfahrens. Außerdem wurden natürliche Substanzen auf ihre Beikraut regulierende Wirkung getestet.

Die ausgewählten natürlichen Substanzen wurden in vier Versuchsjahren im Weinbau getestet. Variiert wurden unter anderem der Applikationszeitpunkt und die -häufigkeit. Allerdings brachte keine der untersuchten Methoden eine signifikante Verbesserung verglichen mit der unbehandelten Kontrollvariante. Die verwendeten natürlichen Substanzen im untersuchten Ausbringverfahren stellen nach gegenwärtigem Stand keine Alternative zu konventionell etablierten Methoden zum Beikrautmanagement dar.

Basierend auf den Vorarbeiten zu einer aufspritzbaren Silageabdeckung wurde ein Mulchmaterial entwickelt, das flüssig ausgebracht werden kann, sich aber binnen Minuten verfestigt. Das Zwei-Komponenten-Gemisch basierend auf nachwachsenden Rohstoffen soll zu Beginn der Wachstumsperiode im Unterstockbereich ausgebracht werden und den Wuchs von Beikräutern hemmen. Nach der Vegetationsperiode soll sich das Material selbstständig biologisch abbauen. So wird verhindert, dass sich bodenfremde Rückstände anreichern.

Bei der Weiterentwicklung der Rezeptur war es wichtig, auf zügige Abbaubarkeit und Verträglichkeit mit der Umwelt zu achten. Die Inhaltsstoffe wurden auf die relevanten Eigenschaften wie Flexibilität, Reduzierung der Anfälligkeit gegenüber Schimmel sowie Beständigkeit gegen Witterungseinflüsse wie UV-Strahlung, Hitze einwirkung oder ergiebige Niederschläge angepasst. In unterschiedlichen Laborversuchen wurden die Art und Konzentration von Geliermittel, Gelierhilfsstoff, Verzögerer, Feuchthaltemittel und Konservierungsmittel angepasst. Alles in allem wurden mehr als 800 verschiedene Rezepturen erprobt und auf physikalische Eigenschaften wie Quellverhalten, Hitzebeständigkeit und Schrumpfneigung hin untersucht.

Neben den Untersuchungen zu physikalischen Eigenschaften wurden Versuche zur biologischen Abbaubarkeit nach der Vorschrift DIN EN ISO 17556 durchgeführt. Hierfür wurde ein Versuchsaufbau gewählt, der sehr eng an ein Respirometer der DIN-Vorschrift angelehnt war. Der Versuch zeigte, dass sich das Mulchmaterial unter diesen idealen Laborbedingungen innerhalb von drei Monaten stark abbaut. Zusätzlich wurden Rückstände von Einzelkomponenten wie Rapsöl im Boden aus dem Freiland untersucht. Hierfür wurden

eigens Methoden zur Extraktion von Rapsöl aus dem Boden und zur gaschromatografischen Detektion entwickelt. Die Untersuchungen zeigten keine Rückstände von Rapsöl im Erdreich unter dem Mulchmaterial.

Parallel zur Materialentwicklung wurde eine Applikationstechnik entwickelt und optimiert. Mit dem entwickelten Prototyp war es möglich, unterschiedliche Streifenbreiten und Schichtdicken auszubringen. Dadurch konnten reproduzierbare Versuche durchgeführt werden. Der Prototyp konnte schnell an den Drei-Punkt-Anbau eines Schleppers montiert werden und war daher sehr flexibel und universell einsetzbar. Die Abmessungen des Geräts waren für den Einsatz in den engen Fahrgassen im Weinbau ausgelegt. Die Volumina der Vorratstanks waren für die Versuche ausgelegt, sodass mit einer Behälterfüllung immer mindestens eine komplette Zeile in der längsten Variante behandelt werden konnte. Mit derselben Applikationstechnik war es auch möglich, kleinere Versuche im Gewächshaus durchzuführen.

Das entwickelte Mulchmaterial zeigte in allen Feldversuchen einen Beikraut regulierenden Effekt. Die Langzeitwirkung hing dagegen von einigen Faktoren ab, die vor allem die Haltbarkeit des Materials beeinflussten. Die Beschaffenheit des Untergrunds zeigte einen erheblichen Einfluss auf die resultierende Schichtdicke sowie auf die Beständigkeit. Auch die Witterung, insbesondere die Menge an Niederschlägen, beeinflusste die Qualität des Materials und damit den Beikraut regulierenden Effekt. In trockenen Jahren wurde die Mulchschicht deutlich langsamer abgebaut als in niederschlagsreichen Jahren. Maßgeblichen Einfluss auf die Wirkung zeigten auch die Schichtdicke sowie der Applikationszeitpunkt. In der Regel führte eine dickere Mulchschicht zu einer besseren Wirkung gegen Beikräuter. Eine spätere Applikation zeigte auch eine bessere und vor allem länger anhaltende Wirkung als die Aufbringung vor dem Auflaufen der Beikräuter. Die Wirkung des Mulchmaterials war aber an allen Standorten meist besser als eine einmalige Behandlung mit Herbizid oder einem mechanischen Verfahren.

In weiteren Untersuchungen wurde festgestellt, dass das Verfahren mit dem spritzbaren Mulchmaterial keine negativen Einflüsse auf das Bodenleben zeigte. Auch der Ernteertrag und die Ausbildung der Laubwand unterschieden sich bei den Parzellen mit dem Mulchmaterial nicht signifikant von den mit praxisüblichen Verfahren wie Herbizideinsatz und mechanischer Bodenbearbeitung behandelten Flächen. Zudem konnte in ersten Vorversuchen gezeigt werden, dass die Mulchmaterialschiicht die Austrocknung des Bodens verringern könnte.

Das neu entwickelte Verfahren zeigt grundsätzlich eine gute Wirkung gegenüber Beikräutern, allerdings muss das Verfahren für die Verwendung in der Praxis weiter optimiert werden. Da das Mulchverfahren laut Einschätzung des Bundesamts für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit nicht als Pflanzenschutzmittel nach der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 einzuordnen ist, könnte das Verfahren auch im Ökolandbau verwendet werden.

Quellenverzeichnis

- [1] ALI, A.; STREIBIG, J. C.; CHRISTENSEN, S.; ANDREASEN, C. (2015): Image-based thresholds for weeds in maize fields. *Weed Research*, Bd. 55, Nr. 1, S. 26–33
- [2] AMYNOVA POLYMERS® GMBH (2022): AMINOVA. 3 Seiten, Zwenkau: amynova polymers® GmbH, URL: <https://www.amynova.com/> (Stand: 08.12.2022)
- [3] ANDERT, S.; GEROWITT, B. (2020), Controlling arable weeds with natural substances as bio-based herbicides. In: NORDMEYER, H.; ULBER, L. (Hrsg.): 29. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 3.–5. März 2020, Braunschweig, Tagungsband. Julius-Kühn-Archiv, Nr. 464. Braunschweig: Julius-Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland (JKI), 516 Seiten, ISBN 978-3-95547-088-3, ISSN 1868-9892, S. 407–417
- [4] ABRAHAM, J.; BENHOTONS, G. S.; KRAMPAH, I.; TAGBA, J.; AMISSAH, C.; ABRAHAM, J. D. (2018): Commercially formulated glyphosate can kill non-target pollinator bees under laboratory conditions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, Bd. 166, Nr. 8, S. 695–702
- [5] BASELT, R. C. (2014): *Disposition of Toxic Drugs and Chemicals in Man*. 10. Auflage, Seal Beach, CA, USA: Biomedical Publications, 2.211 Seiten, ISBN 978-0-9626523-9-4
- [6] BELCHIM CROP PROTECTION DEUTSCHLAND GMBH (2019): Beloukha Produktprofil. 2 Seiten, Burgdorf: Belchim Crop Protection, URL: <https://www.belchim-agro.de/beloukha/> (Stand: 02.12.2022)
- [7] BIND-X GMBH (2022): URL: <https://bind-x.com/> (Stand: 08.12.2022)
- [8] Deutsche Bundesregierung; Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2012/2022): Gebrauch von Pflanzenschutzgeräten - § 15 des Pflanzenschutzgesetzes. In: Gesetz zur Neuordnung des Pflanzenschutzrechtes (Pflanzenschutzgesetz) vom 6. Februar 2012, das zuletzt durch Artikel 2, Absatz 15 des Gesetzes vom 20. Dezember 2022 (BGBl, Teil I, S. 2752) geändert worden ist. *Bundesgesetzblatt, Teil I, Band 2012, Nr. 7 vom 13. Februar 2012*, S. 148
- [9] BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT (BLV) (2023): Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel in Deutschland mit Informationen über beendete Zulassungen. Stand Januar 2023. 151 Seiten, URL: https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/psm_uebersichtsliste.pdf?__blob=publicationFile&v=36 (Stand: 23.05.2023)
- [10] CORDEAU, S.; TRIOLET, M.; WAYMAN, S.; STEINBERG, C.; GUILLEMIN, J. P. (2016): Bioherbicides: Dead in the water? A review of the existing products for integrated weed management. *Crop Protection*, Bd. 87, S. 44–49
- [11] COSTA, R.; SARAIVA, A.; CARVALHO, L.; DUARTE, E. (2014): The use of biodegradable mulch films on strawberry crop in Portugal. *Scientia Horticulturae*, Bd. 173, Nr. 6 (June), S. 65–70
- [12] BEI, R. DE; FUENTES, S.; GILLIHAM, M.; TYERMAN, S.; EDWARDS, E.; BIANCHINI, N.; SMITH, J.; COLLINS, C. (2016): VitiCanopy: A Free Computer App to Estimate Canopy Vigor and Porosity for Grapevine. *Sensors*, Bd. 16, Nr. 4, Art.-Nr. s16040585, S. 585–602

- [13] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2019): DIN EN ISO 17556 Bestimmung der vollständigen aeroben Bioabbaubarkeit von Kunststoffmaterialien im Boden durch Messung des Sauerstoffbedarfs in einem Respirometer oder der Menge des entstandenen Kohlenstoffdioxids (ISO 17556:2019); Deutsche Fassung EN ISO 17556:2019; September 2019, Berlin: Beuth, 35 Seiten
- [14] SCHROER, J.; LIPPS, J.; MEYER, G. (2011): Funktionsschicht einer Gebäudehülle, Gebäudehülle und Verfahren zum Herstellen einer Funktionsschicht, Offenlegungsschrift. Anmelder: Ewald Dörken AG, Anmeldedatum: 13.10.2009, Veröffentlichungsnummer: DE 10 2009 049 284 A1, Prioritätsdaten: 10 2009 033 005.4 02.07.2009, München: Deutsches Patent- und Markenamt, 22 Seiten
- [15] DUDAI, N., A.; POLJAKOFF-MAYBER, A.; MAYER, A. M.; PUTIEVSKY, E.; LERNER, H. R. (1999): Essential oils as allelochemicals and their potential use as bioherbicides. *Journal of Chemical Ecology*, Bd. 25, S. 1079–1089
- [16] DEUTSCHER WETTERDIENST, CLIMATE DATA CENTER (2021): Deutschlandwetter im Sommer 2021. 4 Seiten, Offenbach: DWD, URL: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2021/20210830_deutschlandwetter_sommer2021.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (Stand: 08.12.2022)
- [17] ENCALADA, K.; ALDÁS, M. B.; PROAÑO, E.; VALLE, V. (2018). An overview of starch-based biopolymers and their biodegradability. *Ciencia e Ingeniería*, Bd. 39, Nr. 3, S. 245–258
- [18] ENDRES, H.-J.; SIEBERT-RATHS, A. (2009): Technische Biopolymere. Rahmenbedingungen, Marktsituation, Herstellung, Aufbau und Eigenschaften. München: Carl Hanser, 645 Seiten, ISBN 978-3-446-41683-3
- [19] EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (2013): 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 Journal*, Bd. 11, Nr. 1, Art.-Nr. 3023, S. 1–62
- [20] EUROPÄISCHE KOMMISSION (2015): Durchführungsverordnung (EU) 2015/1108 der Kommission vom 8. Juli 2015 zur Genehmigung des Grundstoffs Essig gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Änderung des Anhangs der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 der Kommission, *Amtsblatt der Europäischen Union*, Bd. 58, L 181, S. 75–78
- [21] EUROPÄISCHE KOMMISSION (2019): Durchführungsverordnung (EU) 2015/1108 der Kommission vom 30. Januar 2019 zur Änderung der Durchführungsverordnungen (EU) 2015/1108 und (EU) Nr. 540/2011 hinsichtlich der Bedingungen für die Anwendung von Essig als Grundstoff, *Amtsblatt der Europäischen Union*, Bd. 62, Nr. L 27, S. 20–22
- [22] KOSAN, B.; MEISTER, F. (2006): EP 1 449 852 B1. Verfahren zur Herstellung von modifizierten Polysacchariden mit verbesserten hydrophoben Eigenschaften, Patentschrift. Patentinhaber: Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e. V., Rudolstadt. Prioritätsdaten: 08.02.2003, DE 10305144; Anmeldetag: 25.08.2004, Patentblatt 2004/35; Patenterteilung: 30.08.2006, Patentblatt 2006/35. München: Europäisches Patentamt, 8 Seiten
- [23] ROEDER, O.; REMMELE, E.; KIRCHHOFF, V.; BARTEL, R.; SCHWARZ, W. (2007): EP 1 998 955 B1. Abdeckmaterial für Biomasse und Verfahren zu dessen Herstellung, Patent-

- schrift. Patentinhaber: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München; Technologie- und Förderzentrum, Straubing. Prioritätsdaten: 30.03.2006, DE 102006014862; Anmeldetag: 25.01.2007, Patentblatt 2008/50; Patenterteilung: 29.06.2011, Patentblatt 2011/26. München: Europäisches Patentamt, 10 Seiten
- [24] 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), Laufzeit: 15.10.2008 bis 31.03.2012. Schlussbericht zum Vorhaben. Halle-Wittenberg: Zentrum für Umweltwissenschaften (UZU), S. 1–62
- [25] FORSTER, R.; KULA, C.; SCHUIERER, K. (2015): Der Wirkstoff Glyphosat in der Pflanzenschutzmittel-Zulassung – aktueller Stand. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, Bd. 10, Nr. 3 (September), S. 235–240
- [26] 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
- [27] MENGONI GOÑALONS, C.; FARINA, W. M. (2018): Impaired associative learning after chronic exposure to pesticides in young adult honey bees. *The Journal of Experimental Biology*, Bd. 221, Nr. 7, Art.-Nr. jeb176644, S. 1–8
- [28] GRANATSTEIN, D.; KIRBY, E.; VANWECHEL, L. (2003): Suitability of Spray on Mulch for In-row Weed Control for Organically grown Row Crops in Central Washington 2002. WSU Extension ANR, Report, ID-Nr. 99900631030901842. Pullman, WA, USA: Washington State University, 17 Seiten
- [29] GUYTON, K. Z.; LOOMIS, D.; GROSSE, Y.; EL GHISSASSI, F.; BENBRAHIM-TALLAA, L.; GUHA, N.; STRAIF, K. (2015). Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. *The Lancet Oncology*, Bd. 16, Nr. 5, S. 490–491
- [30] 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: Staatliche Forschungsanstalt für Gartenbau Weihenstephan (FGW); Forschungsgemeinschaft Biologisch Abbaubare Werkstoffe e.V. (FBAW), 94 Seiten, <https://doi.org/10.2314/GBV:620139323> (Stand: 08.12.2022)
- [31] HERBSTREITH & FOX PEKTIN-FABRIKEN (2006): Konfitüren und andere Fruchtaufstriche. 2. Aufl. Herbstreith & Fox Pektin-Fabriken (Hrsg.). Neuenbürg/Württemberg, 74 Seiten
- [32] HODGE S.; MERFIELD C. N.; BLUON A.; BERRY, N. A.; O'CONNELL, D. M. (2019), The potential of culinary vegetable oils as herbicides in organic farming: the effect of oil type and repeated applications on plant growth. *Organic Agriculture*, Bd. 9, Nr. 1, S. 41–51

- [33] HOLZKNECHT, E. M. (2021): Evaluierung von natürlichen Substanzen auf ihre herbizide Wirkung für den Unterstockbereich im Obst- und Weinbau, Masterarbeit. Wien: Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Department für Nutzpflanzenwissenschaften (DNW), Institut für Pflanzenschutz, 91 Blätter
- [34] INTERNATIONALE GEOTEXTIL GMBH, Homepage der Firma, 8 Seiten, Twistring: IGG GmbH, URL: <https://www.igg.de/>, (Stand: 08.12.2022)
- [35] IZADI-DARBANDI E.; ALIVERDI, A.; HAMMAMI, H. (2013): Behavior of vegetable oils in relation to their influence on herbicides' effectiveness. *Industrial Crops and Products*, Bd. 44, Nr. 1 (January), S. 712–717
- [36] 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*, Bd. 4, Nr. 11, S. 1070–1075
- [37] KÄSTNER, A.; JÄGER, E. J.; SCHUBERT, R. (2001/2013): *Handbuch der Segetalpflanzen Mitteleuropas*. Berlin: Springer-Verlag, 615 Seiten, ISBN 978-3-7091-7258-2/978-3-211-83562-3
- [38] 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
- [39] KURZWEIL, P. (2020): *Chemie: Grundlagen, technische Anwendungen, Rohstoffe, Analytik und Experimente*. 11., überarb. u. erw. Auflage, Wiesbaden: Springer Vieweg, 377 Seiten, ISBN 978-3-658-27502-0
- [40] DEUTSCHER BUNDESTAG (2022): Bundesregierung begründet Verbot von Glyphosat. Ernährung und Landwirtschaft – Antwort. Kurzmeldungen, Heute im Bundestag (hib) Nr. 100/2022 vom 10.03.2022. Hrsg.: Deutscher Bundestag – Parlamentsnachrichten, 1 Seite, Berlin, URL: <https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-883606> (Stand:08.12.2022)
- [41] LANINI, T. W. (2011): *Organic Herbicides – do they work?*, University of California, Department of Plant Sciences, UC Davis. UCNFA News, 11 Seiten, URL: <https://jhbiotech.com/docs/UC-Evaluation-of-Weed-Zap.pdf> (Stand: 08.12.2022)
- [42] LEDERER, B.; FUJIMORI T.; TSUJINO Y.; WAKABAYASHI K.; BÖGER, P. (2004): Phytotoxic activity of middle-chain fatty acids II: Peroxidation and membrane effects. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, Bd. 80, Nr. 3 (November), S. 151–156
- [43] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL), INSTITUT FÜR PFLANZENSCHUTZ (2022): Unkrautbekämpfung mit Essig oder Salz – grundsätzlich nicht erlaubt. 2 Seiten, Freising-Weißenstephan, URL: <https://www.lfl.bayern.de/ips/recht/194773/index.php> (Stand: 12.12.2022)
- [44] MARBURGER, A. (2003): *Alginate und Carrageenane – Eigenschaften, Gewinnung und Anwendungen in Schule und Hochschule*. Dissertation. Marburg: Philipps-Universität Marburg, Fachbereich Chemie, 432 Seiten

- [45] MÜLLER, T.; BRANCO, B.; MILIUS, A.; OKORI, N.; VAILLE, C.; GAUVRIT, C. (2002): Ethoxylated rapeseed oil derivatives as novel adjuvants for herbicides. *Pest Management Science*, Bd. 58, Nr. 12, S. 1243–1249
- [46] NASE, M.; SCHAWALLER, D.; HEINZE M.; HERFORT, S. (2016): Verbundvorhaben: Entwicklung einer neuartigen biologisch abbaubaren Mulchfolie mit einstellbarer biologischer Abbauphase. Teilvorhaben 1: Entwicklung und Prüfung – Akronym: Biomulchfolie, FKZ 22035414; Teilvorhaben 2: Herstellung Compounds – Akronym: Biomulchfolie 22026915, Teilvorhaben 3: Herstellung Mulchfolie – Akronym: Biomulchfolie 22029215, und Teilvorhaben 4: Prüfung der biologischen Abbaubarkeit – Akronym: Biomulchfolie 22026815. Hof, Ilsfeld, Südliches Anhalt, Berlin: Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hof, Institut für Materialwissenschaften, TECNARO Gesellschaft zur industriellen Anwendung nachwachsender Rohstoffe mbH, POLIFILM EXTRUSION GmbH, Verein zur Förderung agrar- und stadtoökologischer Projekte (ASP) e. V. – Institut für Agrar- und Stadtoökologische Projekte, TV 1: 52 Seiten, TV 2: 64 Seiten, TV 3: 48 Seiten, TV 4: 49 Seiten
- [47] ORGANIC MATERIALS REVIEW INSTITUTE (OMRI) (2022): Produktliste für die zugelassene Verwendung in Übereinstimmung mit den U.S. Nationalen biologischen Programm (NOP) Standards, 12.12.2022 OMRI Products List – Crop Products by Category. 108 Seiten, Eugene, OR, USA, URL: https://www.omri.org/sites/default/files/opl_pdf/CropByCategory-NOP.pdf (Stand: 02.12.2022)
- [48] PANNACCI, E.; KOPP, P.; MATHIASSEN, S.; KUDSK, P. (2010): Effect of adjuvants on the rainfastness and performance of tribenuron-methyl on broad-leaved weeds. *Weed Biology and Management*, Bd 10, Nr. 2, S. 126–131
- [49] PÉRONNE, D. (2016): Une bâche comestible. *La France Agricole*, Bd. 71, Nr. 3665, S. 35
- [50] PICHON, L.; TAYLOR, J.; TISSEYRE, B. (2020): Using smartphone leaf area index data acquired in a collaborative context within vineyards in southern France. *OENO One*, Bd. 54, Nr. 1, S. 123–130
- [51] POEHLING, H.; STECK, M. (2015): Verbundvorhaben: Entwicklung einer biologisch abbaubaren, sprühfähigen Mulchfolie aus NaWaRos zur Steigerung der Nachhaltigkeit beim integrierten Pflanzenschutz von intensiven gartenbaulichen Freilandkulturen. Teilvorhaben 1 Optimierung der optischen Eigenschaften, Parzellenversuche, FKZ 22008214, Teilvorhaben 2: Prüfung der technischen Eigenschaften – Akronym: Spruehmulchfolie, 22014815, Hannover, Ulm: Leibniz Universität Hannover, Heinrich Glaeser Nachf. GmbH, TV 1 84 Seiten, TV 2 84 Seiten
- [52] RADHAKRISHNAN, J.; TEASDALE, J.; COFFMAN, C. (2002): Vinegar as a potential herbicide for organic agriculture, Abstract, Proceedings of the Northeastern Weed Science Society, Publication #127787 Publication Date: 1/7/2002. 1 Seite, Washington, D. C.: United States, Department of Agriculture (USDA); Agricultural Research Service (ARS), URL: <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=127787> (Stand: 02.12.2022)
- [53] RECKLEBEN, Y. (2016): Entwicklung und Erprobung eines Prototyps zur großflächigen Ausbringung von Stärkeschaum auf Fahrsilos. Abschlussbericht – Kurzfassung zum Abschlussbericht. Osterrönnfeld: Fachhochschule Kiel, Fachbereich Agrarwirtschaft, Fachbereich Agrarwirtschaft, Fachgebiet Landtechnik, 11 Seiten
- [54] 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
- [55] REINEKE, W.; SCHLÖMANN, M. (2020): Umweltmikrobiologie, 3. Aufl. Heidelberg: Springer Verlag, 647 Seiten, ISBN 978-3-662-59654-8
- [56] ROSS, J. (1981): The radiation regime and architecture in plant stands. Tasks for vegetation sciences, Nr. 3. Den Haag: Verlag Dr. W. Junk, 391 Seiten, ISBN 9789400986497
- [57] RÖDER, O.; REMMELE, E.; GASSNER, T. (2007): Entwicklung einer Siloabdeckung aus verfütterbaren Rohstoffen, Abschlussbericht für das Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 73 Seiten, unveröffentlicht
- [58] SAMSEL, A.; SENEFF, S. (2015): Glyphosate, pathways to modern diseases III: Manganese, neurological diseases, and associated pathologies. Surgical Neurology International, Bd. 6, Art.-Nr. 45, S. 1–26
- [59] SAVAGE, S.; ZORNER, P. (1996): The use of pelargononic acid as a weed management tool. In: CALIFORNIA WEED SOCIETY (Hrsg.): Theme: The winds of change: seeds of opportunity. Tribute to Howard Rhoads. Proceedings of the 48th Annual Conference, Januar 1996, Sacramento, CA. St. Monica, CA: California Weed Society, S. 46–47
- [60] SCHINDELIN, J.; ARGANDA-CARRERAS, I.; FRISE, E.; KAYNIG, V.; LONGAIR, M.; PIETZSCH, T.; PREIBISCH, S.; RUEDEN, C.; SAALFELD, S.; SCHMID, B.; TINEVEZ, J.-Y.; WHITE, D. J.; HARTENSTEIN, V.; ELICEIRI, K.; TOMANCAK, P.; CARDONA, A. (2012), Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. Nature Methods, Bd. 9, Nr. 7, S. 676–682
- [61] 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), 227 Seiten, ISSN 1614-1008
- [62] 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), 143 Seiten, ISSN 1614-1008
- [63] SOMMER, I. (2012): Entwicklung und Charakterisierung von Schutzfolien aus nachwachsenden Rohstoffen. Dissertation. Halle-Wittenberg: Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Zentrum für Ingenieurwissenschaften, 115 Seiten
- [64] STEINMANN, HH., DICKEDUISBERG, M., THEUVSEN, L. (2012): Uses and benefits of glyphosate in German arable farming. Crop Protection, Bd. 42, Nr. 12, S. 164–169
- [65] STRABLEGG-LEITNER, R. (2017): Beloukha® – Nachhaltige Unkrautkontrolle unter sich verschärfenden Rahmenbedingungen. Österreichische Arbeitsgemeinschaft für integrierten Pflanzenschutz (ÖAIP) (Hrsg.): 58. Österreichische Pflanzenschutztage, Wirtschaftsförderungsinstitut Niederösterreich, St. Pölten, 28.–29.11. Eisenstadt: ÖAIP, S. 1–40
- [66] STRUB, L.; LOOSE, S. (2021): Was kostet der Weinbau? Der deutsche Weinbau, Bd. 76, Nr. 8, S. 34–40

- [67] STEINHUBER, L.; KIRCHINGER, M.; RÜGER, J.; VOGL, T. ET AL. (2022): Beikrautunterdrückung im Feldgemüsebau mit einem spritzbaren Zweikomponenten-Mulchmaterial auf Basis Nachwachsender Rohstoffe "MuNaRo" (Abschlussbericht DBU)
- [68] STENKEL, K., MEISTER, F. (2015): Entwicklung biologisch abbaubarer, sprühfähiger Flüssigsilofolie auf Polysaccharidbasis zur Konservierung und Lagerung von landwirtschaftlichen Produkten. Projektnummer: BMWi ZIM KF2099117CJ2, Laufzeit: 01.01.2013–31.03.2015. Rudolstadt: Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung Rudolstadt e. V., 2 Seiten, URL: <https://www.titk.de/forschung/abgeschlossene-forschungsvorhaben/abgeschlossene-forschungsvorhaben-2015/kf2099117cj2-stengel/> (Stand: 12.04.2023)
- [69] WEBBER, C. L.; TAYLOR, M. J.; SHREFLER, J. W. (2014): Weed Control in Yellow Squash using sequential postdirected applications of pelargonic acid. *HortTechnology*, Bd. 24, Nr. 1, S. 25–29
- [70] THIEL, A.; FLIEGER, A.-K.; NASE, M. (2020): Entwicklung einer neuartigen biologisch abbaubaren Mulchfolie mit einstellbarer biologischer Abbauphase. Teilvorhaben 1: Entwicklung und Prüfung. Förderkennzeichen: 22035414, Laufzeit: 01.07.2016 - 30.06.2019, Stand: 22.01.2020. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hof, Institut für Materialwissenschaften, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hrsg.), Hof, Bonn, 52 Seiten
- [71] TØNNESEN, H. H.; KARLSEN, J. (2002): Alginate in drug delivery systems. *Drug development and industrial pharmacy*, Jg. 28, Nr. 6, S. 621–630
- [72] TROOST, G. (1988). *Handbuch der Lebensmitteltechnologie – Technologie des Weines*. 6. Aufl. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 995 Seiten, ISBN 978-3-8001-5816-4
- [73] TWORKOSKI, T. (2002) Herbicide effects of essential oils. *Weed Science*, Bd. 50, Nr. 4, S. 425–431
- [74] UHL, A.; WEINFURTNER, S.; BRÜCKNER, S.; WEINERT, A.-T; RÖBL, G.; ETTLE, T. ET AL. (2011): Entwicklung einer Siloabdeckung aus Nachwachsenden Rohstoffen. Projektpartner: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Grub; Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik, Straubing. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ). *Berichte aus dem TFZ*, Nr. 27, 169 Seiten, ISSN 1614-1008
- [75] VANBRUGGEN, A. H. C.; HE, M. M.; SHIN, K.; MAI, V.; JEONG, K. C.; FINCKH, M. R.; MORRIS JR, J. G. (2018). Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Science of the Total Environment*, Bd. 616–617, S. 255–268
- [76] WATTS, M.; CLAUSING, P.; LYSSIMACHOU, A.; SCHÜTTE, G.; GUADAGNINI, R.; MARQUEZ, E. (2018): *Glyphosate – Glyphosate monograph*. October 2016. Last updated: March 29, 2018. Penang, Malaysia: Pesticide Action Network (PAN), 96 Seiten
- [77] WEBER, C. (2003): *Folien aus biologisch abbaubaren Werkstoffen für den Einsatz im Gemüsebau*. Endbericht für FNR, BMVEL, FKZ 22015899, Stand: November 2003. Hannover: Institut für Technik im Gartenbau und Landwirtschaft (ITG), 130 Seiten, <https://doi.org/10.2314/GBV:492147752>
- [78] WEBBER, C. L.; HARRIS, M. A.; SHREFLER, J. W.; DURNOVA, M.; CHRISTOPHER, C. A. (2005): Vinegar as an organic burn-down herbicide. In: BRANDENBERGER, L. (Hrsg.): *Safe and Secure Food Begins on the Farm*. Proceedings of the 24th Annual Horticulture Industries Show, 14.–15. January, Holiday Inn Civic Center, Fort Smith, AR.

- Stillwater, OK: Department of Horticulture and Landscape Architecture, Oklahoma State University, S. 168–172
- [79] WEINMANN, E. (2019): Zeitbedarf und Kostenkalkulationen. In: WEINMANN, E.: Aktuelle Verfahren zur mechanischen Bodenbearbeitung im Unterstockbereich im Weinbau – Wirksamkeit gerätetechnischer Neuentwicklungen. ATW-Bericht, Nr. 184. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., Ausschuss für Technik im Weinbau (ATW), S. 24–25
- [80] SCHALLER, J.; STENGEL, K.; MEISTER, F.; RIEDE, S. (2013): Flüssig anwendbare multifunktionale Beschichtungsfilme. Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 2013/143696 A1, Anmelder: Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e. V., Rudolstadt. Internationales Anmeldedatum: 27. März 2013, internationales Veröffentlichungsdatum: 3. Oktober 2013, internationales Aktenzeichen: PCT/EP20 13/000930, Prioritätsdaten: 10 2012 006 171.4 – 28. März 2012. Genf: Weltorganisation für geistiges Eigentum (WIPO – PCT), 34 Seiten
- [81] SCHALLER, J.; STENGEL, K.; MEISTER, F.; SCHÖBITZ, M.; RIEDE, S. (2015): Zusammensetzung für flüssig anwendbare multifunktionale Beschichtungsfilme. Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 2015/044293 A1, Anmelder: Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e. V., Rudolstadt. Internationales Anmeldedatum: 25. September 2014, internationales Veröffentlichungsdatum: 2. April 2015, internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/070532, Prioritätsdaten: 10 2013 110 737.0 – 27. September 2013. Genf: Weltorganisation für geistiges Eigentum (WIPO – PCT), 25 Seiten

Anhang

Anhang 1: Versuchsbeschreibungen

LWG Veitshöchheim Weinbau

Die Versuchsfläche von 5.000 m² befand sich auf dem LWG-Versuchsstandort „Thüngersheimer Ravensburg“ in Thüngersheim, Bayern. Die Weinreben (*Vitis vinifera* L.), Sorte „Silvaner“, auf der Unterlage SO4, wurden 2016 in einem Abstand von 2,00 × 1,20 m Standweite gepflanzt. Die Rebzeilen sind nach Südsüdwest ausgerichtet. Die durchschnittliche Hangneigung der Versuchsfläche beträgt 35 Prozent. Die Reberziehung der Versuchsanlage erfolgt mit Flachbogen im Spalier. In jeder zweiten Fahrgasse wurde die Wildblumen-Mischung „Muschelkalk“ als Dauerbegrünung eingesät. Diese wurde jährlich im Frühjahr einmal gemäht. Die vorjährigen Unterstockbodenbearbeitungen waren ausschließlich mechanisch und frei von Glyphosat und anderen chemischen Herbiziden. Weitere Details der Versuche sind im Anhang zu lesen.

Lage: Thüngersheimer Ravensburg

Höhe: 280 m über N.N.

Exposition: SSW

Bodenart: toniger Lehm (Lt 2)

Sorte: Silvaner Klon Wü 92

Unterlage: SO4

Pflanzjahr: 2016

Zeilenbreite: 2,0 m

Stockabstand: 1,2 m

Standraum: 2,4 m²

Erziehungsart: Flachbogen

Anschnitt: 3 Augen * m²

Zeilenrichtung: NNO–SSW

LWG Veitshöchheim Obstbau

Interreg-Versuch

Kultur: Apfel

Sorte: Pinova

Pflanzjahr: Dez. 2020

Pflanzabstand: 1m

Bewässerung: Tröpfchenbewässerung

Behandlungen: Herbst/Winter 2021 → einmalige Überfahrt mit Ladurner, ansonsten keine Bodenbearbeitung

Versuchsdesign: nur eine Variante mit Sprühmulch, drei Wiederholungen

Parzellengröße: 16 Bäume

Versuch Untersuchung unterschiedlicher Mulchmaterialien:

Kultur: Apfel

Sorte: Tramin + Gräfin Goldach

Pflanzjahr: 2020 März

Pflanzabstand: 1 m

Bewässerung: Tröpfchenbewässerung

Behandlungen: Handhacke kurz vor der Ausbringung im Frühjahr, ansonsten keine Behandlung

Versuchsdesign: nur eine Variante mit Sprühmulch, vier Wiederholungen

Parzellengröße: vier Bäume

KOB Bavendorf

Sorte: Elstar PCP

Pflanzjahr: 2020

Pflanzabstand: 3,2 × 0,8 m

Standort: KOB Bavendorf

Meereshöhe: 470–500 m

Bewässerung: Tropfbewässerung → 2022 nicht gelaufen

Herbizidbehandlung: Roundup, 5 l/ha, Termine: 20.05.2021, 14.06.2021

Versuchszentrum Laimburg

Weinertragsanlage:

Sorte: Lagrein

Pflanzjahr: 2000

Pflanzabstand: 1,8 × 0,9 m

Standort: Kaltern

Meereshöhe: 300 m

Bewässerung: Tröpfchenbewässerung

Apfelertragsanlage:

Sorte: Granny Smith

Pflanzjahr: 2013

Pflanzabstand: 3,2 × 0,8 m

Standort: VZ Laimburg

Meereshöhe: 200 m

Bewässerung: Oberkronen- und Tropfbewässerung

Weinjunganlage:

Sorte: Chardonnay

Pflanzjahr: 2022

Pflanzabstand: 2,00 × 0,83 m

Standort: VZ Laimburg

Meereshöhe: 200 m

Bewässerung: Tröpfchenbewässerung

Apfeljunganlage:

Sorte: Golden Delicious

Pflanzjahr: 2022

Pflanzabstand: 3,1 × 0,8 m

Standort: VZ Laimburg

Meereshöhe: 200 m

Bewässerung: Oberkronen- und Tropfbewässerung

Herbizidbehandlung in den Ertragsanlagen:

Silglic ST (Adama) + Adimel Gold (De Sangossa) (1 l/hl + 25 ml/hl)

Termin: 22.03.2022

Mechanische Bodenbearbeitung in den Ertragsanlagen:

Bürste (BioSystem Serie BSI [Aedes]) bzw. Kreiselegge Krümler Modell 7F (Ladurner)

Termin: 22.03.2022

Herbizidbehandlung in den Junganlagen:

Tachdown (Syngenta) + Adimel Gold (De Sangossa) (1 l/hl + 25 ml/hl)

Termin: 27.06.2022

Mechanische Bodenbearbeitung in den Junganlagen:

Kreiselegge (Krümler Modell 7F [Ladurner])

Termin: 24.06.2022

Anhang 2: Ergebnisse Bodenbedeckungsgrad der nicht aufgeführten Standorte

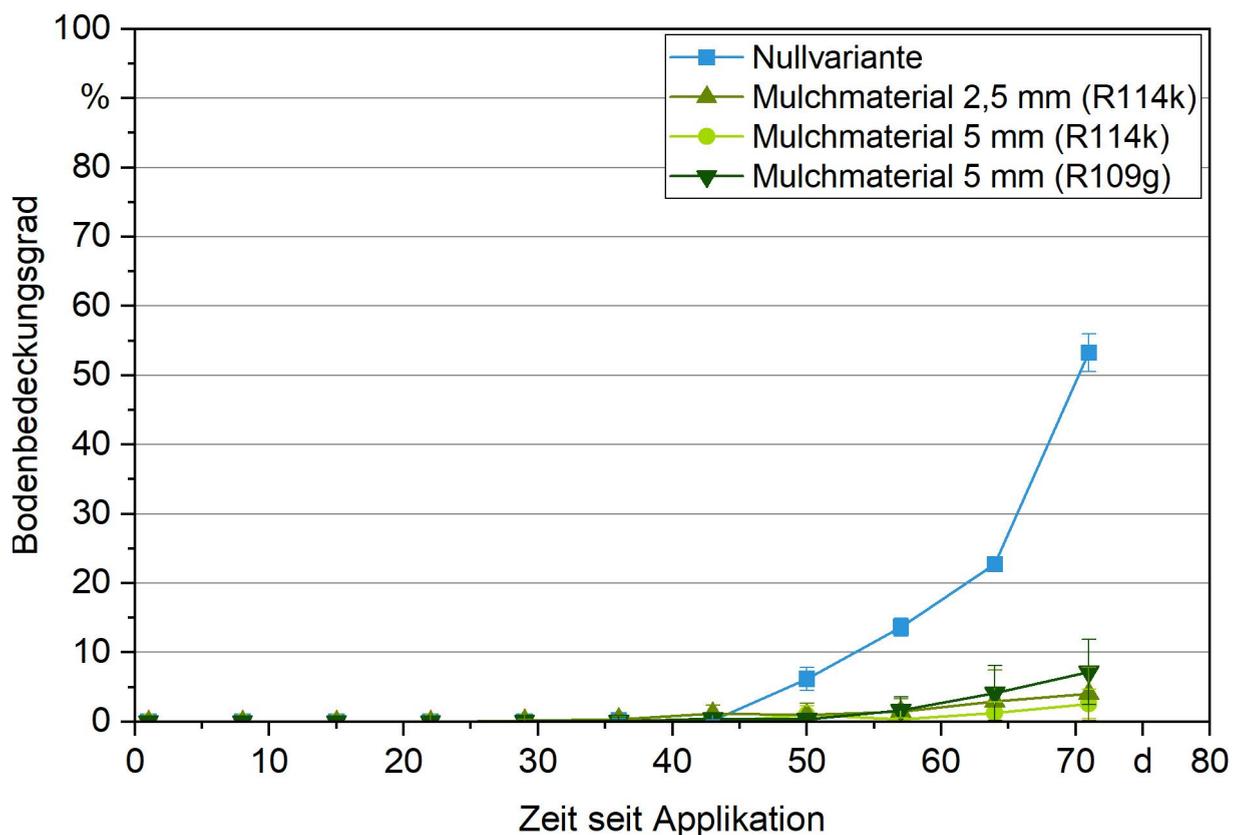


Abbildung 78: Bodenbedeckungsgrad der unbehandelten Kontrolle und der Mulchmaterialvariante (MW \pm STD, n = 3) am Standort Straubing 2020

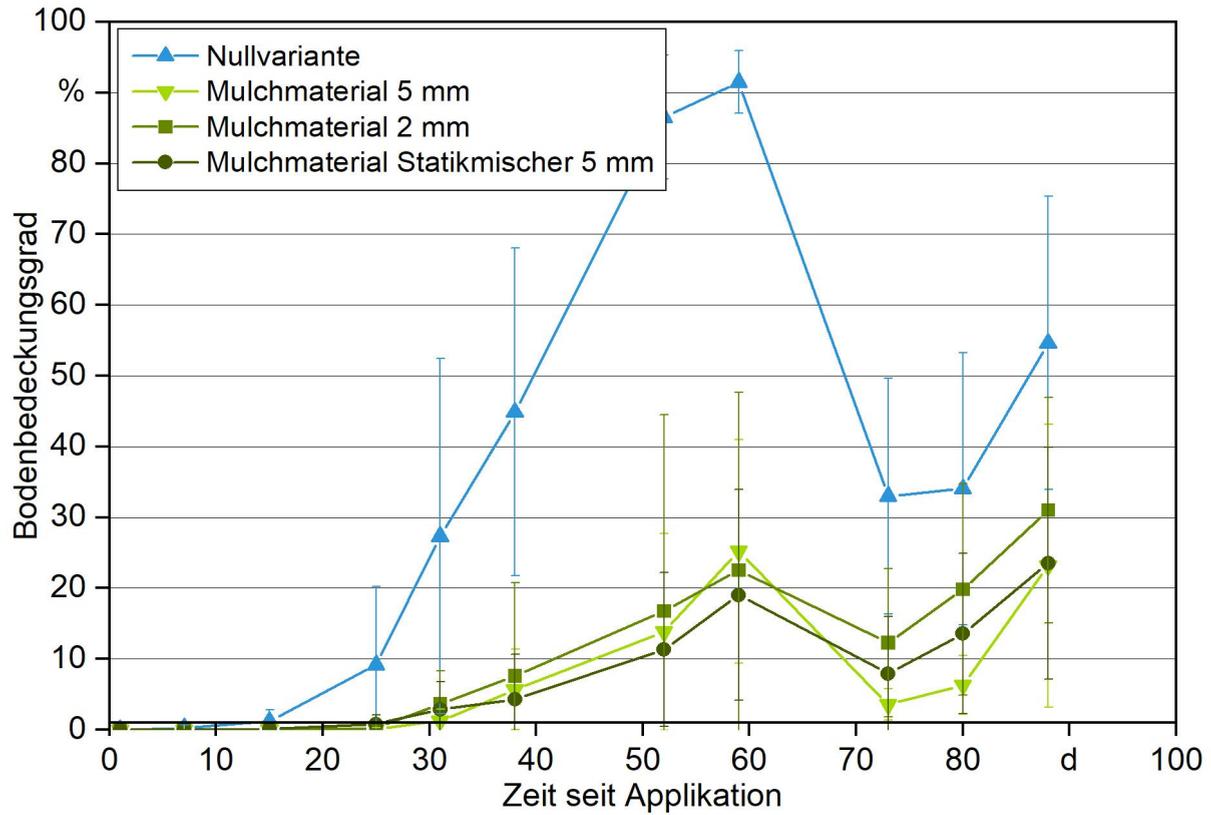


Abbildung 79: Bodenbedeckungsgrad der unbehandelten Kontrolle und der Mulchmaterialvariante (MW \pm SEM, n = 4) am Standort Straubing 2021

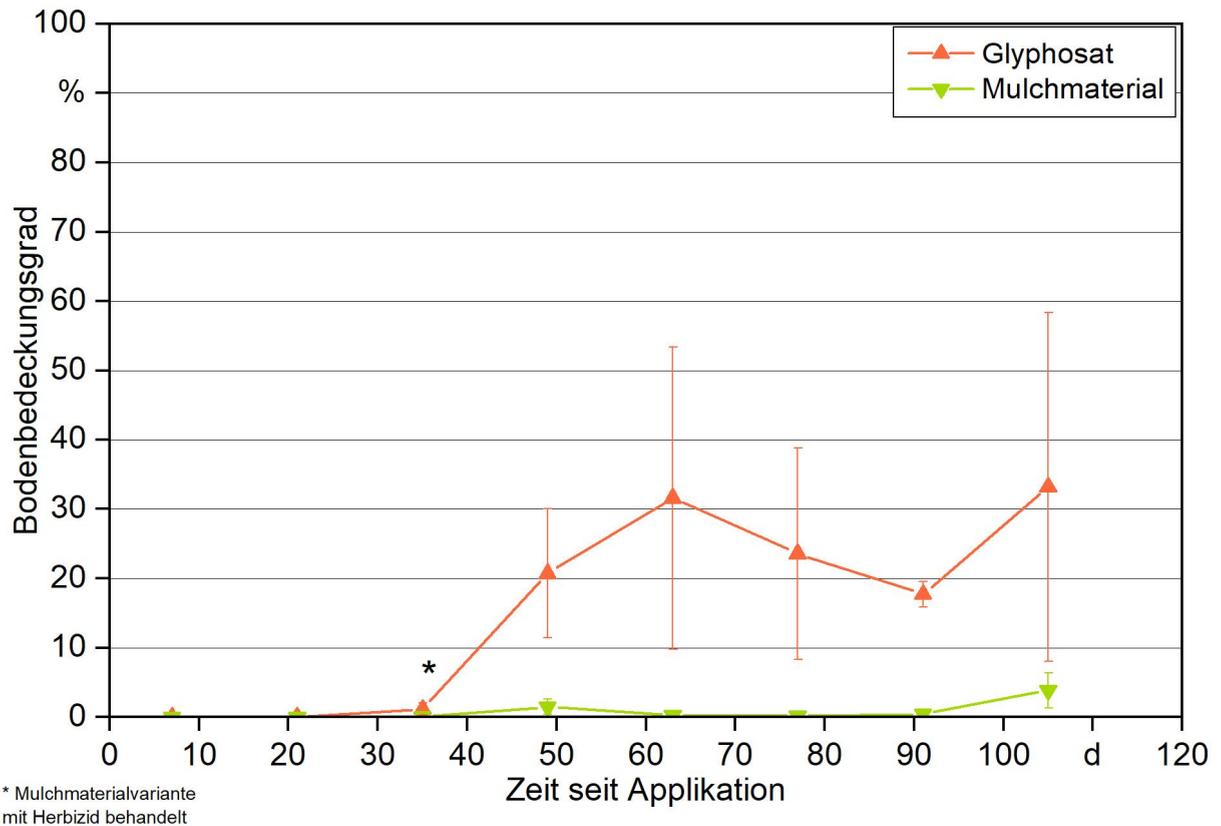


Abbildung 80: Bodenbedeckungsgrad ($MW \pm SEM$, $n = 4$) der Herbizidvariante und der Mulchmaterialvariante einer Apfelanlage am HSWT-Standort Schlachters 2021

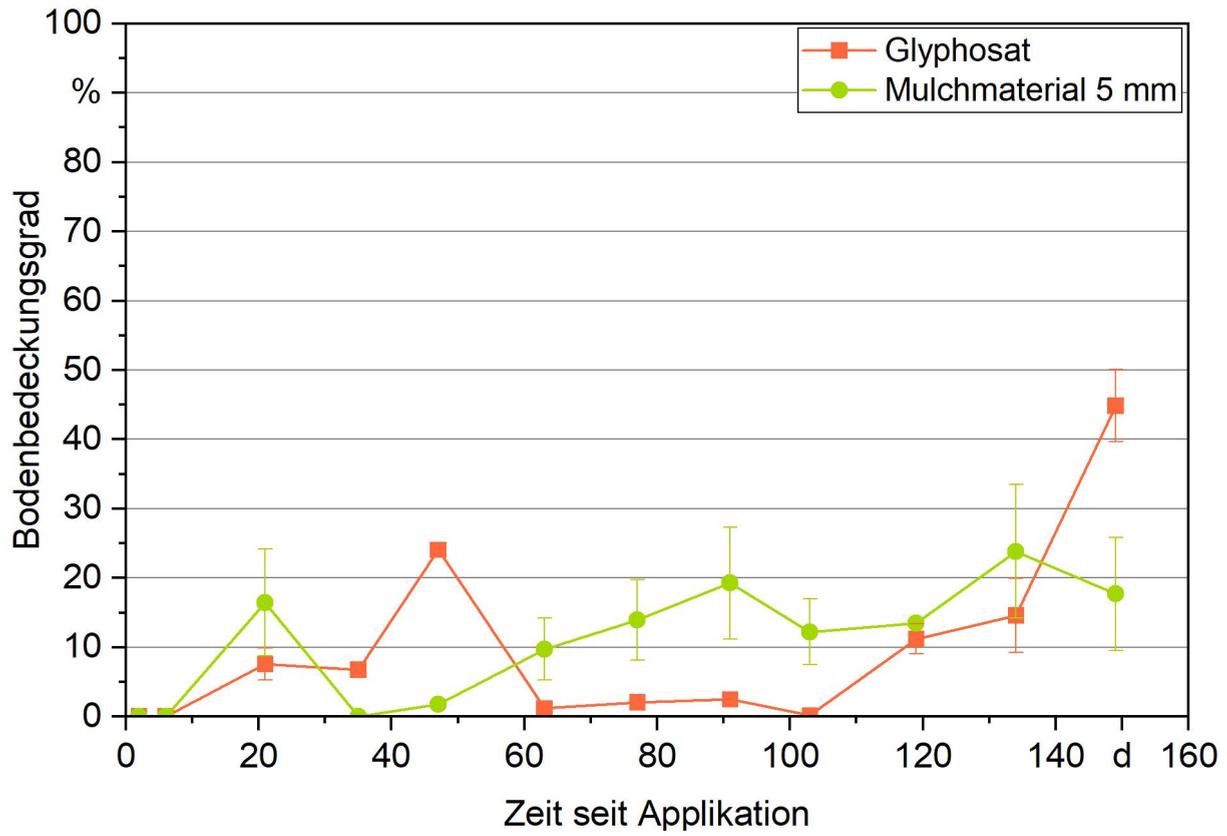


Abbildung 81: Bodenbedeckungsgrad ($MW \pm SEM$, $n = 4$) der Herbizidvariante und der Mulchmaterialvariante einer Apfelanlage am HSWT-Standort Schlachters 2022

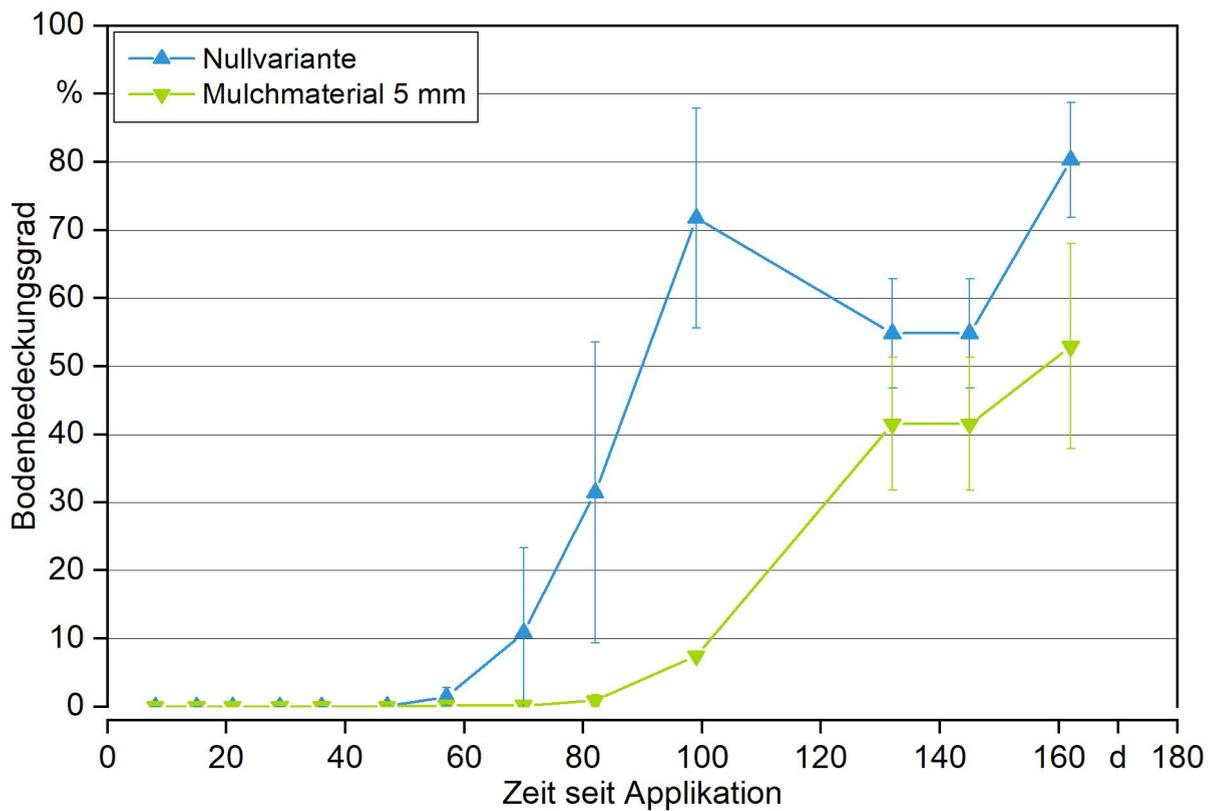


Abbildung 82: Bodenbedeckungsgrad ($MW \pm SEM$, $n = 4$) der Nullvariante und der Mulchmaterialvariante einer Apfelanlage am LWG-Standort Thüngersheim 2021

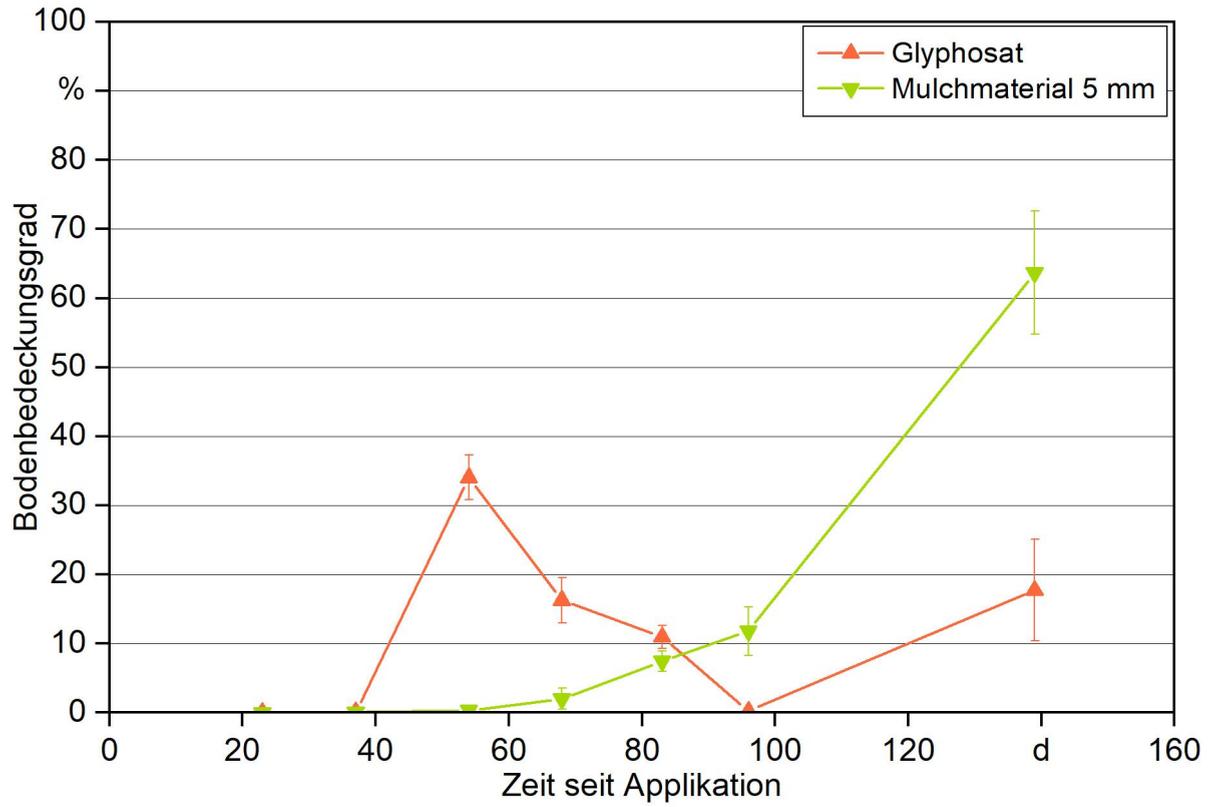


Abbildung 83: Bodenbedeckungsgrad ($MW \pm SEM$, $n = 4$) der Herbizidvariante und der Mulchmaterialvariante einer Apfelanlage am KOB-Standort Bavendorf 2021

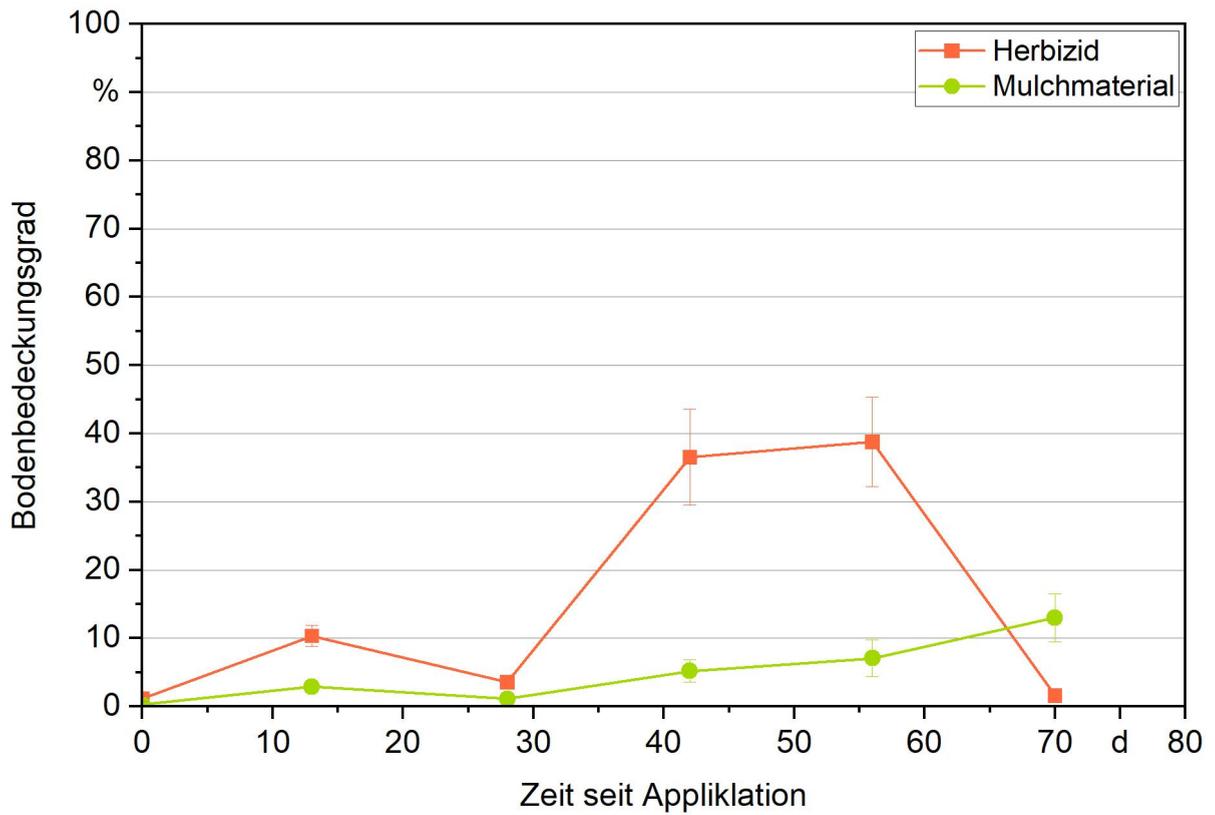


Abbildung 84: Bodenbedeckungsgrad ($MW \pm SEM$, $n = 4$) der Herbizidvariante und der Mulchmaterialvariante einer Apfelanlage am KOB-Standort Bavendorf 2022

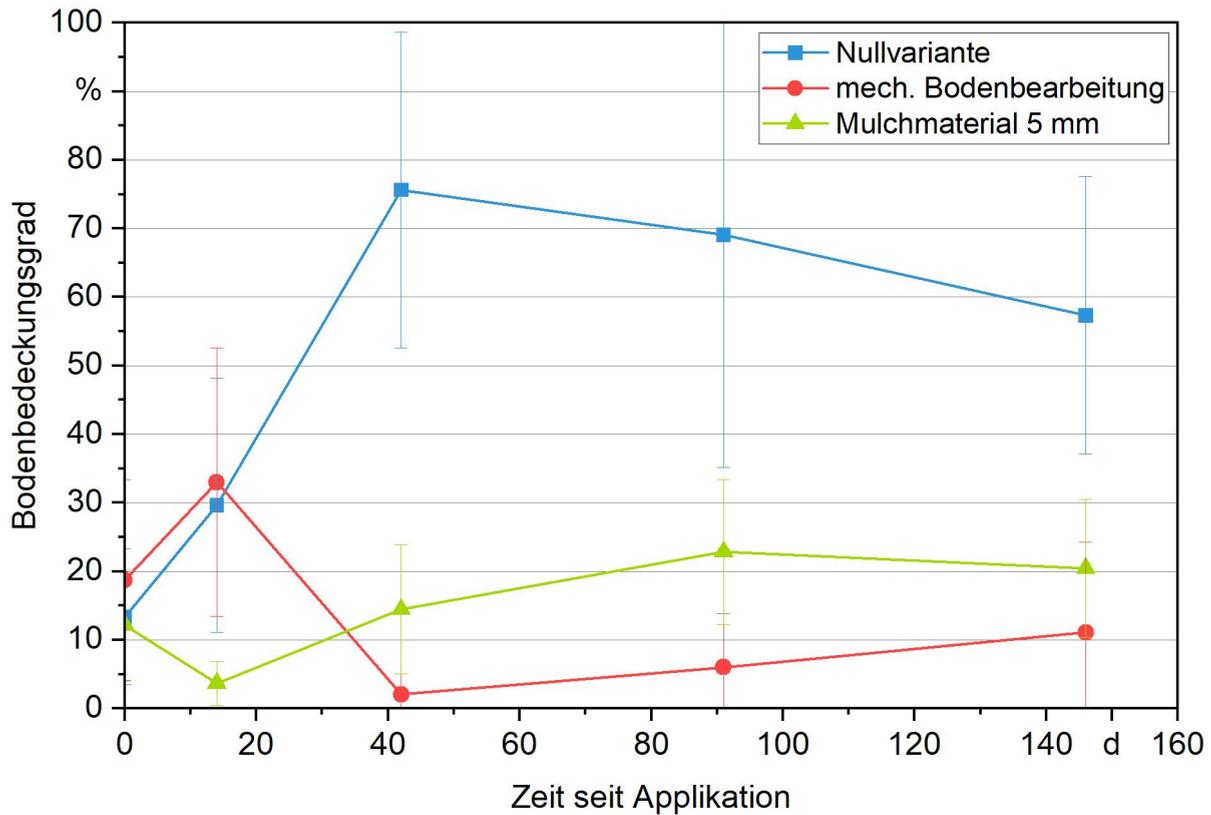


Abbildung 85: Bodenbedeckungsgrad ($MW \pm STD$, $n = 4$) der Nullvariante, mechanischen Bodenbearbeitung und der Mulchmaterialvariante einer Zwetschgenanlage am Standort Haschhof in Österreich 2022

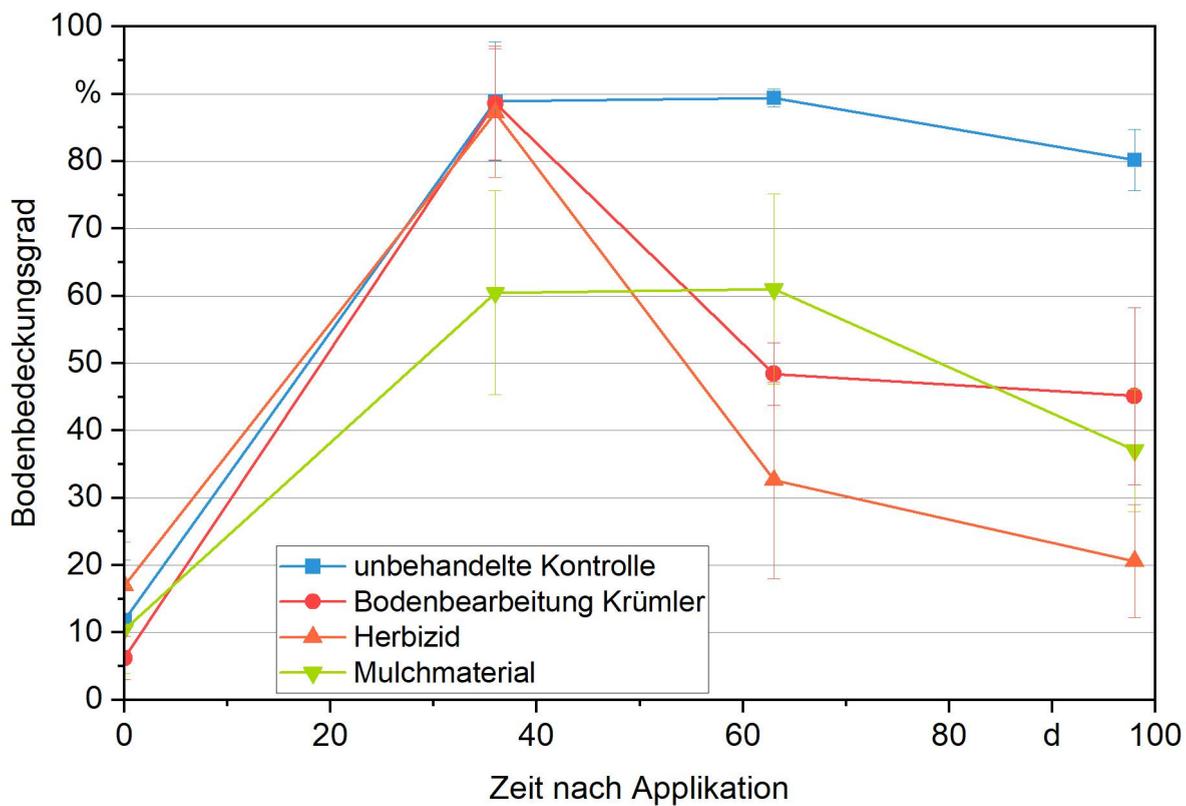


Abbildung 86: Bodenbedeckungsgrad ($MW \pm SEM$, $n = 4$) der unbehandelten Kontrolle, mechanischen Bodenbearbeitung, Herbizidvariante und der Mulchmaterialvariante am Standort Laimburg in einer Weinjunanlage 2022

Anhang 3: Tabelle der Beikrautarten am Standort Thüngersheimer Ravensburg

Tabelle 17: Übersicht aller Beikräuter in den Versuchsjahren 2021 und 2022 am Standort Thüngersheimer Ravensburg

Deutscher Pflanzenname	Lateinischer Pflanzenname
Ackerährenpreis	<i>Veronica agrestis</i>
Acker-Klettenkerbel	<i>Torilis arvensis</i>
Ackerkratzdistel	<i>Cirsium arvense</i>
Ackerwinde	<i>Convolvulus arvensis</i>
Amarant	<i>Amaranthus retroflexus</i>
Doldenhabichtskraut	<i>Hieracium umbellatum</i>
Espарsette	<i>Onobrychis viciifolia</i>
Färberwaid	<i>Isatis tinctoria</i>
Gänsefingerkraut	<i>Argentina anserina</i>
Gekielter Feldsalat	<i>Valerianella carinata</i>
Gelbkleee	<i>Medicago lupulina</i>
Gemeiner Erdrauch	<i>Fumaria officinalis</i>
Gewöhnliche Quecke	<i>Elymus repens</i>
Gewöhnlicher Erdrauch	<i>Fumaria officinalis</i>
Gewöhnlicher Reiherschnabel	<i>Erodium cicutarium</i>
Gewöhnliches Greiskraut	<i>Senecio vulgaris</i>
Ordnung der Grasartigen	<i>Poales</i>
Heckenwindenknöterich	<i>Polygonum dumetorum</i>
Hirtentäschel	<i>Capsella bursa-pastoris</i>
Hopfenkleee	<i>Medicago lupulina</i>
Hornkleee	<i>Lotus corniculatus</i>
Kamille	<i>Matricaria chamomilla</i>
Klatschmohn	<i>Papaver rhoeas</i>
Kleiner Knöterich	<i>Polygonum minor</i>
Kleiner Wiesenknopf	<i>Sanguisorba minor</i>
Klettenlabkraut	<i>Galium aparine</i>
Knolliger Hahnenfuß	<i>Ranunculus bulbosus</i>
Kompasslattich	<i>Lactuca serriola</i>

Kriechender Hahnenfuß	<i>Ranunculus repens</i>
Kriechendes Fingerkraut	<i>Potentilla reptans</i>
Löwenzahn	<i>Taraxacum officinale</i>
Luzerne	<i>Medicago sativa</i>
Mäusegerste	<i>Hordeum murinum</i>
Persischer Ehrenpreis	<i>Veronica persica</i>
Pfeilkresse	<i>Lepidium draba</i>
Rauhe Gänsedistel	<i>Sonchus asper</i>
Rote Taubnessel	<i>Lamium purpureum</i>
Sauerampfer	<i>Rumex acetosa</i>
Schafgarbe	<i>Achillea millefolium</i>
Schlitzblättriger Storchenschnabel	<i>Geranium dissectum</i>
Schmalblättrige Wicke	<i>Vicia angustifolia</i>
Schöner Pippau	<i>Crepis pulchra</i>
Spitzwegerich	<i>Plantago lanceolata</i>
Steifhaariger Löwenzahn	<i>Leontodon hispidus</i>
Steinstorchenschnabel	<i>Geranium columbinum</i>
Stinkender Reiherschnabel	<i>Geranium robertianum</i>
Taubenkropfleimkraut	<i>Silene vulgaris</i>
Vogelknöterich	<i>Polygonum arenastrum</i>
Vogelmiere	<i>Stellaria media</i>
Weicher Storchenschnabel	<i>Geranium molle</i>
Wilde Malve	<i>Malva silvestris</i>
Wilde Möhre	<i>Daucus carota subsp. carota</i>
Wollkopfkraatzdistel	<i>Cirsium eriophorum</i>
Wundklee	<i>Anthyllis vulneraria</i>
Zierliche Winde	<i>Convolvulus elegantissimus</i>
Zwergstorchschnabel	<i>Geranium pusillum</i>

Anhang 4: Reifeverlauf

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Messungen aufgelistet. Die Reifemessungen der Versuchsvarianten begannen am 30.07.2020 und endeten am 15.09.2020 mit der Ernte der Trauben. Ermittelt wurde das Beerengewicht in g/100 Beeren, der Zuckergehalt des Mosts in °Oechsle, der Gesamtsäuregehalt in g/l und der pH-Wert. Beim Beerengewicht konnten beim ersten Termin am 30.07.2020 keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Den niedrigsten Wert erzielte Variante 7 mit 93,3 g/100 Beeren und den höchsten Wert erzielte Variante 2 mit 121,9 g/100 Beeren. Erst beim zweiten Termin am 13.08.2020 wurden signifikante Unterschiede zwischen den Varianten 2 (138,7 g/100 Beeren) und 7 (102,3 g/100 Beeren) festgestellt. Am 27.08.2020 unterschied sich die Variante 2 hoch signifikant (***) von den anderen Varianten. Zwischen den anderen Varianten gab es keine Unterschiede. Die Werte sind in Tabelle 18 zu finden.

Tabelle 18: Übersicht des Beerengewichts (g/100 Beeren) und der Analysewerte Mostgewicht (°Oechsle), Gesamtsäure (g/l) und pH-Wert aus der Saftprobe gewonnen aus 100 Beeren (n = 4, Signifikanztest nach Holm-Sidak: n. s. = nicht signifikant, * = < 0,05, ** = < 0,01, *** = < 0,001)

	30.07.		13.08.		27.08.		10.09.	
Beerengewicht in g/100 Beeren	MW	ST	MW	ST	MW	ST	MW	ST
Nullvariante	101,6	18,3	111,9 ab	22,3	105,8 b	18,7	105,0 b	15,5
Mech. Bodenbear- beitung	121,9	16,5	138,7 a	9,1	131,4 a	7,7	141,1 a	16,8
Glyphosat	117,3	5,5	133,5 ab	14,5	119,3 ab	5,2	120,2 ab	2,5
Rapsöl	112,3	15,6	122,6 ab	7,6	110,6 ab	10,6	117,6 ab	8,6
Essigsäure	102,8	10,9	147,0 ab	50,8	98,7 b	3,6	110,1 ab	11,3
Pelargonsäure	103,6	15,6	117,7 ab	9,2	101,8 b	12,7	104,1 b	21,0
Strohhäcksel mit Saatgutmischung	93,3	10,6	102,3 b	7,3	88,6 b	10,1	99,4 b	15,0
Strohhäcksel	101,5	18,5	106,1 ab	7,2	100,3 b	7,7	109,0 ab	6,3
Signifikanz	n. s.		*		***		*	
p	0,619		0,019		< 0,001		0,006	

	30.07.		13.08.		27.08.		10.09.		15.09.	
Oechsle	MW	ST								
Nullvariante	28,0	1,4	30,8	1,7	64,8	4,0	84,3	2,9	93,8	2,9
Mech. Bodenbe- arbeitung	26,5	1,0	30,5	1,7	65,0	2,6	83,8	4,3	91,0	6,6
Glyphosat	27,0	0,8	30,8	0,5	66,5	1,9	86,0	4,0	93,3	3,4
Rapsöl	28,0	1,2	31,5	1,3	64,3	1,5	83,8	1,5	90,0	2,6
Essigsäure	28,0	0,8	32,8	2,4	64,5	1,2	84,0	1,2	93,0	2,1
Pelargonsäure	27,7	1,3	31,8	2,4	63,3	1,7	84,0	0,8	94,3	3,5
Strohhäcksels mit Saatgutmischung	28,5	0,6	31,5	1,3	61,5	1,3	82,7	1,7	92,3	1,9
Strohhäcksels	27,5	0,6	31,3	1,3	63,8	2,6	82,8	1,7	92,8	4,0
Signifikanz	n. s.									
p	0,209		0,781		0,273		0,336		0,872	

	30.07.		13.08.		27.08.		10.09.		15.09.	
Säure (g/l)	MW	ST								
Nullvariante	47,8	2,4	39,6	1,8	15,7	2,1	11,4	0,7	8,3	0,3
Mech. Bodenbe- arbeitung	46,7	1,5	38,3	0,4	14,1	0,7	10,8	1,2	8,4	0,3
Glyphosat	46,5	1,4	38,7	1,2	14,2	0,9	10,4	0,2	8,3	0,4
Rapsöl	47,5	1,1	38,4	1,6	14,8	1,1	10,9	0,7	8,3	0,4
Essigsäure	48,0	1,1	38,1	1,4	14,9	1,9	10,2	2,4	8,5	0,6
Pelargonsäure	47,9	2,2	39,4	1,8	15,8	2,0	11,1	0,6	8,7	0,8
Strohhäcksels mit Saatgutmischung	49,0	2,2	36,5	3,0	16,8	2,1	10,8	2,3	8,6	0,5
Strohhäcksels	47,0	1,1	39,2	1,9	15,3	0,7	10,8	0,7	8,7	0,6
Signifikanz	n. s.									
p	0,819		0,335		0,677		0,606		0,948	

	30.07.		13.08.		27.08.		10.09.		15.09.	
	MW	ST	MW	ST	MW	ST	MW	ST	MW	ST
pH-Wert										
Nullvariante	2,6	0,01	2,8	0,02	2,93	0,06	3,1	0,0	2,9	0,04
Mech. Bodenbe- arbeitung	2,6	0,02	2,7	0,02	2,98	0,02	3,1	0,1	2,9	0,03
Glyphosat	2,6	0,02	2,7	0,01	2,97	0,03	3,1	0,1	2,9	0,03
Rapsöl	2,6	0,01	2,7	0,03	2,96	0,03	3,1	0,0	2,9	0,05
Essigsäure	2,6	0,00	2,8	0,03	2,96	0,05	3,2	0,3	2,9	0,04
Pelargonsäure	2,6	0,00	2,8	0,03	2,95	0,07	3,1	0,0	2,9	0,04
Strohhäcksel mit Saatgutmi- schung	2,6	0,01	2,8	0,02	2,91	0,05	3,1	0,2	2,9	0,09
Strohhäcksel	2,6	0,01	2,8	0,02	2,96	0,02	3,1	0,1	2,9	0,04
Signifikanz	n. s.		n. s.		n. s.		n. s.		n. s.	
p	0,644		0,089		0,822		< 0,050		0,329	

Die Reifebeobachtung der Versuchsvarianten begann am 17.08.2021 und endete am 06.10.2021. Ermittelt wurde das Beerengewicht in g/100 Beeren, der Zuckergehalt des Mosts in °Oechsle, der Gesamtsäuregehalt in g/l und der pH-Wert.

Beim Beerengewicht konnten am 17.08.2021, 26.08.2021, 07.09.2021, 14.09.2021 und 23.09.2021 signifikante Unterschiede festgestellt werden. Beim Zuckergehalt des Mosts (°Oechsle) konnten am 07.09.2021, 29.09.2021 und 06.10.2021 statistisch signifikante Unterschiede festgestellt werden. Beim pH-Wert zeigten sich am 17.08.2021, 26.08.2021 und 02.09.2021 statistisch signifikante Unterschiede. Beim Gesamtsäuregehalt konnten zu keinem Zeitpunkt der Reifemessung statistisch signifikante Unterschiede festgestellt werden. Die Werte der Reifemessungen (Beerengewicht in g/100 Beeren, Zuckergehalt des Mosts in °Oechsle, Gesamtsäuregehalt und pH-Wert) sind in Tabelle 19 zusammengefasst.

Tabelle 19 Beerengewicht, Mostgewicht, Gesamtsäure und pH-Wert ($MW \pm ST$, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$) aus der Saftprobe, gewonnen aus 100 Beeren

2021	Beerengewicht in g/100 Beeren									
Datum	17.08.		26.08.		01.09.		07.09.		14.09.	
	MW	ST	MW	ST	MW	ST	MW	ST	MW	ST
Nullvariante	93,89ab	5,46	100,27ab	6,46	123,36	7,92	133,36ab	23,82	178,80abc	15,13
Mech. Bodenbe- arbeitung	111,98a	10,84	125,55a	10,44	145,93	18,25	139,46b	19,0	171,62abc	14,36
Glyphosat	105,55ab	8,49	123,51a	17,59	138,88	9,84	151,78b	4,96	192,42abc	5,88
Rapsöl	104,23ab	10,67	124,23a	11,13	139,95	21,55	143,34b	16,09	178,60abc	16,31
Essigsäure	96,48ab	12,51	110,64ab	11,18	121,45	8,99	134,47ab	21,47	172,27abc	11,01
Pelargonsäure	96,61ab	8,79	107,08ab	22,33	120,05	5,23	137,68ab	13,29	168,23abc	11,29
Mulch 2,5 mm	108,32ab	14,29	120,20a	19,78	130,68	8,31	142,86b	16,26	179,65abc	18,50
Mulch 5 mm	99,75ab	20,95	112,77a	9,05	139,78	9,27	126,76ab	13,46	160,73ab	18,61
Mulch 5 mm spät	103,83ab	11,95	122,86a	24,94	138,43	6,92	140,13b	8,01	200,10c	20,09
Biozement	53,947b	5,37	65,02b	12,49	96,69	1,94	96,03a	1,7	154,17b	6,15
Signifikanz	**		**		n. s.		**		**	
p	0,001		0,001		0,238		0,011		0,008	

2021		Beerengewicht in g/100 Beeren				
Datum	23.09.		30.09.		06.10.	
	MW	ST	MW	ST	MW	ST
Nullvariante	175,52ab	11,45	171,87	19,79	183,03	20,63
Mech. Bodenbearbeitung	180,67ab	22,67	174,80	10,68	188,90	10,54
Glyphosat	187,02ab	11,56	187,30	23,20	189,20	25,28
Rapsöl	181,25ab	15,32	190,17	13,21	194,30	13,93
Essigsäure	193,80ab	7,60	184,25	10,91	184,42	31,03
Pelargonsäure	173,28ab	8,64	185,75	14,70	176,27	27,45
Mulch 2,5 mm	189,37ab	15,29	183,45	5,27	178,47	8,38
Mulch 5 mm	174,90ab	19,61	187,27	15,98	169,80	17,84
Mulch 5 mm spät	205,03a	9,30	180,97	18,39	197,80	10,78
Biozement	163,96b	1,32	179,43	13,39	168,06	27,78
Signifikanz	**		n. s.		n. s.	
	0,021		0,285		0,576	

2021		Mostgewicht in °Oechsle				
Datum	23.09.		29.09.		06.10.	
	MW	ST	MW	ST	MW	ST
Nullvariante	80,75	2,99	87,25abd	1,26	93,50abc	1,29
Mech. Bodenbearbeitung	81,25	1,50	89,50bd	0,58	93,50abc	1,00
Glyphosat	82,00	1,41	91,00bd	2,46	97,25a	2,50
Rapsöl	78,00	2,45	87,25abd	2,36	93,25abc	2,36
Essigsäure	79,25	0,50	88,50abd	1,29	93,50abc	1,29
Pelargonsäure	79,00	1,16	88,25abd	0,50	94,00abc	1,83
Mulch 2,5 mm	78,75	1,50	86,25acd	1,50	92,75abc	1,71
Mulch 5 mm	79,00	1,83	86,25ac	1,50	91,50bc	1,00
Mulch 5 mm spät	78,50	3,42	87,50abd	2,65	94,00abc	2,71
Biozement	79,00	1,00	84,00d	2,00	90,33bc	1,53
Signifikanz	n. s.		***		**	
p	0,511		< 0,001		0,01	

2021	Mostgewicht in °Oechsle									
	17.08.		26.08.		01.09.		07.09.		14.09.	
	MW	ST	MW	ST	MW	ST	MW	ST	MW	ST
Nullvariante	23,25	0,96	32,75	2,99	46,00	3,56	56,25ab	3,30	68,50ab	2,08
Mech. Bodenbearbeitung	26,25	3,30	41,50	3,11	48,75	3,78	59,25ab	2,63	71,00ab	1,63
Glyphosat	25,50	1,73	41,50	7,14	51,00	3,74	61,00a	0,82	74,00b	1,63
Rapsöl	24,25	1,26	38,75	2,99	45,50	2,89	58,00ab	2,94	70,25ab	3,30
Essigsäure	23,50	1,00	35,75	6,13	49,00	6,06	57,25ab	3,30	70,00ab	3,92
Pelargonsäure	24,25	0,50	38,00	3,16	48,00	1,41	57,25ab	2,50	68,25ab	2,06
Mulch 2,5 mm	25,50	1,29	40,50	4,36	51,00	3,37	57,25ab	1,26	69,50ab	0,58
Mulch 5 mm	25,50	1,29	37,75	3,78	50,00	3,16	56,25ab	0,50	69,00ab	1,41
Mulch 5 mm spät	25,25	1,50	39,50	2,38	49,25	2,99	57,25ab	1,71	70,25ab	2,75
Biozement	23,33	0,58	32,00	3,00	43,00	4,36	54,00b	1,73	66,67a	2,52
Signifikanz	n. s.		n. s.		n. s.		**		n. s.	
p	0,333		0,793		0,574		0,018		0,016	

2021	Gesamtsäure in g/l									
	17.08.		26.08.		02.09.		07.09.		14.09.	
	MW	ST	MW	ST	MW	ST	MW	ST	MW	ST
Nullvariante	36,93	0,65	33,68	1,58	26,95	1,42	21,05	1,22	14,98	1,29
Mech. Bodenbearbeitung	36,03	1,23	30,10	1,42	25,95	1,69	20,15	1,17	13,90	0,91
Glyphosat	35,95	0,84	29,88	3,49	25,15	2,10	20,46	0,77	14,73	1,14
Rapsöl	36,53	1,06	30,48	2,01	25,58	0,78	20,20	1,11	14,58	0,96
Essigsäure	36,50	0,77	32,08	2,50	25,85	2,95	20,83	1,55	14,38	1,59
Pelargonsäure	36,65	1,03	31,05	1,82	25,70	1,23	20,85	1,11	15,03	0,67
Mulch 2,5 mm	36,38	0,91	30,33	2,06	24,48	2,13	19,63	0,54	13,65	0,70
Mulch 5 mm	36,15	0,95	31,15	1,91	25,55	1,90	20,43	0,75	14,53	0,77
Mulch 5 mm spät	36,33	1,21	30,28	1,59	25,75	1,65	20,30	1,08	14,63	0,59
Biozement	38,67	0,47	34,10	0,85	28,37	1,74	21,70	0,17	15,57	0,64
Signifikanz	n. s.		n. s.		n. s.		n. s.		n. s.	
p	0,020		0,858		0,208		0,337		0,288	

2021	Gesamtsäure in g/l					
	23.09.		29.09.		06.10.	
	MW	ST	MW	ST	MW	ST
Nullvariante	11,55	0,13	10,08	0,49		
Mech. Bodenbearbeitung	11,50	0,58	9,75	0,13	10,05	0,37
Glyphosat	11,75	0,81	10,35	0,29	10,30	0,39
Rapsöl	11,73	0,71	10,00	0,38	10,10	0,53
Essigsäure	12,03	0,47	9,85	0,70	10,18	0,79
Pelargonsäure	11,83	0,81	10,08	0,15	9,85	0,27
Mulch 2,5 mm	11,35	0,53	9,75	0,42	10,05	0,42
Mulch 5 mm	11,00	0,32	10,18	0,43	9,80	0,25
Mulch 5 mm spät	11,75	0,78	10,08	0,46	9,78	0,40
Biozement	11,80	0,46	10,60	0,36	10,38	0,74
Signifikanz	n. s.		n. s.		n. s.	
p	0,419		0,977		0,906	

2021	pH-Wert									
	Datum	17.08.		26.08.		02.09.		07.09.		14.09.
	MW	ST	MW	ST	MW	ST	MW	ST	MW	ST
Nullvariante	2,60ab	0,02	2,68ab	0,02	2,60ab	0,02	2,88	0,04	3,00	0,04
Mech. Bodenbearbeitung	2,62ab	0,03	2,72ab	0,03	2,62ab	0,03	2,90	0,03	3,02	0,03
Glyphosat	2,64a	0,13	2,74a	0,05	2,64a	0,01	2,92	0,01	3,04	0,01
Rapsöl	2,62ab	0,03	2,72ab	0,03	2,62a	0,03	2,91	0,03	3,02	0,03
Essigsäure	2,62a	0,02	2,70ab	0,03	2,62ab	0,02	2,89	0,03	3,02	0,06
Pelargonsäure	2,61ab	0,02	2,72ab	0,01	2,61ab	0,02	2,89	0,02	2,99	0,03
Mulch 2,5 mm	2,62a	0,02	2,72ab	0,02	2,62ab	0,02	2,90	0,02	3,02	0,01
Mulch 5 mm	2,62a	0,02	2,71ab	0,02	2,62ab	0,02	2,89	0,02	3,00	0,03
Mulch 5 mm spät	2,64a	0,02	2,73a	0,01	2,64ab	0,02	2,90	0,03	3,01	0,03
Biozement	2,56b	0,01	2,66b	0,01	2,56b	0,01	2,85	0,01	2,95	0,02
Signifikanz	**		*		**		n. s.		n. s.	
p	0,003		0,005		0,011		0,050		0,655	

2021	pH-Wert					
	23.09.		29.09.		06.10.	
Datum	MW	ST	MW	ST	MW	ST
Nullvariante	3,02	0,04	3,10	0,05	3,10	0,04
Mech. Bodenbearbeitung	3,01	0,02	3,09	0,06	3,09	0,03
Glyphosat	3,02	0,03	3,12	0,06	3,16	0,05
Rapsöl	3,06	0,06	3,07	0,02	3,13	0,07
Essigsäure	3,01	0,02	3,08	0,03	3,13	0,03
Pelargonsäure	3,01	0,03	3,08	0,04	3,12	0,04
Mulch 2,5 mm	3,03	0,03	3,08	0,05	3,13	0,05
Mulch 5 mm	3,03	0,04	3,06	0,04	3,12	0,07
Mulch 5 mm spät	3,02	0,01	3,09	0,04	3,11	0,03
Biozement	3,00	0,04	3,02	0,01	3,09	0,06
Signifikanz	n. s.		n. s.		n. s.	
p	0,660		0,068		0,050	

Tabelle 20: Mostgewicht, Gesamtsäure und pH-Wert (MW ± SEM, paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey; $p < 0,05$, $n = 4$) aus der Saftprobe bei einer einmaligen Entnahme im Jahr 2022

2022	Mostgewicht in °Oechsle		
	MW	SEM	p
Nullvariante	88.000	2.345	n. s.
Mech. Bodenbearbeitung	85.250	1.493	n. s.
Glyphosat	83.750	2.955	n. s.
Rapsöl	80.750	3.705	n. s.
Essigsäure	81.500	4.093	n. s.
Pelargonsäure	80.750	2.810	n. s.
Mulch 2,5 mm, früh	85.750	3.326	n. s.
Mulch 5 mm, früh	82.000	1.780	n. s.
Mulch 2,5 mm, spät	81.250	3.838	n. s.
Mulch 5 mm, spät	85.000	2.858	n. s.

2022	Gesamtsäure in g/L		
	MW	SEM	p
Nullvariante	6.150	0,119	n.s.
Mech. Bodenbearbeitung	6.925	0,165	n. s.
Glyphosat	6.900	0,141	n. s.
Rapsöl	7.100	0,255	< 0,001
Essigsäure	6.475	0,206	n. s.
Pelargonsäure	7.525	0,403	< 0,001
Mulch 2,5 mm, früh	7.975	0,217	< 0,001
Mulch 5 mm, früh	8.225	0,202	< 0,001
Mulch 2,5 mm, spät	6.250	0,253	n. s.
Mulch 5 mm, spät	6.400	0,147	n. s.

	pH-Wert		
	MW	SEM	p
Nullvariante	2.975	0,0222	n. s.
Mech. Bodenbearbeitung	2.962	0,00854	n. s.
Glyphosat	2.922	0,0131	n. s.
Rapsöl	3.050	0,0303	n. s.
Essigsäure	3.067	0,0269	n. s.
Pelargonsäure	3.040	0,0354	n. s.
Mulch 2,5 mm, früh	3.105	0,0155	0,009
Mulch 5 mm, früh	3.092	0,0217	0,022
Mulch 2,5 mm, spät	2.973	0,0461	n. s.
Mulch 5 mm, spät	3.002	0,0149	n. s.

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 – Marktbetrachtungen, 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

